



## SEFA-Metz-2022

Société d'Ecotoxicologie Fondamentale et Appliquée

30 juin & 1<sup>er</sup> juillet 2022





## Jeudi 30 juin 2022



8h30 – 9h00 : Accueil

9h00 – 9h15 : Mot(s) d'accueil

9h15 – 10h00 : Conférence plénière. Définir le problème public lié à la pollution au mercure en Guyane.

**François Allard-Huver & Emmanuelle Simon** (p.10)

10h00 – 10h20 : Principales conclusions de l'expertise scientifique collective portant sur les impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité, les fonctions et les services écosystémiques le long du continuum terre-mer en France métropolitaine et ultramarine. **Stéphane Pesce, Laure Mamy, Wilfried Sanchez, Sophie Leenhardt** (p.11)

10h20 – 10h40 : Exposition des oiseaux aux polluants et modélisation : synthèse de la littérature.

**Dominique Lamonica, Sandrine Charles** (p.12)

---

### 10h40 – 11h20 : Session posters, Pause-Café

---

11h20 – 11h40 : Influence de différents polymères plastiques sur *Cantareus aspersus* à différents niveaux d'organisation biologique. **Romain Colpaert, Sidney Evert-Díaz, Annette De Vaufleury, Frédéric Gimbert** (p.13)

11h40 – 12h00 : Evaluation des effets individuels et combinés des microplastiques et du mercure sur les larves de *Chironomus riparius*. **Manon Perrier, Elsa Schmidt, Romain Colpaert, Frédéric Gimbert** (p.14)

12h00 – 12h30 : Evaluation du risque environnemental des éléments terres rares dans les écosystèmes aquatiques. **Nicolas Lachaux, Elisabeth M. Gross, Laure Giambérini** (p.15)

Les agents de contraste gadolinés utilisés lors d'examens IRM - Nécessité d'une utilisation éco-responsable. **Marc Parant, Emilie Perrat, Bénédicte Sohm, Justine Flayac, Philippe Wagner, Françoise Chuburu, Cyril Cadiou, Christophe Rosin, Jean-Sébastien Py, Carole Cossu-Leguille, Laure Giambérini** (p.16)

---

### 12h30 : Déjeuner

---

13h40 – 14h00 : Internalisation du tritium sous forme organique chez les embryons et larves de poisson zèbre. **Magali Schiano Di Lombo, Virigine Camilleri, Isabelle Cavalie, Jérôme Cachot, Yann Perrot, Béatrice Gagnaire** (p.17)

14h00 – 14h20 : Comparaison de l'organotropisme, de la toxico-cinétique et du devenir du cadmium accumulé par voie dissoute ou trophique chez *Gammarus fossarum*. **Ophélie Gestin, Christelle Lopes, Nicolas Delorme, Laura Garnero, Olivier Geffard, Thomas Lacoue-Labarthe** (p.18)

14h20 – 14h40 : Modélisation de la dynamique de biomarqueurs : application d'un modèle PBTK-TD chez l'épinoche exposée au bisphénol A. **Corentin Mit, Anne Bado-Nilles, Olivier Palluel, Cyril Turiès, Rémy Beaudouin** (p.19)

14h40 – 15h00 : Amélioration de la partie TK des modèles GUTS : étude de cas avec *Gammarus fossarum* exposé au cadmium. **Christelle Lopes, Jérémie Bruset, Dominique Lamonica, Ophélia Gestin, Sandrine Charles** (p.20)

---

### **15h00 – 15h40 : Session posters, Pause-Café**

---

15h40 – 16h00 : L'allocation de cadmium aux grains est-elle sous la dépendance du statut soufré chez le blé dur ? **Agathe Vidal, Valentin Dubois, Sophie Brunel-Muguet, Jean-Yves Cornu, Christophe Nguyen, Jean-Christophe Avice** (p.21)

16h00 – 16h 20 : Ecotoxicité terrestre à long terme des éléments traces apportés par une fertilisation organique intensive dans un agro-écosystème maraîcher. **Céline Laurent, Matthieu N. Bravin, Emmanuel Doelsch** (p.22)

16h20 – 16h40 : Transfert de résidus de pesticides dans un système proie-prédateur terrestre. **Léa Tison, Céline Franc, Louisiane Burkart, Alice Rouzes, Gilles De Revel, Hervé Jactel, Karine Monceau, Denis Thiéry** (p.23)

16h40 – 17h00 : *Physarum polycephalum* : un nouveau modèle cellulaire pour l'étude des effets écotoxicologiques des nanotubes de carbone. **Manon Ternois, Emmanuel Flahaut, Audrey Dussutour** (p.24)

17h00 – 18h00 : Assemblée Générale de la SEFA

19h00 : Apéritif offert par la Mairie de Metz au Cloître des Récollets



20h30 : Repas de Gala au restaurant El Théatris, Place de la Comédie à Metz





## Vendredi 1er juillet 2022

8h15 – 8h45 : Accueil

9h00 – 9h45 : Conférence plénière – Suivi des réaménagements d'un cours d'eau, l'Orne. **Emmanuelle Montargès-Pelletier** (p.25)

9h45 – 10h00 : Comparaison des réponses biologiques chez deux espèces de dreissenidés dans un contexte de biosurveillance active d'une rivière urbaine, l'Orne. **Manon Bain, Laurine Pierre, Marie Zaffino, Bénédicte Sohm, Christophe Gauthier, Emmanuelle Montargès-Pelletier, Simon Devin, Sandrine Pain-Devin** (p.26)

10h00 – 10h20 : Les archives sédimentaires peuvent nous renseigner du potentiel écotoxicologique associé aux contaminations historiques - Exemple du bassin de la Loire (France). **Elie Dhivert, Leslie Mondamert, Jérôme Labanowski, Cécile Grosbois** (p.27)

---

### 10h20 – 11h00 : Session posters, Pause-Café

---

11h00 – 11h20 : Mesure des propriétés physicochimiques de la cuticule : caractérisation chez *Palaemon serratus* et potentiels intérêts en écotoxicologie. **Marc Rollin, Nicolas Hucher, Romain Coulaud, Vincent Loisel, Agnès Poret, Aurélie Duflot, Frank Le Foll, Céline Picard, Benoit Xuereb** (p.28)

11h20 – 11h40 : Effets combinés de l'éthinylestradiol et du réchauffement climatique sur la physiologie et la dynamique de population de l'épinoche à trois épines. **Ugo Iaria, Cyril Turies, Rémy Beaudouin, Jean-Marc Porcher, Jimmy Devergne, Arianna Servili, Véronique Loizeau, Anne Bado-Nilles** (p.29)

11h40 – 12h00 : Développement d'un test pour l'évaluation du comportement locomoteur chez le copépode *Eurytemora affinis*. **Caroline Arcanjo, Aurélie Duflot, Gauthier Trémolet, Nathalie Giusti-Petruciani, Joëlle Forget-Leray, Céline Boulangé-Lecomte** (p.30)

12h00 – 12h20 : Identification, organotropisme et rôle dans la tolérance au cadmium de deux métallothionéines chez l'espèce sentinelle *Gammarus fossarum*. **Davide Degli Esposti, Auréline Lalouette, Louveline Lepeule, Nicolas Delorme, Hervé Quéau, Laura Garnero, Olivier Geffard, Arnaud Chaumot** (p.31)

---

### 12h30 : Déjeuner

---

13h30 – 13h50 : Spéciation et écotoxicité du Ni et Cr dans un ruisseau de tête de bassin ultramafique (Pluhuv Bor, Tchèque). **Elsa Salles, Pavel Kram, Tuyen Nguyen, Céline Simon, Maximilien Beuret, Vincent Normant, Carole Cossu-Leguille, Yann Sivry, Alexis Groleau, Davide A.L. Vignati** (p.32)

13h50 – 14h10 : Etude de l'écotoxicité de sous-produits de désinfection issus d'un effluent chloré. **Théo Ciccia, Anne Bado-Nilles, Philippe Ciffroy, Léo Lafay, Nastassia Urien, Pascal Pandard** (p.33)

14h10 – 14h30 : Evaluation écotoxicologique d'un polluant pharmaceutique par une approche multi-modèle. **Fidji Sandre, Aliénor Duval, Alexis Golven, Laure Garrigue-Antar, Christophe Morin** (p.34)

---

### **14h30 – 15h00 : Session posters, Pause-Café**

---

15h10 – 15h30 : Suivi de l'évolution saisonnière de la qualité des matières en suspension du Léman à l'aide de l'insecte *Chironomus riparius*. **Rébecca Beauvais, Carmen Casado-Martinez, Benoît J.D. Ferrari** (p.35)

15h30 – 15h50 : Impact combiné du ruissellement agricole et du réchauffement sur les producteurs et consommateurs primaires dans les cours d'eau agricoles. **Elisabeth M. Gross, Joey Allen, Didier Ortiz, Vinita Vijayaraj, Vincent Felten, Martin Laviale, Nora Kipferler, Bastian H. Polst, Gregorio A. López Moreira Mazacotte, Franz Hölker, Joséphine Leflaive, Mechthild Schmitt-Jansen, Sabine Hilt, Herwig Stibor** (p.36)

15h50 – 16h10 : Remise des prix Jeunes Chercheurs (Oral et Poster)



LABORATOIRE  
INTERDISCIPLINAIRE  
DES ENVIRONNEMENTS  
CONTINENTAUX



Merci à tous pour votre participation.

Bon retour et au plaisir de vous retrouver dans un prochain colloque SEFA !



# Liste des posters

Par ordre alphabétique du premier auteur

Impact de l'ouverture de barrage sur le devenir des contaminants organiques dans des dépôts de berge. **Rafael Balastegui, Laurence Mansuy-Huault, Emmanuelle Montargès-Pelletier, Christophe Gauthier, Catherine Lorgeoux** (p.38)

Les protéoglycanes de surface des cellules CHO contribuent à la toxicité du CR(III) et non du CR(VI). **Eric Battaglia, Imad Aharchaou, Sylvie Fournel-Gigleux, Vincent Normant, Davide Vignati** (p.39)

La fondation Rovaltain en 2022 : un rôle pivot dans le soutien de la recherche et des réseaux en écotoxicologie et toxicologie environnementale. **Damien Baudiffier, Delphine Delaunay** (p.40)

Du passé industriel à la réhabilitation : stratégie d'étude en vue d'un projet de réaménagement. **Sarah Berns, Jaïro Fala-Angel, Antoine Bonnefoy, Lucas Charrois, Philippe Laval-Gilly** (p.41)

La spectroscopie UV induite par laser en phase solide pour l'évaluation des transferts de HAP vers le biote : premiers essais avec l'escargot petit gris (bioindicateur d'accumulation). **Thomas Bertoncini, Marine Quiers, Tanguy Wallet, Gaël Plassart, Maxime Louzon** (p.42)

Effet dose-dépendant du Di-N-Butyl Phtalate (DBP) sur le développement embryo-larvaire du poisson zèbre (*Danio rerio*) : intérêt de l'intégration de gradients de concentrations dans les analyses transcriptomiques. **Elise Billoir, Bénédicte Sohm, Carole Cossu-Leguille, Sophie Prud'homme** (p.43)

Impacts écotoxiques de microplastiques (PP et PLA) sur les oligochètes du sol. **Camille Bonnefous, Laure Vieublé-Gonod, Antoine Banière, Sandra Domenek, Juliette Faburé** (p.44)

Intégration de biomarqueurs de génotoxicité dans une étude de biosurveillance utilisant une approche multi-biomarqueurs chez l'épinoche à trois épines. **Amélie Cant, Marc Bonnard, Jean-Marc Porcher, Jean Prygiel, Audrey Catteau, Laurence Delahaut, Olivier Palluel, Cyril Turies, Alain Geffard, Anne Bado-Nilles** (p.45)

Effet des pesticides sur la morphologie des diatomées benthiques d'eau douce : le cas du glyphosate. **Sarah Chéron, Aishwarya Venkataramanan, Clara Martinez, David Heudre, Cédric Pradalier, Philippe Usseglio-Polatera, Simon Devin, Vincent Felten, Martin Laviale** (p.46)

Influence du polystyrène dans la disponibilité environnementale de l'arsenic, du cadmium et du mercure dans les sols. **Romain Colpaert, Annet De Vaufleury, Nadia Crini, Caroline Amiot, Frédéric Gimbert** (p.47)

Evaluer la pertinence d'utiliser le gammare pour quantifier la biodisponibilité et l'écotoxicité des pesticides en zone tampon humide artificielle. **Samira El Meouch, Angéline Guenne, Alexandre Michel, Aliénor Leliazkov, Julien Tournebize, Jérémie Lebrun** (p.48)

Effet de l'apport de thé de compost oxygéné sur la mobilité et la phytoextraction du cuivre en sol viticole. **Pierre Eon, Jean-Marc Deogratias, Jean-Yves Cornu** (p.49)

Evaluation de la contamination des poissons de la côte Atlantique marocaine par les éléments traces métalliques (Cd, Pb et Al). **Rachida Fegrouche, Yolande Kouassi Aya Koffi, Ohtmane Hammani, Aicha Sifou, Rachid Ben Aakam** (p.50)

Combinaison de traceurs géochimiques pour reconstruire les trajectoires de contaminants dans un bassin versant industrialisé ou anthropisé. **Ayoub Khelili, Christophe Cloquet, Christophe Gauthier, Emmanuelle Montargès-Pelletier** (p.51)

Evaluation écotoxicologique des éléments terres rares sur le macrophyte immergé *Myriophyllum spicatum*. **Nicolas Lachaux, Sarah Berns, Laura Junique, Sébastien Cambier, Simon Devin, Laure Giambérini, Elisabeth M. Gross** (p.52)

Evaluation écotoxicologique intégrée des éléments terres rares sur une communauté aquatique modèle. **Nicolas Lachaux, Laura Junique, Sébastien Cambier, Bénédicte Sohm, Danièle Pauly, Marie Zaffino, Simon Devin, Elisabeth M. Gross, Laure Giambérini** (p.53)

La modélisation toxico-cinétique à base physiologique - Quand résoudre des équations fait encore sens. **Christelle Lopes, Ophélie Gestin, Dominique Lamonica, Virgile Baudrot, Sandrine Charles** (p.54)

Modèle toxicocinétique chez le poisson zèbre (*Danio rerio*) pour deux fongicides azolés. **Tu-Ky Ly, Julie De Oliveira, Karyn Le Menach, Hélène Budzinski, Nathalie Hinfrey, Rémy Beaudouin** (p.55)

Composition procaryotique, microeucaryotique et fongique d'un sol de friche industrielle contaminée aux PCB. **Flavien Maucourt, Aurélie Cébron, Hélène Budzinski, Karyn Le Ménach, Laurent Peluhet, Sonia Czarnes, Delphine Melayah, David Chapulliot, Laurent Vallon, Gaël Plassart, Mylène Hugoni, Laurence Fraissinet-Tachet** (p.56)

Evaluation des effets chroniques du Di-N-Butyl Phtalate (DBP) sur les traits d'histoire de vie de *Daphnia magna* et sa descendance. **Jérémy Ohanessian, Marianne Houin, Sophie Prud'homme, Vincent Felten, Elise Billoir** (p.57)

Présentation de l'expertise scientifique collective sur les impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité, les fonctions et les services écosystémiques (2022). **Stéphane Pesce, Laure mamy, Wilfried Sanchez, Sophie Leenhardt et un collectif de 43 scientifiques francophones du domaine académique** (p.58)

Interactivité de contaminants en mélange dans le processus de bioaccumulation et effets écotoxiques chez l'enchytréide (*Enchytraeus albidus*). **Ninon Portelance, Giacomo Grassi, Antoine Banière, Ghislaine Delarue, Sébastien Breuil, Isabelle Lamy, Juliette Faburé** (p.59)

Ecotoxicité des contaminations diffuses en sols périurbains : intérêt d'*Enchytraeus albidus* comme outil de diagnostic de suivi environnemental. **Marine Ripoché, Giacomo Grassi, Amélie Trouvé, Sébastien Breuil, Isabelle Lamy, Juliette Faburé** (p.60)

Mesure de l'activité N-acétyl-  $\beta$  -D-Glucosaminidase chez l'amphipode *Gammarus fossarum* : variabilité physiologique et utilisation en contexte d'écotoxicologie. **Marc Rollin, Romain Coulaud, Olivier Geffard, Aurélie Duflo, Hervé Quéau, Frank Le Foll, Benoît Xuereb** (p.61)

Dynamique d'acquisition de la tolérance au glyphosate chez les communautés microbiennes périphytiques - Etude en microcosmes. **Landry Ughetto, Sarah Chéron, Martin Laviale, Chloé Bonnineau** (p.62)

Identification d'hydrolases à sérine par la méthode "activity-based protein profiling" chez les larves de poisson zèbre exposées au Dibutyl Phtalate. **Rodrigue S. Yedji, Bénédicte Sohm, Virginie Salnot, François Guillonnet, Eric Battaglia, Carole Cossu-Leguille** (p.63)





## SEFA-Metz-2022

Société d'Ecotoxicologie Fondamentale et Appliquée

30 juin & 1<sup>er</sup> juillet 2022



## DEFINIR LE PROBLEME PUBLIC LIE A LA POLLUTION AU MERCURE EN GUYANE

La Guyane française fait face à un problème de santé publique lié à la pollution au mercure, en raison d'une part, de la richesse naturelle de ses sols en mercure (libéré par lessivage des sols naturel ou par action humaine e. g. déforestation), et d'autre part, de son utilisation par les orpailleurs dans le but d'amalgamer l'or dans les rivières. Le mercure, ainsi transformé en méthylmercure devient toxique pour l'être humain, s'accumule dans les espaces naturels et par le jeu de la chaîne alimentaire dans les poissons. Ces derniers occupant une place centrale dans l'alimentation des populations locales, ces dernières présentent des taux d'imprégnation au mercure dépassant le seuil de toxicité, selon les études épidémiologiques réalisées. Les femmes enceintes et leur(s) enfant(s) à naître ainsi que les nourrissons (via l'allaitement) sont particulièrement exposés au risque sanitaire. Les effets sur la santé du méthylmercure relèvent de troubles du développement neurologique (troubles de cognition, la mémoire, l'attention, le langage, la motricité fine et de la vision dans l'espace). Depuis l'interdiction du mercure dans les mines légales, les réponses apportées jusqu'à présent sont principalement construites autour d'actions préventives et incitatives en faveur d'un changement de comportements alimentaires.

François ALLARD HUVER (1),  
Emmanuelle SIMON (1)

(1) Centre de recherches sur les médiations – CREM, Université de Lorraine. 57000 METZ

La littérature scientifique qui s'intéresse à la construction des problèmes publics (Cobb & Elder, 1972 ; Céfai, 1996 ; Céfai et Trom, 2001 notamment) montre que la définition d'un problème (nature, limites, causes et conséquences) et la qualification des solutions à lui apporter ne sont « jamais neutres et ne s'imposent jamais comme une évidence partagée » (Bergeron et al. 2020). La présente conférence entend caractériser la manière dont ce problème a été/est défini localement, estimé dans son niveau de gravité et quelles sont les propositions de cadrage dudit problème qui s'imposent (ou non) dans l'espace public. Un accent sera mis sur la place de l'éco-toxicologie dans la construction de ce problème public de santé.

### Mots clés

Sciences de l'information et de la communication, santé publique, one health, cadrage, métaux lourds.

### Références

Henri Bergeron, Olivier Borraz, Patrick Castel, François Dedieu, 2020, Covid-19 : une crise organisationnelle, science po.  
Céfai D., 1996, « La construction des problèmes publics », Réseaux, 75, vol. 14, p. 43-66.  
Céfai D. & Trom D., 2001, « Les Formes d'action collective. Mobilisations dans les arènes publiques », Paris, Ed. de l'EHESS.  
Cobb R.W & Elder C.D., 1972, Participation in American Politics : the Dynamics of Agenda Building, John Hopkins University Press.

# PRINCIPALES CONCLUSIONS DE L'EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE SUR LES IMPACTS DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES SUR LA BIODIVERSITE, LES FONCTIONS ET LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES LE LONG DU CONTINUUM TERRE-MER EN FRANCE METROPOLITAINE ET ULTRAMARINE.

Mis en place en France en 2008 suite au Grenelle de l'environnement, le Plan ECOPHYTO ambitionnait de réduire le recours, les risques et les impacts des produits phytopharmaceutiques (PPP) avec comme objectif phare une réduction de 50% de l'utilisation en 10 ans. Cet objectif n'ayant pas été atteint, ce plan a été renouvelé depuis, et sa dernière génération (ECOPHYTO 2+) met l'accent sur la recherche et l'innovation. C'est dans ce

contexte que le Ministère de la Transition Ecologique, le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et le Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, ont confié en 2019 à INRAE et à l'Ifremer la réalisation d'une expertise scientifique collective (ESCo) traitant des impacts des PPP, incluant ceux utilisés en biocontrôle sur la biodiversité et les services écosystémiques [1]. Le périmètre de cet état des lieux des connaissances couvre l'ensemble des territoires français métropolitains et ultramarins en considérant les écosystèmes terrestres (incluant le compartiment aérien), aquatiques continentaux de surface et marins. Il a pour objectif d'établir un bilan des connaissances scientifiques disponibles sur cette thématique afin d'éclairer les politiques publiques en matière d'utilisation des PPP et d'évaluation de ses risques et impacts. Pour ce faire, un collectif de 43 experts francophones (et 2 contributeurs ponctuels) [2] issus de la recherche académique (universités et instituts de recherche publique) a été mobilisé sous l'égide d'une équipe projet composée d'une chef de projet, de 3 pilotes scientifiques, de 3 documentalistes, et de 2 chargées de mission sur des thématiques plus ponctuelles [3]. Le collectif ainsi formé a permis de couvrir les nombreuses disciplines nécessaires à cette expertise telles que la chimie environnementale, l'écotoxicologie, l'écologie, l'agronomie, la modélisation, l'évaluation du risque, la réglementation, la socio-économie et les sciences humaines et sociales. A l'occasion de ce Colloque annuel de la SEFA, les principaux enseignements qui ressortent de cette ESCo (achevée en mai 2022) seront présentés et discutés, en décrivant les connaissances majeures et en proposant des pistes de recherches qui permettraient de combler certaines lacunes identifiées.

## Mots clés

Contamination ; Effets directs et indirects ; ESCo ; Pesticides ; Risques

## Remerciements

L'équipe de pilotage et l'ensemble des experts remercient l'Office Français de la Biodiversité (OFB) pour le financement de cette ESCo dans le cadre du plan ECOPHYTO 2+, ainsi que la Direction Scientifique d'INRAE, la Direction Générale de l'Ifremer et la DEPE INRAE pour leur soutien et leur accompagnement au cours de l'exercice.

## Références

- [1] Pesce S et al. (2021) Collective scientific assessment as a relevant tool to inform public debate and policymaking: an illustration with the effects of plant protection products on biodiversity and ecosystem services. *Environmental Science and Pollution Research* 28, 38448-38454. Doi: 10.1007/s11356-021-14863-w
- [2] Liste des experts: M. Amichot, J. Artigas, S. Aviron, C. Barthélémy, R. Beaudoin, C. Bedos, A. Bérard, P. Berny, C. Bertrand, C. Bertrand, S. Betoulle, E. Bureau-Point, S. Charles, A. Chaumot, B. Chauvel, M. Coeurdassier, M.-F. Corio-Costet, M.-A. Coutellec, O. Crouzet, I. Doussan, J. Faburé, C. Fritsch, N. Gallai, P. Gonzalez, V. Gouy, M. Hedde, A. Langlais, F. Le Bellec, C. Leboulanger, C. Margoum, F. Martin-Laurent, R. Mongruel, S. Morin, C. Mougin, D. Munaron, S. Nélieu, C. Pelosi, M. Rault, S. Sabater, S. Stachowski-Haberkorn, E. Sucre, M. Thomas, J. Tournebize (+ participation ponctuelle de J.-P. Douzals et N. Ris)
- [3] Documentalistes : A.-L. Achard (INRAE), M. Le Gall (Ifremer), S. Le Perchec (INRAE); Chargées de mission : E. Delebarre et F. Larras (INRAE)

Stéphane PESCE\* (1), Laure MAMY (2), Wilfried SANCHEZ (3), Sophie LEENHARDT (4) et un collectif de 43 scientifiques francophones du domaine académique

(1) INRAE, UR RiverLy, 69625 VILLEURBANNE

(2) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, 78850 THIVERVAL-GRIGNON

(3) Ifremer, Direction Scientifique, Station de Sète, avenue Jean Monnet, 34200 SETE

(4) INRAE, Direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études (DEPE), 75338 PARIS

Contact e-mail : stephane.pesce@inrae.fr

# EXPOSITION DES OISEAUX AUX POLLUANTS ET MODELISATION : SYNTHESE DE LA LITTERATURE

Les scientifiques ont identifié et suivi 11 000 espèces d'oiseaux autour du monde (Ritchie and Roser, 2021). D'après la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), une espèce d'oiseaux sur sept est menacée d'extinction à l'échelle globale. En Amérique du Nord, la population totale d'oiseaux a diminué de 3 millions d'individus, soit 29% de la population recensée en 1970. Cette diminution est due aux activités humaines telles que l'industrialisation de masse ou la perte d'habitat (Rosenberg et al., 2019). De plus, les différentes espèces d'oiseaux jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes, comme pollinisateurs, décomposeurs et/ou consommateurs secondaires. La diversité des espèces au sein d'un écosystème est donc cruciale pour déterminer son état. Les espèces aviaires présentent des cycles de vie liés aux processus agri-culturels, ce qui les rend vulnérables aux facteurs de stress générés par ces processus, notamment à cause de l'utilisation de substances chimiques.

Les études expérimentales en écotoxicologie (ou bioessais) sont chronophages et coûteuses, et l'expérimentation animale (notamment sur les vertébrés) devient extrêmement contrainte incitant à une réduction drastique. Il serait donc déraisonnable de vouloir étudier l'effet de chaque polluant sur chaque espèce animale. Il est alors recommandé de se tourner vers les outils de modélisation pour évaluer ces effets. En effet, les différents modèles développés en écotoxicologie fournissent des concentrations critiques d'effets dérivées des observations recueillies sur les organismes. Ils peuvent donc aider à compléter le manque d'information et à mieux cibler les expérimentations à mener en priorité. Surtout, l'utilisation des modèles améliore le décryptage des mécanismes physiologiques sous-jacents aux effets observés (Larras et al. 2022).

Cette présentation permettra d'exposer une revue de la littérature menée récemment sur les approches de modélisation en écotoxicologie appliquées aux espèces aviaires. Nous avons synthétisé tout un ensemble de publications présentant différents cadres de modélisation avec leurs objectifs, les niveaux d'organisation biologique, les espèces aviaires et les contaminants qu'ils concernent. Nous avons également identifié, parmi ces études, celles qui rendent accessible leurs données expérimentales garantissant ainsi la transparence et la reproductibilité des résultats, et offrant la possibilité d'une réutilisation pour développer de nouvelles approches.

Dominique LAMONICA\*(1),  
Sandrine CHARLES (1)

(1) UNIVERSITÉ LYON 1, CNRS,  
Laboratoire de Biométrie et Biologie  
Évolutive UMR 5558, 69622  
VILLEURBANNE, FRANCE

Contact e-mail :  
dominique.lamonica@univ-lyon1.fr

## Mots clés

Oiseaux, modélisation, exposition-effets, revue bibliographique, xénobiotiques

## Remerciements

Nous remercions chaleureusement Claudia BLANCO NUNEZ, Martin TAWIAH et Antoine TEYSSIER D'ORFEUIL (1ère année du Master of Environmental Science de JUNIA-Isa, Lille) pour leur contribution à la réalisation de ce travail dans le cadre de leur projet scientifique du 1er semestre 2021-2022.

## Références

Larras, F., Charles, S., Chaumot, A., Pelosi, C., Le Gall, M., Mamy, L., Beaudouin, R., 2022. A critical review of modelling approaches for environmental risk assessment due to pesticides. *Environment Science and Pollution Research on-line*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19111-3>

Ritchie, H. and Roser, M., 2021. Biodiversity. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/biodiversity' [Online Resource, 2022-04-14].

Rosenberg, K. V., Dokter, A.M., Blancher, P.J., Sauer, J.R., Smith, A.C., Smith, P.A., Stanton, J.C., Panjabi, A., Helt, L., Parr, M., Marra, P.P., 2019. Decline of the North American avifauna. *Science* 366, 120–124. <https://doi.org/10.1126/science.aaw1313>



# INFLUENCE DE DIFFERENTS POLYMERES PLASTIQUES SUR CANTAREUS ASPERSUS A DIFFERENTS NIVEAUX D'ORGANISATION BIOLOGIQUE

Romain COLPAERT (1), Sidney EVERT-DIAZ (1), Annette DE VAUFLEURY (1), Frédéric GIMBERT (1)\*

(1) UMR CNRS 6249 Chrono-Environnement, Université de Bourgogne Franche-Comté, 16 route de Gray, 25030 Besançon Cedex, France  
Contact e-mail : frederic.gimbert@univ-fcomte.fr

Les plastiques s'accumulent dans l'environnement et se fragmentent sous diverses actions tant physico-chimiques que biotiques, pour finir sous forme de fragments de petite taille (< 5 mm = les microplastiques, MP), qui contaminent tous les écosystèmes (Geyer et al., 2017). Si les milieux aquatiques ont quasi exclusivement concentré les recherches ces dernières années, les milieux terrestres seraient 4 à 23 fois plus contaminés que leurs homologues aquatiques, l'étude de la diffusion et des impacts des MP dans les écosystèmes terrestres est donc un enjeu majeur (Horton et al. 2017). L'objectif de la présente étude était donc d'identifier et de mesurer les réponses de l'escargot *Cantareus aspersus* à l'exposition à des MP. Des individus juvéniles ont ainsi été exposés durant 28 jours à de la nourriture contaminée par différentes concentrations (0,01 ; 1 et 10 % m/m) de Polyéthylène (PE, d50 = 31,24 µm), de Polyamide (PA, d50 = 57,8 µm) ou de Polystyrène (PS, d50 = 80,09 µm). Les résultats ne montrent pas d'impact sur la survie. La croissance des animaux exposés aux plus fortes concentrations (10%) de PA ou de PS est stimulée (+ 14 et +33 %, respectivement) ce qui n'est pas observé aux plus faibles concentrations. Cependant, cette augmentation de la croissance n'est pas visible chez les individus soumis aux fortes concentrations de PE. Ces effets pourraient être expliqués par une facilitation du broyage alimentaire dans le tractus gastro-intestinal chez les animaux soumis à des concentrations en PA ou en PS élevées comme cela a été observé chez des huîtres exposées au PS (Sussarellu et al. 2016). Cette augmentation a également été observée à des concentrations similaires de PET dans la nourriture chez des escargots *A. reticulata* (De Felice et al., 2021), ainsi que chez *C. aspersus* ingérant des particules de grande taille (560 µm) (Colpaert et al., 2021). Une autre cause pourrait être un changement dans les communautés bactériennes commensales du tractus gastro-intestinal de l'escargot chez les individus soumis à du PA ou du PS à forte concentration, mais pas aux concentrations plus faibles. Ce changement aurait pour effet indirect d'améliorer le rendement énergétique lié à la digestion alimentaire. Des analyses biochimiques de biomarqueurs de stress oxydatif (MDA) et des approches qualitatives de la bioaccumulation des MP dans les tissus internes (glande digestive, rein et hémolymphe) sont actuellement en cours pour préciser les processus impliqués.

## Mots clés

Polyéthylène, Polystyrène, Polyamide, Ecotoxicité, Mollusques terrestres, Stress oxydant

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'ADEME et la région Bourgogne Franche-Comté pour le financement de l'étude.

## Références

- Colpaert, R., Petit dit Grézéziat, L., Louzon, M., de Vaufléury, A., & Gimbert, F. (2021). Polyethylene microplastic toxicity to the terrestrial snail *Cantareus aspersus*: size matters. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.
- De Felice B, Ambrosini R, Bacchetta R, et al (2021) Dietary exposure to polyethylene terephthalate microplastics (PET-MPs) induces faster growth but not oxidative stress in the giant snail *Achatina reticulata*. *Chemosphere* 270, 129430.
- Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 2017, 3, 7. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Horton A.A., Walton A., Spurgeon D.J., Lahive E., Svendsen C. 2017. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of The Total Environment* 586, 127-141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M. E. J., ... & Huet, A. (2016). Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the national academy of sciences*, 113(9), 2430-2435

# EVALUATION DES EFFETS INDIVIDUELS ET COMBINES DES MICROPLASTIQUES ET DU MERCURE SUR LES LARVES DE CHIRONOMUS RIPARIUS.

Manon PERRIER(1),  
Elsa SCHMIDT(1),  
Romain COLPAERT(1),  
Frédéric GIMBERT\*(1)  
(1) UMR CNRS 6249  
Chrono-Environnement,  
Université de Bourgogne  
Franche-Comté, 16 route  
de Gray, 25030  
Besançon Cedex, France.  
Contact e-mail :  
frederic.gimbert@univ-  
fcomte.fr

Avec près de 10 milliards de tonnes de plastique produit à ce jour, les fragments s'accumulent dangereusement dans les écosystèmes (Geyer et al., 2017). Moins visibles que les gros débris, les microplastiques (MP, <1 mm) sont néanmoins plus préoccupants dans la mesure où leur petite taille facilite leur transport, leur rétention et leur transfert dans les organismes et les chaînes alimentaires. Dans les écosystèmes aquatiques et bien que les sédiments soient principalement concernés par les dépôts de MP, la plupart des études ont été conduites sur des organismes invertébrés filtreurs ou des vertébrés (Wang et al., 2019). De plus, l'absorption de MP contaminés par d'autres contaminants environnementaux (métaux) a été suggérée comme une voie d'exposition supplémentaire possible (Barboza et al., 2018). L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'impact de l'exposition combinée aux MP et au mercure (Hg) vis-à-vis des larves de *Chironomus riparius*, macroinvertébrés les plus abondants dans les écosystèmes benthiques d'eau douce. Des sédiments artificiels ont été contaminés avec des concentrations croissantes (0,1 et 10%, m/m) de deux polymères, le polystyrène (PS; d50=80 µm) et le polyamide (PA; d50=58 µm) en présence ou non de Hg inorganique (6 mg/kg sed.). Les réponses mesurées sont la mortalité, la croissance, la bioaccumulation de Hg ainsi que le suivi de l'émergence des imago. Si les observations microscopiques montrent l'ingestion des MP par les larves, les résultats ne montrent pas d'effet sur leur survie et leur croissance. Concernant la bioaccumulation du Hg, aucun effet significatif des MP, quel que soit le polymère et sa concentration, n'a été détecté. Ceci peut s'expliquer par une absence de transfert des MP contaminés par le Hg dans les tissus des larves (Oliveira et al., 2018). L'émergence des adultes semblent néanmoins un paramètre biologique plus sensible, en particulier vis-à-vis du PA. En effet, en absence de Hg, et pour la plus faible concentration en PA (0,1%), on observe une diminution du nombre d'émergences (-20%), ce qui est en adéquation avec les données de la littérature (Stankovic et al., 2020). De manière plus originale, cette concentration en PA provoque dans le même temps une augmentation significative de la vitesse émergence (+50%), aussi visible à 10%PA où l'émergence est plus précoce (-1,5 j). Les explications pourraient impliquer une facilitation mécanique de la digestion ou l'utilisation des particules pour fabriquer les fourreaux et optimiser la nymphose des larves. En présence de Hg, les effets du PA ne sont plus perceptibles. Les effets combinés des MP et du Hg semblent donc antagonistes (Cao et al., 2021) et soulignent la nécessité de poursuivre les recherches pour mieux préciser le rôle des MP comme vecteur de contamination aux métaux.

## Mots clés

Polystyrène, Polyamide, mercure, chironomes, survie, croissance, émergence

## Remerciements

Les auteurs remercient Caroline Amiot, Nadia Crini pour les analyses chimiques et la plateforme PEA<sup>2</sup>t (Chrono-environnement, UBFC) qui gère et maintient les équipements analytiques utilisés dans cette étude.

## Références

- Barboza L.G.A., Vieira L.R., Branco, V. et al. Microplastics increase mercury bioconcentration in gills and bioaccumulation in the liver, and cause oxidative stress and damage in *Dicentrarchus labrax* juveniles. *Sci Rep* 8, 15655 (2018)
- Cao Y., Zhao M., Ma X., Song Y., Zuo S., Li H., Deng W., 2021. A critical review on the interactions of microplastics with heavy metals: Mechanism and their combined effect on organisms and humans. *Sci. Tot. Environ.* 788, 147620.
- Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 2017,3, 7.
- Oliveira P., Barboza L.G.A., Branco V., Figueiredo N., Carvalho C., Guilhermino L., 2018. Effects of microplastics and mercury in the freshwater bivalve *Corbicula fluminea* (Müller, 1774): Filtration rate, biochemical biomarkers and mercury bioconcentration. *Ecotox. Environ. Safe.* 164, 155-163.
- Stanković J., Milošević D., M., Savić-Zdraković D., S.Z., Yalçın G., Yildiz D., Beklioğlu M., Jovanović B., 2020. Exposure to a microplastic mixture is altering the life traits and is causing deformities in the non-biting midge *Chironomus riparius* Meigen (1804). *Environ. Pollut.* 262, 114248.
- Wang W., Gao H., Jin S., Li R., Na G., 2019. The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. *Ecotoxicol. Environ. Safe.* 173, 110-117.

## **EVALUATION DU RISQUE ENVIRONNEMENTAL DES ELEMENTS TERRES RARES DANS LES ECOSYSTEMES AQUATIQUES**

Les éléments terres rares (ETR) représentent un groupe de 17 métaux (lanthanides + scandium + yttrium) dont l'utilisation est devenue incontournable dans les technologies du numérique (ordinateurs, smartphones), la production d'énergie renouvelable (éolien, solaire) et dans diverses activités industrielles, médicales et agricoles. Leurs nombreuses applications entraînent des rejets croissants d'ETR d'origine anthropique dans l'environnement et notamment dans les milieux aquatiques. L'écotoxicité de ces contaminants émergents reste encore mal comprise, ce qui limite l'évaluation de leur risque environnemental. La variabilité des résultats issus de la littérature ne permet pas d'établir un consensus sur la potentielle uniformité de toxicité de ces éléments qui partagent des caractéristiques physico-chimiques similaires. Dans le cadre du projet ANR Ecotree, la toxicité de 3 ETR (néodyme=Nd, gadolinium=Gd, ytterbium=Yb) représentatifs de l'ensemble du groupe, a été évaluée sur plusieurs espèces d'eau douce appartenant à différents niveaux trophiques (microalgues, macrophytes, crustacés, bivalves, poissons). L'écotoxicité des ETR a été étudiée selon deux approches complémentaires : tests standardisés et tests en mésocosme. Afin de se rapprocher des conditions environnementales, nous avons testé la toxicité des ETR en mélange (car tous les ETR sont présents ensemble dans l'environnement) et en présence de matière organique dissoute, qui est un composant ubiquitaire des milieux aquatiques. La spéciation des ETR a été estimée par modélisation et la bioaccumulation a été mesurée afin de mieux comprendre les effets biologiques observés. Les résultats montrent qu'il est essentiel de prendre en compte la spéciation pour interpréter correctement la toxicité de ces éléments. En effet, la complexation et la précipitation des ETR avec différents composés du milieu d'exposition influencent fortement la biodisponibilité, la bioaccumulation et la toxicité des ETR. Malgré quelques différences de spéciation et de bioaccumulation entre Nd, Gd et Yb, ces derniers présentent une toxicité similaire et des effets additifs en mélange suggérant une toxicité uniforme entre les différents ETR. L'évaluation du risque des ETR indique que ces derniers peuvent potentiellement dégrader les écosystèmes dulçaquicoles exposés à certains effluents miniers et industriels. Le risque est actuellement limité pour les écosystèmes exposés à d'autres sources d'ETR.

**Nicolas LACHAUX\*(1), Elisabeth-Maria GROSS (1), Laure GIAMBERINI (1)**

(1) Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), UMR 7360 CNRS Université de Lorraine, Rue du Général Delestraint, F-57070 METZ  
Contact e-mail : nicolas.lachaux@univ-lorraine.fr

### **Mots clés**

Eléments terres rares ; évaluation du risque environnemental

### **Remerciements**

Cette étude fait partie du projet ECOTREE [ANR-16-CE34-0012] et du programme national "Investissements d'avenir" [ANR-10-LABX-21-01/LABEX RESSOURCES21] financés par l'ANR avec le support financier de la ZAM LTSE Moselle pour la thèse de Nicolas Lachaux. Nous remercions également le Pôle de compétences en biologie environnementale (LIEC – ANATELO - Université de Lorraine - CNRS – <http://liec.univ-lorraine.fr>) pour le soutien technique.

## LES AGENTS DE CONTRASTE GADOLINES UTILISES LORS D'EXAMENS IRM - NECESSITE D'UNE UTILISATION ECO-RESPONSABLE

Composés indispensables pour une analyse fine de nombreux examens IRM, les agents de contraste gadolinés (AC-Gd) injectés aux patients lors de ces examens envahissent aujourd'hui l'environnement aquatique (Ebrahimi P. and Barbieri M., 2019). Présents à des concentrations non négligeables dans les rivières, les nappes phréatiques et parfois même l'eau du robinet, ces composés circulent dans l'environnement aquatique alors qu'il subsiste beaucoup d'incertitudes concernant leur rémanence et leurs impacts sur les organismes vivants autres que l'homme (Brünjes R. and Hofmann T., 2020). Leur bioaccumulation a été mise en évidence dans des bivalves d'eau douce et un impact moléculaire a pu être mesuré en présence d'AC-Gd dans les milieux de culture de ces organismes (Perrat et al., 2017). La croissance de cultures cellulaires de poissons se trouve également perturbée en présence de ces composés dans le milieu de culture cellulaire (Parant et al., 2019).

Après avoir fait un bilan concernant la présence des AC-Gd dans l'environnement à l'échelle régionale et les désordres biologiques que cela peut engendrer sur différents modèles biologiques, nous présenterons les pistes d'actions envisageables pour permettre une utilisation éco-responsable de ces composés.

### Mots clés

Agents de contraste Gadolinium IRM Bioaccumulation Toxicité cellulaire Eco-responsable One Health

### Remerciements

ANR-10-LABX-21-01/LABEX RESSOURCES21 –CNRS-INSU coordination through the EC2CO-ECODYN program.

### Références

Brünjes R. and Hofmann T., 2020, Anthropogenic gadolinium in freshwater and drinking water systems, *Water Research* 182 (2020) 115966, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115966>

Ebrahimi P. and Barbieri M., 2019, Gadolinium as an Emerging Microcontaminant in Water Resources: Threats and Opportunities, *Geosciences* 2019, 9, 93; doi:10.3390/geosciences9020093

Perrat, E., Parant, M., Py, J.S., Rosin, C., Cossu-Leguille, C., 2017. Bioaccumulation of gadolinium in freshwater bivalves. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 12405–12415.

Parant M., Sohm B., Flayac J., Perrat E., Chuburu F., Cadiou C., Rosin C., Cossu-Leguille C., 2019. Impact of gadolinium-based contrast agents on the growth of fish cells lines. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 182:109385.

Marc PARANT \* (1), Emilie PERRAT (1), Bénédicte SOHM (1), Justine FLAYAC (1), Philippe WAGNER (1), Françoise CHUBURU (2), Cyril CADIOU (2), Christophe ROSIN (3), Jean-Sébastien PY (3), Carole COSSU-LEGUILLE (1), Laure GIAMBERINI (1)

(1) Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC) - UMR 7360 CNRS - Université de Lorraine - UFR SciFA - Campus Bridoux - Rue du Général Delestraint - 57070 METZ - FRANCE

(2) Laboratoire d'Hydrologie de Nancy, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES), 40 rue Lionnois, 54000 Nancy 12, France

(3) Institut de Chimie Moléculaire de Reims - ICMR, UMR 7312, Equipe Chimie de Coordination, Université de Reims Champagne Ardenne, UFR Sciences Exactes et Naturelles, Moulin de la Housse, BP1039, 51687, Reims, cedex 2, France

Contact e-mail :  
marc.parant@univ-lorraine.fr



## INTERNALISATION DU TRITIUM SOUS FORME ORGANIQUE CHEZ LES EMBRYONS ET LARVES DE POISSON ZEBRE

Les populations naturelles d'organismes aquatiques sont exposées à des radionucléides émetteurs de différents types de radionucléides ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) [1]. Ces expositions peuvent mener à l'apparition d'effets délétères qui dépendent de plusieurs facteurs tels que le type de rayonnement, la dose absorbée, le temps d'exposition et la répartition subcellulaire du radionucléide dans l'organisme. La caractérisation à l'échelle subcellulaire de la distribution d'un radionucléide et la dose associée est donc cruciale pour déterminer les mécanismes associés aux effets induits [2]. Une étude a mis en avant qu'après une exposition au tritium libre, l'internalisation chez les embryons et larves de poisson zèbre augmente linéairement avec l'activité présente dans le milieu [1]. Deux autres études ont mis en avant que l'exposition du poisson zèbre au tritium libre pendant son développement entraîne une modification de l'expression de certains gènes et une augmentation du taux de dommages à l'ADN menant à des altérations musculaires et à une modification du comportement natatoire des larves [3].

Cette étude se concentre sur le tritium sous forme organique, plus spécifiquement la thymidine tritiée. Afin d'étudier sa toxicité sur le poisson zèbre à ses stades précoces de développement, l'internalisation du tritium et la répartition subcellulaire de ses dépôts d'énergie ont été étudiés. Des embryons de poisson zèbre ont été exposés à de la thymidine tritiée à différentes activités (de 2,4 à 595 kBq/mL de milieu embryon) et l'internalisation du tritium a été mesurée dans les individus exposés après 1 et 4 jours d'exposition. Des simulations de microdosimétrie ont également été réalisées en utilisant les calculs Monte Carlo avec le code Geant4-DNA afin de représenter la répartition cellulaire des dépôts d'énergie. Les résultats expérimentaux ont montré que le tritium était majoritairement internalisé sous forme organique, et que son internalisation augmentait exponentiellement avec l'activité externe jusqu'à atteindre un point de saturation à environ 250 kBq/mL chez les œufs et les larves, respectivement. Les simulations de microdosimétrie ont montré que l'énergie moyenne déposée par le tritium augmentait linéairement avec le rayon de la cellule. Les simulations ont également mis en avant que les cellules aux plus faibles rayons étaient plus à risque d'être la cible des électrons de faible énergie. Ces électrons réalisant des dépôts d'énergie plus proches les uns des autres, un plus grand risque biologique est également estimé dans le cas des cellules de plus faible rayon. Le développement, le comportement natatoire, l'intégrité de l'ADN et l'expression génique de certains gènes d'intérêt sont en cours d'étude chez les individus exposés à de la thymidine tritiée à des débits de dose de 8 et 40 kBq/mL pendant 1 à 4 jours.

### Mots clés

Tritium, poisson zèbre, thymidine tritiée, stades précoces de développement, internalisation, microdosimétrie

### Remerciements

Nous remercions l'IRSN et ses membres pour le financement de cette étude et leur aide au cours des expériences.

### Références

- [1] Arcanjo C., Maro D., Camilleri V., Cavalié I., Simon O., Beaugelin-Seiller K., Carasco L., Orjollet D., Adam-Guillermine C. et Gagnaire B. 2019. Assessing tritium internalisation in zebrafish early life stages: Importance of rapid isotopic exchange.
- [2] Tang N., Bueno M., Meylan S., Perrot Y., Tran HN., Freneau A. et Dos Santos M. 2019. Assessment of Radio-Induced Damage in Endothelial Cells Irradiated with 40 KVp, 220 KVp, and 4 MV X-Rays by Means of Micro and Nanodosimetric Calculations.
- [3] Arcanjo C., Adam-Guillermine C., Murat El Houdigui S., Loro G., Della-Vedova C., Cavalié I., Camilleri V., Floriani M. et Gagnaire B. 2020. Effects of tritiated water on locomotion of zebrafish larvae: a new insight in tritium toxic effects on a vertebrate model species.

Magali SCHIANO DI LOMBO\*(1),  
Virginie CAMILLERI (1), Isabelle  
CAVALIE (1), Jérôme CACHOT (3)  
Yann PERROT (2), Béatrice  
GAGNAIRE (1)

(1) IRSN/PSE-ENV/SRTE/LECO, Centre  
de Cadarache, B.P.3 - Bat 183, 13115  
Saint Paul lez Durance, France

(2) IRSN/PSE-SANTE/SDOS/LDRI,  
B.P.17, 31 avenue de la Division  
Leclerc, 92262 Fontenay-aux-Roses  
CEDEX, France

(3) UMR CNRS 5805 EPOC - OASU,  
Université de Bordeaux, Bâtiment B2,  
33405 Talence Cedex, France

Contact e-mail :  
magali.schianodilombo@irsn.fr

# COMPARAISON DE L'ORGANOTROPISME, DE LA TOXICO-CINÉTIQUE ET DU DEVENIR DU CADMIUM ACCUMULÉ PAR VOIE DISSOUE OU TROPHIQUE CHEZ *GAMMARUS FOSSARUM*

Ce travail vise à améliorer la connaissance des processus de bioaccumulation des métaux chez l'espèce sentinelle *Gammarus fossarum* en considérant deux voies d'accumulation : la voie dissoute et la voie trophique. La compréhension des mécanismes de bioaccumulation au niveau des organes permet de comprendre l'importance de chacun dans les processus ADME (Accumulation, Distribution, Métabolisation et Élimination). Ce travail offre de nouvelles connaissances nécessaires à l'amélioration : i) des modèles TKTD, pour prédire l'effet d'une exposition aux métaux ; et ii) des outils de diagnostic des milieux *via* le développement de biomarqueurs sur des organes cibles. Pour cela, nous avons étudié l'organotropisme, la toxico-cinétique et le devenir du Cd après exposition par l'une ou l'autre voie d'accumulation. Afin de pouvoir implémenter un modèle toxico-cinétique (TK) aux données d'accumulation de Cd par la voie trophique, il a, dans un premier temps, été nécessaire d'évaluer l'efficacité d'accumulation (EA) du Cd. Des gammarus (n=24) ont été nourris pendant 1h avec des disques de feuille d'aulne (*Alnus glutinosa*) préalablement radiomarqués avec du <sup>109</sup>Cd. La radioactivité a ensuite été suivie dans chacun des individus pendant une période de 14 jours afin de tracer la cinétique de perte permettant l'évaluation de l'EA et du temps de rétention du métal dans l'organisme (demi-vie biologique). Dans un deuxième temps, des gammarus ont été exposés à des disques de feuille contaminés au <sup>109</sup>Cd pendant 6 jours : cette phase d'accumulation a été suivie d'une phase de dépuraction de 11 jours pendant laquelle les gammarus ont été nourris avec des feuilles non contaminées. Le taux d'ingestion (IR) lors de la phase d'accumulation a été mesuré. À différents temps au cours des deux phases, 20 gammarus ont été disséqués et séparés en quatre pools (n = 5) pour chaque organe ciblé (caeca, céphalon, branchies, intestin et tissus restants) afin d'y mesurer la radioactivité. En prenant en compte les données d'EA et d'IR, un modèle TK multi-compartiments a été développé, associé à un processus d'inférence itératif d'ajustement simultané à toutes les données, permettant *in fine* de sélectionner le modèle le plus parcimonieux. L'ajustement d'un modèle TK multi-compartiments a permis d'établir les échanges de métaux entre les différents organes, conduisant à une vision réaliste de la gestion physiologique des métaux. Les données obtenues ont été comparées à de précédentes données obtenues par exposition à du Cd dissout (Gestin et al., En révision). Ces travaux, décrivant la dynamique interne du Cd accumulé par différentes voies, ont permis d'identifier une différence d'organotropisme et de gestion par les organes selon la voie d'accumulation. Par la voie dissoute, l'accumulation s'effectue aussi bien par les intestins que les branchies, alors que l'élimination se fait exclusivement par les intestins. Par la voie trophique, seulement deux organes semblent jouer un rôle important dans la gestion du Cd : les intestins et les caeca. Enfin, ces travaux ont pu être utilisés afin d'établir la contribution respective des deux voies d'exposition dans la bioaccumulation des métaux par les gammarus.

## Mots clés

Radio-écotoxicologie, Métaux, Organotropisme, Modèles Toxico-cinétiques, Invertébrés, Eau douce, Voie trophique, Voie dissoute

## Remerciements

ce travail est une contribution au projet APPROVe, financé par l'Agence Nationale de Recherche (ANR-18-CE34-0013-01). Ces travaux ont bénéficié du cadre français du GDR "Écotoxicologie aquatique" qui vise à favoriser les discussions et collaborations scientifiques stimulantes pour des approches plus intégratives. Nous remercions Hervé Quéau (INRAE) pour l'assistance technique, ainsi que le « laboratoire de Radioécologie » de l'Institut du Littoral, Environnement et Sociétés (UMR 7266 LIENSs), Christine Dupuy et Thomas Lacoue-Labarthe en tant que Personnes Compétentes en Radioprotection (PCR) pour leur soutien technique.

## Références

Gestin, O., Lopes, C., Delorme, N., Garnero, L., Geffard, O., Lacoue-labarthe, T., En révision (Environmental Pollution). Organotropism of cadmium and zinc in *Gammarus fossarum*, after an exposure to environmental concentrations.

Ophélie GESTIN<sup>1,2,3</sup>, Christelle LOPES<sup>1</sup>, Nicolas DELORME<sup>3</sup>, Laura GARNERO<sup>3</sup>, Olivier GEFFARD<sup>3</sup>, Thomas LACOUÉ-LABARTHE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Évolutive UMR 5558, 69622 Villeurbanne, France

<sup>2</sup>Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs), UMR 7266 CNRS - La Rochelle Université, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France

<sup>3</sup>INRAE, RiverLy, Laboratoire d'écotoxicologie, 5 Avenue de la Doua, CS20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

Contact e-mail : ophelia.gestin@etu.univ-lyon1.fr

# MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DE BIOMARQUEURS : APPLICATION D'UN MODELE PBTK-TD CHEZ L'ÉPINOCHÉ EXPOSÉE AU BISPHENOL A

Actuellement, l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques fait l'objet d'un travail en deux temps. Premièrement, des mesures chimiques sont réalisées pour quantifier les substances que l'on retrouve dans ces milieux. Dans un second temps, pour évaluer les effets potentiels des contaminants sur les écosystèmes aquatiques, des mesures de marqueurs biologiques (ou biomarqueurs) sont mises en place selon des stratégies active (organisme in situ) ou passive (encagement). Cette double approche, suppose une corrélation existante entre les mesures chimiques et les effets mesurés, sans l'avoir démontrée et analysée. Dans ce contexte, la modélisation a été proposée comme un outil permettant d'explicitier cette relation lorsqu'elle existe (Forbes, 2008). Dans ce travail, une espèce de poisson modèle en écotoxicologie, l'épinoche à trois épines, a fait l'objet de deux expositions (une exposition de 7 jours, suivie de 7 jours de dépuración, et une exposition de 21 jours) au bisphénol A (BPA, 10 et 100 µg/L). Le BPA est considéré comme une substance très préoccupante en raison de sa fonction de perturbateur endocrinien (PE), de son volume de production élevé et de sa persistance dans l'environnement aquatique (Faheem et al., 2021). Par ailleurs, un certain nombre d'études ont démontré l'existence d'effets du BPA à faible dose et de leur caractère parfois non-monotones (Vandenberg et al., 2012). Pour cette raison, une batterie de biomarqueurs représentatifs des fonctions de reproduction, de l'immunité innée, du stress oxydant et de la détoxification métabolique a été relevée chez l'épinoche. L'objectif de ce travail vise à utiliser un modèle toxicocinétique à fondement physiologique spécifique au BPA et développé pour l'épinoche pour modéliser la dynamique de ces biomarqueurs. En détail, une analyse statistique des réponses a été réalisée conduisant à la sélection de certains biomarqueurs présentant une réponse significativement différente du contrôle et lorsque c'était possible, non-monotone. Par la suite, les doses internes prédites dans les organes d'intérêt où les biomarqueurs ont été mesurés (foie, sang et rate) ont été intégrées à des modèles de toxicodynamie. L'utilisation de ce PBTK-TD a ainsi permis de tester différentes hypothèses, notamment de définir les composés (parent et/ou métabolites) responsables des effets observés et dans le cadre d'une exposition non monotone, de déterminer les doses d'expositions externes induisant réellement les réponses biologiques observées. L'effet précoce du BPA sur plusieurs paramètres de la phagocytose a notamment été mis en évidence. Du fait de la spécificité oestrogénomimétique du BPA, une modulation de l'activité phagocytaire pourrait être liée à l'induction des récepteurs oestrogéniques présents à la surface des cellules effectrices de la phagocytose (principalement les macrophages). Cependant, une action directe de la molécule ne peut pas être totalement exclue. Des analyses complémentaires seront donc menées afin de mieux appréhender les mécanismes d'actions sous-jacents.

## Mots clés

PBTK-TD, Biomarqueurs, Poisson, BPA, Epinoche

## Remerciements

Les auteurs remercient le programme EC2CO (Ecosphère Continentale et Cotière) pour avoir participé au financement de ce travail. Les auteurs remercient également l'équipe d'ESMI de l'INERIS pour avoir participé aux dissections des épinoches.

## Références

- Faheem, M. & Bhandari, R.K. (2021). Detrimental Effects of Bisphenol Compounds on Physiology and Reproduction in Fish: A Literature Review. *Environ Toxicol Pharma*, 81, 103497.
- Forbes, V.E., Calow, P. & Sibly, R.M. (2008). The extrapolation problem and how population modeling can help. *Environ Toxicol Chem*, 27, 1987-1994.
- Vandenberg, L.N., Colborn, T., Hayes, T.B., Heindel, J.J., Jacobs, D.R., Lee, D.H. et al. (2012). Hormones and Endocrine-Disrupting Chemicals: Low-Dose Effects and Nonmonotonic Dose Responses. *Endocrine Reviews*, 33, 378-455.

Corentin MIT\*(1), Anne. BADO-NILLES (2), Olivier. PALLUEL (2), Cyril TURIES (2), Rémy BEAUDOUIN (1)

(1) Unité Toxicologie Expérimentale et Modélisation (TEAM), INERIS, UMR-I 02 SEBIO, Parc ALATA, BP2, 60550 Verneuil en Halatte, France

(2) Unité Ecotoxicologie des substances et des milieux, INERIS, UMR-I 02 SEBIO, Parc ALATA, BP2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France  
Contact e-mail : corentin.mit@ineris.fr

## AMÉLIORATION DE LA PARTIE TK DES MODÈLES GUTS : ÉTUDE DE CAS AVEC *GAMMARUS FOSSARUM* EXPOSÉ AU CADMIUM

Les instances réglementaires reconnaissent aujourd'hui les modèles TKTD, dont font partie les modèles GUTS (*General Unified Threshold models of Survival*), comme une approche méthodologique complémentaire à la pratique courante pour l'évaluation des risques liés à la présence de substances chimiques dans l'environnement, notamment pour la faune aquatique lorsqu'elle se retrouve exposée à des pesticides (EFSA, 2018). Les modèles GUTS permettent plus spécifiquement de décrire la survie des organismes en fonction du temps et de la concentration d'exposition en contaminants, elle-même pouvant varier au cours du temps (Jager *et al.*, 2011). Les modèles GUTS sont spécifiques d'une combinaison espèce-substance particulière. Ils sont constitués : (i) d'une partie TK (*toxico-kinetic*) qui relie la concentration d'exposition en contaminants à la concentration interne dans l'organisme ; (ii) et d'une partie TD (*toxico-dynamic*) qui fait le lien entre cette concentration bioaccumulée par l'organisme et les effets sur sa survie. Aujourd'hui, la partie TK des modèles GUTS considère l'organisme comme une seule et même entité (l'unique compartiment du modèle) dans lequel le contaminant entre et duquel il sort avec un même taux  $k_d$  ; cette partie TK est alors dite réduite, ne faisant pas la distinction entre les taux d'accumulation (traditionnellement appelé  $k_u$ ) et d'élimination (traditionnellement appelé  $k_e$ ). Notre objectif a donc été de tester si une telle simplification de la partie TK des modèles GUTS (modèle A) génère ou non des biais de prédictions de la survie au cours du temps. Pour cela, nous avons construit deux revisites alternatives de la partie TK : (i) en conservant un unique compartiment mais en différenciant les taux d'accumulation et d'élimination (modèle B) ; (ii) en subdivisant l'organisme en plusieurs compartiments correspondants à des organes cibles pour permettre une description, sur des bases physiologiques, des voies internes de contamination (*i.e.* organotropisme, Gestin *et al.*, 2021) (modèle C). Pour comparer les modèles A, B et C, nous avons utilisé un même jeu de données sur lequel les trois concurrents ont été ajustés dans un cadre inférentiel Bayésien. Ce jeu de données rassemble des données de bioaccumulation et de survie chez des males de l'espèce sentinelle *Gammarus fossarum* exposés à plusieurs concentrations en Cadmium pendant 7 jours. La concentration bioaccumulée par individu, et à l'intérieur de chacun de ses organes, ainsi que le nombre de survivants ont été suivis à intervalles de temps réguliers. En complément, les modèles A et B ont été comparés sur d'autres jeux de données tests (ne comportant que des données de bioaccumulation sur organisme entier) afin de mettre en évidence une réelle plus-value à complexifier la partie TK des modèles GUTS, au regard de ce qui est actuellement recommandé par les instances réglementaires.

### Mots clés

Modèles TK-TD, survie, modèles à base physiologique, modèles multi-compartiments, inférence bayésienne

### Remerciements

Ce travail s'intègre dans le projet APPROVe, financé par l'Agence Nationale de Recherche (ANR-18-CE34-0013-01). Il s'inscrit par ailleurs dans les thématiques du GDR "Écotoxicologie Aquatique" qui vise à favoriser des discussions et collaborations scientifiques stimulantes pour des approches plus intégratives.

### Références

- Gestin *et al.* (2021). One and multi-compartments toxico-kinetic modeling to understand metals' organotropism and fate in *Gammarus fossarum*. *Environment International*, 156, 106625. doi : 10.1016/j.envint.2021.106625.
- Jager *et al.* (2011). General Unified Threshold Model of Survival - a Toxicokinetic-Toxicodynamic Framework for Ecotoxicology. *Environmental Science and Technology*, 45(7), 2529-2540. doi: 10.1021/es103092a.
- EFSA PPR Panel. (2018). Scientific Opinion on the state of the art of Toxicokinetic/Toxicodynamic (TKTD) effect models for regulatory risk assessment of pesticides for aquatic organisms. *EFSA Journal*, 16(8), 5377. doi:10.2903/j.efsa.2018.5377.

Christelle LOPES<sup>\*1</sup>, Jérémie BRUSET<sup>1</sup>, Dominique LAMONICA<sup>1</sup>, Ophélie GESTIN<sup>1,2,3</sup>, Sandrine CHARLES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ Lyon, Université Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Évolutive UMR 5558, 69622 Villeurbanne, France

<sup>2</sup> Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs), UMR 7266 CNRS - Université de la Rochelle, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France

<sup>3</sup> INRAE, RiverLy, Laboratoire d'écotoxicologie, 5 Avenue de la Doua, CS20244, 69625 Villeurbanne Cedex, France

Contact e-mail :

[christelle.lobes@univ-lyon1.fr](mailto:christelle.lobes@univ-lyon1.fr)



## L'ALLOCATION DE CADMIUM AUX GRAINS EST-ELLE SOUS LA DEPENDANCE DU STATUT SOUFRE CHEZ LE BLE DUR ?

Le cadmium (Cd) est un élément présent dans les sols agricoles qui s'accumule naturellement plus fortement dans les grains de blé dur en comparaison à d'autres céréales. Cet élément toxique pour l'être humain fait l'objet d'une réglementation portant sur sa teneur dans les denrées alimentaires. C'est le cas des grains de blé dur, pour lesquels le seuil a été revu à la baisse à 0.18 mg Cd kg<sup>-1</sup> par l'Union Européenne (CE 1323/2021). Ce seuil continuera vraisemblablement à être réduit ce qui pourrait donc exclure de la commercialisation une part plus importante de la production française. Par ailleurs, de précédents travaux ont montré des interactions entre fertilisation soufrée et accumulation en Cd, laissant envisager des schémas de fertilisation en soufre (S) comme levier de contrôle de la contamination cadmiée. L'objectif de ce travail est de comprendre comment le statut soufré de la plante peut affecter la répartition du Cd entre les organes et plus particulièrement son allocation aux grains. En effet, une fertilisation soufrée modérée entraînerait une diminution de la synthèse des composés soufrés impliqués dans la remobilisation du Cd vers les grains et une plus faible séquestration racinaire du Cd (Lux et al., 2011; Parrotta et al., 2015). L'importance de ces deux processus antagonistes reste à établir.

Une variété de blé dur accumulatrice de Cd (cv *Sculptur*) (Perrier et al., 2016) a été cultivée dans des colonnes de sable irriguées par une solution nutritive contenant du Cd. Vingt jours avant la floraison, les plantes ont été exposées à trois concentrations de S : une concentration optimale (S100), une concentration réduite à 20 % de la concentration optimale (S020) et une privation totale de S (S0). Les plantes ont été récoltées en cours de remplissage des grains (43 jours) et à maturité physiologique des grains (97 jours). A chaque stade, le blé dur a été divisé en 11 organes (racines, nœuds, entre-nœuds, thalles jeunes, feuilles vertes, feuilles sénescences, feuille drapeau, rachis, épis, glumes et barbes et grains) dans lesquels la matière sèche et les teneurs en S, Cd, Ca, Zn, Fe, Mn et Mg ont été mesurées.

Par rapport aux plantes bien alimentées en S, la privation en sulfate a conduit à abaisser le statut S de la plante sans impact sur la croissance du blé dur. La teneur en Cd des grains s'est avérée supérieure dans les plantes totalement privées en S (0,41 mg Cd kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS)) que dans celles ayant reçu une concentration optimale de S avant floraison (0,30 mg Cd kg<sup>-1</sup> MS). Ce résultat ne semble pas en lien avec le prélèvement de Cd car celui-ci était identique pour les trois traitements de fertilisation S. Il serait plutôt lié à une modulation de la répartition de Cd dans la plante. La teneur en Cd des racines a diminué avec la réduction de la fertilisation S au profit d'une augmentation de l'allocation du Cd au grain, les autres organes n'étant pas affectés. Cela semble confirmer l'hypothèse selon laquelle la rétention de Cd dans les racines serait moins efficace lorsque le statut S de la plante est diminué, en lien avec une moindre abondance de ligands soufrés impliqués dans la séquestration vacuolaire et/ou pariétale du Cd. Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte le statut S de la plante dans la gestion de la contamination cadmiée du blé dur, notamment via une correction des déficiences en S sur les sols où la disponibilité en Cd est élevée.

### Mots clés

Faible dose, séquestration racinaire, qualité sanitaire, éléments traces, ligands soufrés, fertilisation

### Remerciements

Les auteurs remercient le département AgroEcoSystème de l'INRAE, la région Nouvelle Aquitaine et le programme CNRS-INSU EC2CO pour leur soutien financier.

### Références

- Lux et al., 2011 Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. *Journal of Experimental Botany*. 62: 21-37  
Parrotta et al., 2015 Target or barrier? The cell wall of early- and later diverging plants vs cadmium toxicity: differences in the response mechanisms. *Frontier in Plant Science*. 6. 133  
Perrier et al., 2016. Variability in grain cadmium concentration among durum wheat cultivars: impact of aboveground biomass partitioning. *Plant Soil*.

Agathe Vidal\*(1), Valentin DUBOIS(2), Sophie BRUNEL MUGUET(2), Jean-Yves CORNU(1), Christophe NGUYEN(1), Jean-Christophe AVICE(2)

(1) INRAE, UMR ISPA, 33882

Villenave d'Ornon

(2) INRAE, UMR EVA, 14032 Caen

Contact e-mail : agathe.vidal@inrae.fr

# ECOTOXICITE TERRESTRE A LONG TERME DES ELEMENTS TRACES APPORTES PAR UNE FERTILISATION ORGANIQUE INTENSIVE DANS UN AGRO-ECOSYSTEME MARAICHER

Céline Laurent<sup>\*(1)</sup>, Matthieu N.  
Bravin (2), Emmanuel DOELSCH  
(3)

(1) Cirad UPR Recyclage et risque F-  
97743 Saint-Denis, Réunion

(2) et (3) Recyclage et risque, Univ  
Montpellier, CIRAD, Avenue Agropolis,  
34398 Montpellier Cedex 5, France

Contact e-mail :  
celine.laurent@cirad.fr

La fertilisation organique est une source majeure de contamination diffuse en éléments traces des sols agricoles. Malgré la contamination en éléments traces induite par la fertilisation organique, la disponibilité de ces éléments ne semble pas augmentée à l'échelle décennale du fait d'une régulation de la disponibilité par l'augmentation du pH ainsi que la concentration et des propriétés de complexation des matières organiques du sol. Cet effet protecteur semble également se traduire par une absence d'augmentation de la biodisponibilité des éléments traces du sol, avec un faible impact écotoxicologique sur les organismes du sol à l'échelle décennale. A plus long terme, il reste à déterminer si l'effet protecteur observé restera suffisant pour contenir l'impact écotoxicologique d'une contamination lente mais continue des sols agricoles, en particulier dans les agroécosystèmes les plus intensifiés du point de vue de la fertilisation organique. Cette étude a donc eu pour objectif d'estimer l'impact écotoxicologique potentiel sur les organismes d'un sol maraîcher contaminé en élément traces (Cd, Cu, Ni et Zn) par des pratiques de fertilisation intensive sur un siècle. Ce travail s'est basé sur des données issues d'un essai de terrain mené de 2004 à 2011 à La Réunion. Cinq espèces maraîchères ont été cultivées et ont reçu des apports bisannuels de lisier de porcs ou de litière de volailles (30 à 60 t MB/ha/an) et en comparaison à une fertilisation minérale de référence. En accord avec la littérature, cet essai présente une augmentation temporelle du pH, de la matière organique et des concentrations en éléments traces dans le sol. Un modèle de bilan de masse des éléments traces a été utilisé afin de prédire l'évolution sur 100 ans de la concentration en éléments traces dans le sol pour les différentes modalités de fertilisation. L'évolution sur 100 ans des concentrations sans effet (PNEC) a été calculée avec un calculateur dédié, en considérant l'approche Reach (i.e. 10% d'effet toxicologique-EC10- pour 5% des organismes considérés-HC5-) et en tenant compte de l'évolution temporelle du pH et de la matière organique du sol. En considérant un scénario d'apport de fertilisants organiques à l'échelle d'un siècle, le modèle de bilan des masses prédit une augmentation des concentrations en éléments traces dans le sol. Les valeurs seuils prédites au-delà desquelles il y a un risque écotoxicologique ne sont pas dépassées pour Cd et Ni. Concernant Cu et Zn, les PNEC prédites sont dépassées et le temps pour dépasser les PNEC dans le cas de Cu est beaucoup plus court que pour Zn (entre 28 et 45 ans pour Cu et entre 60 et 72 ans pour Zn), du fait d'une plus grande toxicité de Cu pour les organismes du sol. Dans le cas de Cu et Zn, les couples HCx-ECy ont été déterminés afin d'évaluer le risque écotoxicologique en considérant une valeur seuil égale à la concentration maximale prédite après 100 ans de fertilisation. Pour Cu, par exemple dans le cas d'apports de lisier de porcs, pour une valeur minimale d'EC de 10%, la part d'organismes du sol affecté augmente et est égale à 40%. Ces résultats suggèrent donc que l'accumulation de Cu et Zn du fait d'une fertilisation organique intensive pourrait avoir un impact écotoxicologique à l'échelle de quelques décennies.

## Mots clés

Biodisponibilité ; Contamination ; Matières fertilisantes d'origine résiduaire ; Métaux.

## Remerciements

Nous remercions l'Ademe ainsi que le Conseil Régional de La Réunion, le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (programme Feder, subvention n°GURTDI 20151501-0000735) et le Cirad pour le financement du projet PhytAO-Ni/Cr et du contrat post-doctoral de C. Laurent dans le cadre des activités du dispositif en partenariat "Services et impacts des activités agricoles en milieu tropical" (Siaam).

## TRANSFERT DE RESIDUS DE PESTICIDES DANS UN SYSTEME PROIE-PREDATEUR TERRESTRE

La plupart des méthodes de bio-contrôle utilisées en agriculture comme alternative à l'usage de pesticides sont basées sur la consommation de ravageurs par des insectes prédateurs, eux-mêmes consommés par des petits mammifères ou des oiseaux. Cependant, à ce jour, l'utilisation de pesticides est toujours prédominante en agriculture et les ravageurs ainsi que leurs prédateurs situés en amont dans la chaîne trophique sont susceptibles d'être contaminés, avec des concentrations de pesticides qui pourraient augmenter à chaque niveau trophique (biomagnification). Cela pourrait conduire à une diminution de l'efficacité des méthodes de bio-contrôle, ce qui souligne l'intérêt majeur de l'étude du transfert de pesticides entre compartiments biotiques. Cette étude évalue le transfert de concentrations résiduelles de pesticides dans un système de prédation d'arthropodes, rarement étudié dans les écosystèmes terrestres. Bien que les effets des pesticides sur la santé de l'abeille soient largement étudiés, on ne connaît rien sur les insectes prédateurs du niveau trophique supérieur qui chassent les abeilles. En se servant de ce système proie-prédateur particulier qui inclut l'abeille domestique et le frelon asiatique, nous étudions le transfert de pesticides chez les insectes.

Dans un premier temps nous avons développé une méthode d'extraction et d'analyse par HPLC-MS/MS afin de pouvoir quantifier les résidus de pesticides dans des frelons individuels. Puis nous avons analysé des femelles adultes provenant de 22 colonies de frelons asiatiques et nous avons pu quantifier de multiples résidus de pesticides et un synergiste, le piperonyl butoxide, à des concentrations allant jusqu'à 20 ng/g. Enfin, nous avons analysé des résidus de pesticides, métaux traces et métaux de traçage, dans des abeilles butineuses et des frelons asiatiques chassant devant les ruches, collectés dans des agro-écosystèmes contrastés. Les résultats de cette étude nous permettront d'appréhender, en fonction de l'environnement étudié, le potentiel de transfert et de bioaccumulation de pesticides dans les systèmes trophiques terrestres.

### Mots clefs

Chaîne trophique, pesticides, bioaccumulation, abeille, frelon asiatique

Léa TISON\*(1), Céline FRANC (2),  
Louisiane BURKART (1), Alice  
ROUZES (1), Gilles DE REVEL (2),  
Hervé JACTEL (3), Karine  
MONCEAU (4), Denis THIERY (1)

(1) INRAE, UMR 1065 SAVE, 33140  
Villenave d'Ornon

(2) Université de Bordeaux, ISVV, UMR  
1366 OENO, 33140 Villenave d'Ornon

(3) INRAE, UMR 1202 BIOGECO, 33610  
Cestas

(4) Université de La Rochelle CEBC,  
UMR CNRS 7372, 79360 Villiers-en-  
Bois

Contact e-mail : lea.tison@inrae.fr

# PHYSARUM POLYCEPHALUM: UN NOUVEAU MODELE CELLULAIRE POUR L'ETUDE DES EFFETS ECOTOXICOLOGIQUES DES NANOTUBES DE CARBONE

Les nanotubes de carbone (NTC) constituent une catégorie de nanomatériaux ayant des applications dans tous les domaines (énergie, transports, matériaux composites et environnement) en raison de leurs propriétés mécaniques, optiques et électroniques exceptionnelles. Cependant, leur utilisation devrait dépendre de la non-toxicité de ces nanomatériaux, et leur impact sur les êtres vivants est encore peu connu [1,2,3]. Cette étude a évalué la toxicité des nanotubes de carbone à double paroi DWCNTs (comme modèle des NTC en général) sur l'organisme unicellulaire *Physarum polycephalum*. Aussi connu sous le nom de blob, ce dernier est un modèle de choix en raison de la simplicité de son organisation et de sa complexité comportementale [4]. L'objectif d'une étude précédente était d'évaluer le devenir des NTC dans la cellule de *Physarum polycephalum*. Nous avons montré que les DWCNTs peuvent être internalisés par la cellule, et l'absence de bioaccumulation suggère que les DWCNTs sont rapidement excrétés de la cellule [5]. D'un point de vue comportemental, les impacts sur la vitesse de migration et la capacité de prise de décision ont également été étudiés. Les organismes exposés aux NTC ont été ralentis et leurs capacités de prise de décision ont été légèrement altérées.

Manon TERNOIS\*(1,2), Emmanuel FLAHAUT (2), Audrey DUSSUTOUR (1)

(1) Centre de Recherches sur la Cognition Animale (CRCA), Centre de Biologie Integrative (CBI), Université Paul Sabatier, 31062 TOULOUSE

(2) Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux (CIRIMAT), Université Paul Sabatier, 31062 TOULOUSE  
Contact e-mail: manon.ternois@univ-tlse3.fr

## Mots clés

Nanotubes de carbone, *Physarum polycephalum*, Cytotoxicité, Internalisation, Comportement

## Remerciements

M. Ternois remercie l'ANR Smartcell pour avoir financé son stage de M2, la MITI (CNRS) NTCELL pour le financement des expériences, et l'Université de Toulouse et la Région Occitanie pour le financement de son doctorat.

## Références

- [1] Cavallo D, Fanizza C, Ursini CL, Casciardi S, Paba E, Ciervo A, Freseghna AM, Maiello R, Marcelloni AM, Buresti G, Tombolini F, Bellucci S, Iavicoli S. 2012. Multi-walled carbon nanotubes induce cytotoxicity and genotoxicity in human lung epithelial cells. *J. Appl. Toxicol.* 32 : 454–464.
- [2] Liné C, Larue C, Flahaut E. 2017. Carbon nanotubes: Impacts and behaviour in the terrestrial ecosystem - A review. *Carbon* 123: 767–785.
- [3] Zhou L, Forman HJ, Ge Y, Lunec J. 2017. Multi-walled carbon nanotubes: a cytotoxicity study in relation to functionalization, dose and dispersion. *Toxicology in Vitro* 42: 292–298.
- [4] Vallverdú J, Castro O, Mayne R, Talanov M, Levin M, Baluška F, Gunji Y, Dussutour A, Zenil H, Adamatzky A. 2018. Slime mould: The fundamental mechanisms of biological cognition. *Biosystems* 165: 57–70.
- [5] Ternois M, Mougou M, Flahaut E, Dussutour A. 2021. Slime molds response to carbon nanotubes exposure: from internalization to behavior. *Nanotoxicology*.

## SUIVI DES REAMENAGEMENTS D'UN COURS D'EAU, L'ORNE.

Au sein de la Zone Atelier Moselle, a émergé le projet de suivi pluridisciplinaire de travaux de restauration de cours d'eau afin de faire le bilan des bénéfices écologiques, mais aussi de comprendre le processus de retour au fonctionnement "naturel" d'un cours d'eau. Le site sélectionné pour ce projet est le bassin versant de l'Orne, affluent gauche de la Moselle. L'Orne a été soumise à des pressions anthropiques très fortes au cours du XXe siècle, notamment sur le tronçon aval et subit encore aujourd'hui les rémanences des modifications apportées pour le développement économique. A l'heure actuelle, s'ajoutent à ces pressions héritées de l'activité sidérurgique, les pressions agricoles et urbaines. Au vu des multiples perturbations physiques et chimiques que subit cet affluent de la Moselle, se pose la question de l'effet de la seule ouverture des barrages et suppressions des retenues d'eau de plusieurs km.

Avant l'ouverture des barrages, un état de référence du cours d'eau a été établi sur une période de cinq ans. Ces travaux préliminaires comprennent l'instrumentation du site, les mesures de débit, une étude diachronique morpho-sédimentaire, la mise en œuvre d'une approche multi-marqueurs (géochimiques, chimiques et microbiologiques) pour l'étude de la qualité des eaux, matières en suspension et sédiments. Cette première étape a permis d'établir les conditions de transport sédimentaire [1], de mettre en évidence les dépôts de résidus sidérurgiques dans les zones de remous des barrages [2], et d'évaluer la pression en produits phytosanitaires. Les dépôts sidérurgiques se retrouvent systématiquement au droit des anciennes installations industrielles. Par leur composition, leur texture, ils représentent une source de contamination facilement mobilisable et transportable. Les suivis d'épisodes de crue effectués à plusieurs reprises mettent en évidence la contribution de particules d'origine anthropique enrichies en contaminants métalliques et organiques et associées à des marqueurs microbiologiques. A la suite de l'ouverture des barrages en 2019, l'objectif est de poursuivre nos actions d'observation axées sur quelques questions principales : comment sera modifié le fonctionnement hydrologique et quel impact cela aura-t-il sur le transport sédimentaire ? Quel sera le devenir des dépôts sidérurgiques et des contaminants associés une fois émergés ? Quel sera l'effet de la végétalisation sur la stabilité des berges ? Quels effets écotoxicologiques sur la biota ?

Emmanuelle MONTARGES-PELLETIER\*(1a), Benoit LOSSON (2), Catherine LORGEUX (3), Laure PASQUINI (4), Alain GEFFARD (5), Christophe CLOQUET (6), Sandrine PAIN-DEVIN (1b), Laurence MANSUY-HUAULT (1a)

(1) LIEC Université de Lorraine, CNRS 54000 NANCY(a) et 57000 METZ(b)

(2) LOTERR, Université de Lorraine, 57000 METZ

(3) GEORESSOURCES Université de Lorraine, CNRS 54000 NANCY

(4) LHN ANSES, 54000 NANCY (5) CESBIO, Université de Reims CNRS, 51000 REIMS, CRPG, Université de Lorraine, CNRS, 54000 NANCY

Contact e-mail :

emmanuelle.montarges@univ-lorraine.fr

### Mots clés

Réaménagement, Orne, barrage, hydrosédimentaire, sidérurgie, biosurveillance

### Remerciements

Ce projet a été en partie financée par la Région Lorraine, l'ANR, l'Agence de l'Eau Rhin Meuse, le CNRS (Réseau des ZAs).

### Références

- [1] LOSSON B. MANCEAU L., KANBAR H.J., WALDVOGEL Y., DELUS C., MANSUY-HUAULT L., HISSLER C., MONTARGES-PELLETIER E. 2020 Hydrodynamique de l'Orne et mobilisation sédimentaire dans la zone de remous. Géomorphologie. Vol 26, 1, pp. DOI:10.4000/geomorphologie.14004
- [2] KANBAR H., MONTARGES-PELLETIER E., LOSSON B., BIHANNIC I., GLEY R., BAUER A., VILLIERAS F., MANCEAU L., EI SAMRANI A., MANSUY-HUAULT L. 2017. Iron mineralogy as a fingerprint of former steelmaking activities in river sediments - Science of the Total Environment, 599–600, pp. 540–553.2000.

## COMPARAISON DES REPONSES BIOLOGIQUES CHEZ DEUX ESPECES DE DREISSEINIDES DANS UN CONTEXTE DE BIOSURVEILLANCE ACTIVE D'UNE RIVIERE URBAINE, L'ORNE

Les bivalves sont des organismes sentinelles utilisés en tant qu'indicateurs de la présence et/ou de la toxicité des contaminants dans des contextes d'expositions d'origine industrielle, agricole et/ou urbaine. L'objectif de nos travaux est d'évaluer et de caractériser les réponses biologiques (biomarqueurs) chez deux espèces de dreissènes (*Dreissena polymorpha* et *Dreissena r. bugensis*) lors d'opérations de biosurveillance active. Dans ce contexte, les dreissènes ont été encagées dans une rivière sidérurgique lorraine empreinte d'un lourd passé industriel, l'Orne. A la fin du XIXème siècle, le développement des activités sidérurgiques autour de cette rivière s'est accompagné de la construction de trois barrages, devenus obsolètes aujourd'hui. L'effacement de ces barrages a débuté en 2019 avec l'ouverture des vannes pour deux d'entre eux, engendrant de profonds remaniements du lit et modifiant l'hydrologie. Ces modifications hydromorphologiques associées à des épisodes de crues entraînent un risque accru de remise en suspension/circulation des sédiments contaminés qui ont été accumulés pendant les phases d'activité industrielle. Afin d'étudier l'impact potentiel de la remise en suspension des sédiments contaminés sur le biote, des biomarqueurs ont été mesurés dans les glandes digestives de dreissènes encagées dans l'Orne pendant deux crues hivernales successives. Les biomarqueurs choisis interviennent dans la gestion énergétique (activité de la Cytochrome c oxydase COX, de la chaîne mitochondriale -Electron transport system- ETS et de la Lactate déshydrogénase LDH, et concentrations en Triglycérides TRI), dans la défense anti-toxique et anti-oxydante (activité de la Glutathion-S-Transférase GST, de la Glutathion Peroxydase GPx et de la Superoxyde Dismutase SOD, et Capacité antioxydante -Total Antioxidant Capacity- TAC,) et dans la survenue d'effets toxiques (activité de la Caspase 3 CSP et concentrations en peroxydes lipidiques LOOH). Les premiers résultats montrent que les deux espèces de dreissènes présentent des profils de réponse distincts. En effet, *Dreissena polymorpha* semble activer ses défenses anti-oxydantes au détriment de ses réserves énergétiques (TRI), ce qui lui permet néanmoins de limiter les effets toxiques en maintenant des niveaux faibles de peroxydes lipidiques (LOOH). A l'opposé, *Dreissena r. bugensis* préserve ses réserves en maintenant des niveaux de défense plus faibles, ce qui engendre en contrepartie une augmentation de la peroxydation lipidique. Concernant la question de l'impact de la crue sur les réponses biologiques, les résultats n'ont pas révélé de signaux de stress marqué suite à l'exposition. Finalement, cette approche multi-biomarqueurs nous a permis de caractériser les profils de réponses des dreissènes ainsi que de déterminer le caractère perturbé de certains sites. L'utilisation des biomarqueurs est de plus en plus recommandée dans les programmes de biosurveillance des cours d'eau. En effet, ces outils permettent une évaluation précoce et rapide de l'état du compartiment biologique à un niveau individuel et ils s'avèrent complémentaires des approches actuellement utilisées dans le cadre des suivis de l'état des masses d'eau imposés par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000/60/CE).

### Mots clés

Biosurveillance active - Dreissènes - Approche multi-biomarqueurs - Contamination sidérurgique

### Remerciements

Cette étude est réalisée avec l'appui financier de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse ; les auteurs remercient les différents partenaires du projet : LHN-ANSES (Nancy), LCPME (Nancy), LOTERR (Metz), Géoressources (Nancy) et le pôle de recherche OTElo.

Manon BAIN\*(1), Laurine PIERRE (1), Marie ZAFFINO (1), Bénédicte SOHM (1), Christophe GAUTHIER (2,3), Emmanuelle MONTARGES-PELLETIER (2,3), Simon DEVIN (1,4), Sandrine PAIN-DEVIN (1,4)

(1) Université de Lorraine, CNRS, LIEC, F-57000 Metz, France

(2) Université de Lorraine, CNRS, LIEC, F-54000 Nancy, France

(3) LTSER France, Zone Atelier du Bassin de la Moselle, F-54000 Nancy, France

(4) LTSER France, Zone Atelier du Bassin de la Moselle, F-57000 Metz, France

Contact e-mail : sandrine.devin@univ-lorraine.fr



## LES ARCHIVES SEDIMENTAIRES PEUVENT NOUS RENSEIGNER DU POTENTIEL ECOTOXICOLOGIQUE ASSOCIE AUX CONTAMINATIONS HISTORIQUES - EXEMPLE DU BASSIN DE LA LOIRE (FRANCE)

Les environnements fluviaux favorables au stockage des sédiments fins peuvent enregistrer de manière plus ou moins complète la présence des contaminants. L'analyse de carottes sédimentaires offre ainsi la possibilité de caractériser les trajectoires des contaminants sur plusieurs décennies. De surcroît, ces archives sédimentaires renseignent à la fois des maxima de contamination à l'échelle d'un tronçon fluvial et permettent d'identifier des zones potentiellement à risque pour le milieu aquatique.

Depuis plus de 10 ans, 19 archives sédimentaires ont été prélevées dans le corridor de la Loire et de ses principaux affluents. Elles ont été analysées afin de reconstituer l'historique des contaminations en éléments traces métalliques (ET), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et Polychlorobiphényles (PCB). Le niveau de risque potentiel représenté par ces contaminants a été évalué pour ces trois familles via le calcul de l'indice multiparamétrique HQc au regard de valeurs de références établies de manière consensuelle sur des macro-invertébrés d'eau douce.

Les profils enregistrés dans les carottes mettent ainsi en évidence des évolutions temporelles en lien avec l'histoire industrielle et minière du bassin. Les plus fortes contaminations sont enregistrées au cours de la période des "Trente Glorieuses", englobant les années 1950s à 1970s. Pour les niveaux sédimentaires datés de cette époque, les risques sont jugés potentiellement majeurs à sévères en ce qui concernent les HAP et PCB, faibles à modérés pour les ET. A partir des années 1980s, une importante diminution des teneurs en ces contaminants est enregistrée, en lien avec l'abandon progressif des industries les plus impactantes et des activités minières, la mise en place de réglementation et l'amélioration du traitement des rejets. Cette tendance à la décroissance marque un ralentissement au cours des années 2000s-2010s avec l'établissement d'un nouvel équilibre post-industriel de la pollution. Cependant, les niveaux de risque potentiel demeurent toujours modérés à forts pour les HAP et PCB, avec des risques encore sévères dans certains sous-bassins. Pour les ET, les niveaux de risque sont négligeables à faibles pour les sédiments de surface sur l'ensemble du bassin. Cette approche permet de compléter l'information géochimique archivée dans les niveaux sédimentaires en identifiant des impacts potentiels associés, venant ainsi nuancer les trajectoires temporelles des contaminants. L'enjeu actuel sur ces stocks sédimentaires est maintenant leur remobilisation lors d'épisodes hydrologiques les plus importants ou d'opérations de gestions et travaux qui peuvent entraîner une libération massive des contaminants hérités des pollutions passées.

### Mots clés

Eléments traces, HAP, PCB, Archive sédimentaires, HQc, risques écotoxicologiques

Elie DHIVERT\*(1,2), Leslie MONDAMERT(3), Jérôme LABANOWSKI (3), Cécile GROSBOIS (2)

(1) – Anthroposed. Coopetic-Recherche – 235 route de St Claude 39130 ETIVAL

(2) – EA 6293 GéoHydrosystèmes continentaux - Université de Tours. FST, Parc Grandmont 37200 TOURS

(3) – IC2MP UMR CNRS 7285 – Université de Poitiers, 7 rue Marcel Doré 86073 POITIERS

Contact e-mail : elie.dhivert@gmail.com

## MESURE DES PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES DE LA CUTICULE : CARACTERISATION CHEZ PALAEMON SERRATUS ET POTENTIELS INTERETS EN ECOTOXICOLOGIE

A l'instar des Arthropodes, les crustacés possèdent une cuticule caractéristique participant au maintien métabolique et physiologique des organismes. Néanmoins, afin d'assurer leur croissance et reproduction, les individus doivent s'extirper momentanément de cet exosquelette contraignant. Ainsi, le développement des crustacés repose sur la succession de dégradation et synthèse cuticulaire, formant des cycles de mue dont la régulation implique une machinerie moléculaire complexe.

Aujourd'hui, si des faisceaux de preuves ont mis en évidence la sensibilité du processus de mue et de son système de régulation par l'action de contaminants, aucune méthodologie ne permet à ce jour d'établir l'état cuticulaire des organismes exposés. Le but de cette étude était d'établir une méthodologie de caractérisation de la structure cuticulaire chez la crevette marine *Palaemon serratus*, en vue de diagnostiquer de potentielles perturbations en présence de contaminants. Pour ce faire, la caractérisation de la structure cuticulaire de *P. serratus* a été pour la première fois réalisée à l'aide de mesures physicochimiques, établissant alors sa structure et complexité. Une fois la caractérisation établie, la variabilité physiologique des réponses mesurées a été établie notamment au cours du cycle de mue. Enfin, dans le but d'estimer la sensibilité des métriques mesurées, des bioessais *in vitro* et *in vivo* ont été réalisés à l'aide de contaminants d'intérêt (i.e. acide formique et cadmium respectivement). En parallèle, les métriques ont été déployées lors d'une prospection *in situ* au niveau de sites présentant un contraste d'imprégnation chimique. L'intérêt de ces dernières à être déployées dans un tel contexte a été discuté au regard de leur robustesse, leur pouvoir discriminant ainsi que leur sensibilité.

### Mots clés

Propriétés physicochimiques ; cuticule ; *Palaemon* ; mue ; biomarqueur

Marc ROLLIN\*(1), Nicolas HUCHER (2), Romain COULAUD (1), Vincent LOISEL (2), Agnès PORET (1), Aurélie DUFLOT (1), Frank LE FOLL (1), Céline PICARD (2), Benoit XUEREB (1).

(1) Le Havre Normandie University (ULHN), FR CNRS 3730 SCALE, UMR- INERIS 02 Environmental Stresses and Biomonitoring of Aquatic Ecosystems (SEBIO), 25 rue Philippe Le Bon - 76600 Le Havre – France.

(2) UNIHAVRE, FR 3038 CNRS, URCOM, Normandie Univ., Le Havre 76600, France

Contact e-mail : marc.rollin@univ-lehavre.fr

# **EFFETS COMBINES DE L'ETHINYLESTRADIOL ET DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LA PHYSIOLOGIE ET LA DYNAMIQUE DE POPULATION DE L'EPINOCHÉ À TROIS ÉPINES**

S'ajoutant aux contaminations environnementales actuelles, le changement climatique accentue les risques de pollution environnementale, notamment par effet de moindre dilution tout en modifiant les propriétés physico-chimiques de la mer et des eaux continentales. Or une modification de ces propriétés, essentiellement par des variations de la température de l'eau, de la salinité, du pH/pCO<sub>2</sub> et de la teneur en oxygène, peuvent avoir un

impact sur les principales fonctions physiologiques des organismes aquatiques. L'un des défis de l'écotoxicologie est d'appréhender la pression chimique toxique, parmi la complexité des multiples perturbations des milieux naturels. Dans ce contexte, l'importance du changement climatique global et de ses interactions potentielles avec les contaminants dans l'environnement a reçu une attention croissante. Dans ce cadre, les modifications des réponses physiologiques (capacité de reproduction, croissance larvaire, réponse immunitaire) d'un poisson euryhalin, l'épinoche à trois-épines *Gasterosteus aculeatus* seront étudiées lors d'une contamination chimique à des doses environnementales en éthinyloestradiol en situation actuelle et de changement climatique (RCP 8,5 : température + 3° C et pH 7,6). Les parents (génération F0) sont uniquement exposés aux conditions climatiques alors que les fécondations in vitro issues de ces individus sont exposées aux conditions de stress climatique et chimique. Pour la génération F0, bien que l'indice gonado-somatique des femelles est plus élevé en condition actuelle, le nombre d'œufs matures est plus restreint et les œufs présentent une masse plus faible en conditions actuelles par rapport aux conditions RCP 8,5. Chez les mâles, une tendance à une plus grande quantité de spermatozoïdes est observée en conditions actuelles par rapport aux conditions RCP 8,5. Concernant les paramètres de l'immunité, une modification de l'ensemble des paramètres étudiés (distribution leucocytaire, mortalité cellulaire, flambée oxydative, activité lysosomale et activité de phagocytose) est constatée. Concernant la génération F1, les premiers résultats démontrent un effet principalement lié au changement climatique. En effet, malgré un développement larvaire plus rapide en condition RCP 8,5 en comparaison aux conditions actuelles, la survie larvaire semble moindre. Des essais complémentaires doivent néanmoins être entrepris afin de mieux anticiper ses conséquences sur le fitness individuel.

## **Mots clés**

Changement climatique, éthinyloestradiol, biomarqueurs, épinoche à trois-épines

## **Remerciements**

Le travail est financé par le programme français national EC2CO (Ecosphère Continentale et Côtière) et par le Ministère de la transition écologique (Programme 190 Ecotoxicologie Axe 2)

Ugo IARIA (1), Cyril TURIES (1), Rémy BEAUDOUIN (1), Jean-Marc PORCHER (1), Jimmy DEVERGNE (2), Arianna SERVILI (2), Véronique LOIZEAU (2) et Anne BADO-NILLES (1)

(1) INERIS UMR-I 02 SEBIO (ESMI/TEAM unit), Parc Technologique Alata, BP2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France.

(2) IFREMER- LEMAR UMR 6539, Centre Bretagne - ZI de la Pointe du Diable - CS 10070 - 29280 Plouzané  
Contact e-mail : anne.bado-nilles@ineris.fr

## DEVELOPPEMENT D'UN TEST POUR L'EVALUATION DU COMPORTEMENT LOCOMOTEUR CHEZ LE COPEPODE EURYTEMORA AFFINIS

De par leur position dans les écosystèmes, les milieux aquatiques sont le réceptacle final de nombreux polluants. Parmi eux, figurent des composés émergents utilisés pour la fabrication de produits d'hygiène personnelle, cosmétiques ou pharmaceutiques [1]. Nos connaissances sur un certain nombre de ces molécules restent encore limitées notamment pour l'évaluation de leurs effets perturbateurs endocriniens (PE). C'est dans ce cadre que le projet Interreg RedPol s'est développé afin d'évaluer les effets de composés préoccupants via notamment des tests comportementaux. Le comportement intervient dans un grand nombre de processus clés visant à maintenir la fitness des organismes ; il peut être modifié par les contaminants présents dans le milieu. Ainsi, l'utilisation de ces tests comme indicateur de l'exposition à des toxiques est pertinente. Pour l'évaluation du risque, il est nécessaire de mettre en place des analyses standardisées et reproductibles [2]. Le développement, ces dernières années, d'outils permettant de réaliser des analyses comportementales à haut-débit rend possible le déploiement de ces tests sur un plus large panel d'espèces. Dans ce contexte, six composés préoccupants ont été sélectionnés (triclocarban, galaxolide, homosalate, dexmedetomidine, thiram et triphenyl phosphate). Le crustacé modèle choisi est le copépode estuarien Eurytemora affinis. Les copépodes sont à la base du réseau trophique et participent au transfert des contaminants aux niveaux trophiques supérieurs ; ce sont donc des espèces modèles pertinentes en écotoxicologie [3]. Pour réaliser les analyses comportementales, trois axes ont été développés pour (i) sélectionner les concentrations d'expositions, (ii) développer des tests comportementaux standardisés et (iii) réaliser ces tests pour les six composés préoccupants. Le manque de données relatives à la toxicité des composés d'intérêt nous a conduits à réaliser des tests de toxicité aiguë. L'analyse dose-réponse a été utilisée pour sélectionner les concentrations d'exposition pour les tests comportementaux (approche par benchmark-dose). En parallèle, un outil initialement conçu pour l'observation de la locomotion des larves de poisson zèbre (DanioVision, Noldus Technologies) a été adapté pour le suivi de copépodes adultes. Un protocole d'acquisition de vidéos et d'analyse via le logiciel Ethovision XT (Noldus Technologies) a été développé et testé avec succès après exposition à un insecticide PE. Ce protocole va être appliqué sur des copépodes mâles après exposition aux six composés préoccupants. Sur le long terme, le projet RedPol vise à proposer de nouvelles normes de qualité environnementale (NQE) ; l'ensemble des données produites pour les six composés préoccupants viendront soutenir ces propositions.

### Mots clés

Copépode, toxicité, biologie comportementale, perturbateur endocrinien

### Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier le Fonds européen de développement régional (Feder) via le programme Interreg France (Manche) Angleterre pour le financement de ce travail.

### Références

- [1] Patel, N.; Khan, Z.A.; Shahane, S.; Rai, D.; Chauhan, D.; Kant, C.; Chaudhary, V.K. Emerging pollutants in aquatic environment: Source, effect, and challenges in biomonitoring and bioremediation- A review. *Pollution* 2020, 6, 99–113, doi:10.22059/POLL.2019.285116.646.
- [2] Ford, A.T.; Ågerstrand, M.; Brooks, B.W.; Allen, J.; Bertram, M.G.; Brodin, T.; Dang, Z.; Duquesne, S.; Sahm, R.; Hoffmann, F.; et al. The Role of Behavioral Ecotoxicology in Environmental Protection. *Environ. Sci. Technol.* 2021, 55, 5620–5628, doi:10.1021/acs.est.0c06493.
- [3] Kwok, K.W.H.; Souissi, S.; Dur, G.; Won, E.-J.; Lee, J.S. Copepods as Reference Species in Estuarine and Marine Waters. In *Aquatic Ecotoxicology: Advancing Tools for Dealing with Emerging Risks*; 2015; pp. 281–308 ISBN 9780128011768.

Caroline ARCANJO\*(1), Aurélie DUFLLOT (1), Gauthier TREMOLET (1), Nathalie GIUSTI-PETRUCCIANI (1), Joëlle FORGET-LERAY (1), Céline BOULANGE-LECOMTE (1)

(1) UMR-I02 SEBIO (Stress Environnementaux BIOSurveillance des milieux aquatiques) Université du Havre, UFR Sciences et Techniques 25, rue Philippe Lebon BP1123 76063 Le Havre cedex

Contact e-mail : caroline.arcanjo@univ-lehavre.fr

# IDENTIFICATION, ORGANOTROPISME ET RÔLE DANS LA TOLÉRANCE AU CADMIUM DE DEUX MÉTALLOTHIONÉINES CHEZ L'ESPÈCE SENTINELLE GAMMARUS FOSSARUM.

La pollution métallique est une préoccupation majeure pour les environnements aquatiques. Des profils de contamination métallique très variés et à des niveaux variables sont observés dans les cours d'eau et les organismes qui y vivent, pouvant conduire à des impacts sur le maintien des populations. Les métallothionéines constituent une famille de protéines conservée dans l'évolution animale, de faible poids moléculaire et riches en cystéine (chélatrices de métaux), dont les principales fonctions physiologiques sont le maintien de l'homéostasie des métaux essentiels, la détoxification des métaux non essentiels et ainsi la protection contre le stress oxydatif. A partir de l'acquisition RNAseq et de l'assemblage de transcriptomes individuels chez l'amphipode *Gammarus fossarum*, nous avons identifié deux métallothionéines (MTs) chez cette espèce couramment utilisée en écotoxicologie aquatique (MT-1 et MT-2). A partir d'une analyse in silico des séquences protéiques et de différentes expositions expérimentales, nos résultats montrent que l'induction de l'expression de la MT-1 est plus forte suite à une exposition au Cd par rapport à 2 autres métaux testés (Zn et Ag), suggérant qu'il s'agisse probablement d'une Cd-thionéine. Nous avons ensuite étudié les profils d'expression de ces deux MTs au niveau d'organes (caecum, branchies, gonades, embryons) respectivement chez une population tolérante et sensible au Cd. En accord avec les précédents résultats, une expression spécifique de la MT1 a été observée dans les caeca et les branchies des individus de la population tolérante. Nos résultats suggèrent que la tolérance au cadmium est probablement médiée par l'expression de MT-1 spécifique à l'organe, notamment dans les caeca et les branchies des amphipodes.

## Mots clés

Expositions métalliques, tolérance au cadmium, métallothionéines, organotropisme, *Gammarus fossarum*

## Remerciements

The authors acknowledge the Agence National pour la Recherche (ANR-20-CE34-0012 Dyn-Microbiome, ANR-18-CE34-0013-01) for partially funding this work.

## Références

- Alric, B., Geffard, O., Chandresis, A., Ferréol, M., François, A., Perceval, O., Piffady, J., Villeneuve, B., Chaumot, A., 2019. Multisubstance Indicators Based on Caged Gammarus Bioaccumulation Reveal the Influence of Chemical Contamination on Stream Macroinvertebrate Abundances across France. *Environ. Sci. Technol.* 53, 5906–5915. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01271>
- Cogne, Y., Degli-Esposti, D., Pible, O., Gouveia, D., François, A., Bouchez, O., Eché, C., Ford, A., Geffard, O., Armengaud, J., Chaumot, A., Almunia, C., 2019. De novo transcriptomes of 14 gammarid individuals for proteogenomic analysis of seven taxonomic groups. *Scientific Data* 6, 184. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0192-5>
- Luo, M., Finet, C., Cong, H., Wei, H., Chung, H., 2020. The evolution of insect metallothioneins. *Proc. R. Soc. B.* 287, 20202189. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2189>
- Vigneron, A., Geffard, O., Coquery, M., François, A., Quéau, H., Chaumot, A., 2015. Evolution of cadmium tolerance and associated costs in a *Gammarus fossarum* population inhabiting a low-level contaminated stream. *Ecotoxicology* 24, 1239–1249. <https://doi.org/10.1007/s10646-015-1491-z>

Davide DEGLI ESPOSTI\*(1), Auréline LALOUETTE (1), Louveline LEPEULE (1), Nicolas DELORME (1), Hervé QUEAU (1), Laura GARNERO (1), Olivier GEFFARD(1), Arnaud CHAUMOT(1).

(1) INRAE, UR RiverLy, Ecotoxicology Team. Centre de Lyon-Grenoble Auvergne Rhône-Alpes, 5 rue de la Doua CS 20244, 69625 Villeurbanne, France. Contact e-mail : [davide.degli-esposti@inrae.fr](mailto:davide.degli-esposti@inrae.fr)

# SPÉCIATION ET ÉCOTOXICITÉ DU NI ET CR DANS UN RUISSEAU DE TÊTE DE BASSIN ULTRAMAFIQUE (PLUHUV BOR, TCHÉQUIE)

Les milieux ultramafiques se caractérisent par des teneurs naturellement élevées en nickel (Ni), chrome (Cr) et cobalt (Co), dans des proportions variables selon la géologie du site (Kierczak et al., 2021). Les roches ultramafiques sont activement exploitées en tant que sources primaires de Ni, élément clé dans la composition des batteries pour la mobilité électrique. L'exploitation minière de ces roches peut cependant remobiliser de grandes quantités de Ni, Cr et Co dont les effets toxiques combinés restent encore largement méconnus (Gunkel-Grillon et al., 2014; Kierczak et al., 2021). Dans cette étude, la spéciation de Ni et de Cr a été étudiée dans les eaux du Pluhuv Bor (PLB, République Tchèque), un ruisseau de tête de bassin situé sur un substrat ultramafique (serpentinite) et éloigné de toutes sources anthropiques d'éléments traces métalliques (ETM) hormis les apports atmosphériques. Les résultats obtenus pour ce bassin versant peuvent constituer un point de référence pour la gestion d'autres milieux soumis à exploitation minière.

Le bassin du PLB fait partie des réseaux GEOMON (coordonnée par le Czech Geological Survey) et iLTER. Des séries historiques de concentrations de Ni et Cr dissous ( $< 0,45 \mu\text{m}$ ) sont ainsi disponibles. Ces séries montrent un dépassement (quasi)systématique de la norme de qualité environnementale pour le Ni ( $4 \mu\text{g/L}$  en Ni biodisponible) et de critères de qualité de l'OMS pour le Cr(III) et le Cr(VI), soit  $10 \mu\text{g/L}$  et  $4 \mu\text{g/L}$  respectivement. C'est pourquoi nous proposons ici une étude approfondie de la spéciation de Ni et de Cr dans les eaux du PLB ainsi que de leur potentiel écotoxique.

Des mesures effectuées in situ avec des dispositifs DGT (Diffusive Gradients in Thin Films) suggèrent que la majorité de Ni et de Cr serait sous forme de complexes colloïdaux qui ne sont pas captés par les DGTs. Cette hypothèse est confirmée par des analyses d'eaux filtrées ( $0,22 \mu\text{m}$ ) et ultrafiltrées ( $3 \text{ kDa}$ ) qui démontrent que 60 à 95 % de la quantité de Ni et Cr est complexée par les colloïdes ( $0,22 \mu\text{m}$ – $3 \text{ kDa}$ ). L'utilisation de dispositifs DGTs spécifiques pour le Cr(VI) (Pan et al., 2015) suggère qu'entre 5 et 15% du Cr filtrable se trouverait dans cet état d'oxydation. Les résultats obtenus par DGT-Cr(VI) sont cohérents avec des mesures de spéciation réalisées par couplage chromatographie ionique et ICP-MS à haute résolution. Des tests écotoxicologiques effectués sur des eaux filtrées n'ont pas mis en évidence d'effets sur la croissance de l'algue verte *Raphidocelis subcapitata* (NF EN ISO 8692, 2012), la survie du crustacée *Daphnia magna* (NF EN ISO 6341, 2012) et la croissance du rotifère *Brachionus calyciflorus* (NF EN ISO 20666, 2009). Au regard des résultats de spéciation, cette absence d'écotoxicité indiquerait un effet protecteur des colloïdes vis-à-vis des organismes testés. Il reste cependant nécessaire d'approfondir les possibles effets chroniques de ces eaux ainsi que la biodisponibilité des ETM qui y sont contenus.

## Mots clés

Contaminants géogéniques, colloïdes, Diffusive Gradients in Thin Films (DGTs), chromatographie ionique-ICP-MS

## Remerciements

Nous remercions le CNRS pour son support financier (projets EC2CO B-Rex-Ist et IEA GeoChemTox).

## Références

- Gunkel-Grillon, P., Laporte-Magoni, C., Lemestre, M., Bazire, N., 2014. Toxic chromium release from nickel mining sediments in surface waters, New Caledonia. *Environ Chem Lett* 12, 511–516.
- Kierczak, J., Pietranik, A., Pędziwiatr, A., 2021. Ultramafic geoecosystems as a natural source of Ni, Cr, and Co to the environment: A review. *Science of The Total Environment* 755, 142620.
- Pan, Y., Guan, D.-X., Zhao, D., Luo, J., Zhang, H., Davison, W., Ma, L.Q., 2015. Novel Speciation Method Based on Diffusive Gradients in Thin-Films for in Situ Measurement of Cr(VI) in Aquatic Systems. *Environ. Sci. Technol.* 49, 14267–14273.

Elsa SALLES (1), Pavel KRAM (2),  
Tuyen NGUYEN (3), Céline SIMON  
(1), Maximilien BEURET (1),  
Vincent NORMANT (1), Carole  
COSSU-LEGUILLE (1), Yann SIVRY  
(3), Alexis GROLEAU (3), Davide  
A.L. VIGNATI\* (1)

(1) UNIVERSITE de LORRAINE, CNRS,  
LIEC, F-57000 Metz, France

(2) CZECH GEOLOGICAL SURVEY,  
DIVISION OF GEOCHEMISTRY and  
LABORATORIES, 15200 PRAGUE 5,  
République Tchèque

(3) UNIVERSITE de PARIS, INSTITUT de  
PHYSIQUE du GLOBE de PARIS, CNRS,  
F-75005 PARIS, France

Contact e-mail : david-  
anselmo.vignati@univ-lorraine.fr



# ÉTUDE DE L'ECOTOXICITE DE SOUS-PRODUITS DE DESINFECTION ISSUS D'UN EFFLUENT CHLORE

Théo CICCIA\*(1), Anne BADO-NILLES (2), Philippe CIFFROY (1), Nastassia URIEN (1), Léo LAFAY (1), Pascal PANDARD (2)

Dans le secteur industriel et public, l'utilisation de désinfectants est nécessaire pour réguler la présence de microorganismes pathogènes dans les circuits. Un traitement à la monochloramine est employé par EDF pour prévenir le développement de pathogènes présents au niveau des circuits de refroidissement de certaines de ses installations de production d'électricité ; mais la monochloramine, en contact avec la matière organique (MO), peut former des sous-produits de désinfection (SPD) (Dong et al., 2021). Des travaux récents d'EDF R&D ont permis de déterminer de manière plus fine la composition

(1) EDF R&D Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE), 6 Quai Watier 78401 CHATOU  
(2) INERIS unité Ecotoxicologie des Substances et des Milieux (ESMI), Parc Technologique ALATA BP2 60550 Verneuil-en-Halatte  
Contact e-mail : theo.ciccia@edf.fr

des sous-produits issus du traitement à la monochloramine en identifiant cinq substances AOX (halogènes organiques adsorbables) : l'acide monochloroacétique (MCAA), l'acide dichloroacétique (DCAA), l'acide trichloroacétique (TCAA), l'acide bromochloroacétique (BCAA), et la 1,1-dichloropropanone (1,1-DCP). Des essais préliminaires en laboratoire ont permis de démontrer la pertinence et la sensibilité de *Raphidocelis subcapitata* pour l'étude de ces SPD. Dans ce cadre, des essais complémentaires sont effectués sur ces AOX, individuellement ou en mélange. En plus d'une approche classique d'inhibition de croissance (OCDE, 2011), une approche plus spécifique par cytométrie de flux est proposée. Cette dernière favorise le développement méthodologique de nouveaux marqueurs cellulaires (activité métabolique, stress oxydatif, potentiel membranaire mitochondrial) permettant de mieux appréhender les mécanismes d'actions sous-jacents aux effets mesurés sur la croissance de la population. Les résultats obtenus lors des premiers essais sur substances seules pour une partie des SPD d'intérêt seront présentés.

## Mots clés

Écotoxicologie ; Microalgue ; Sous-produits de désinfection ; Cytométrie en flux ; Biomarqueurs

## Remerciements

Au ministère chargé de la recherche ayant financé ce projet dans le cadre de la Convention Industrielle de la Formation par la Recherche (N°2020/1386).

## Références

- Dong, H., Zhang, H., Wang, Y., Qiang, Z., Yang, M., 2021. Disinfection by-product (DBP) research in China: Are we on the track? J. Environ. Sci. S1001074221001108. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.03.023>
- OCDE, 2011. Essai n° 201: Algues, Essai d'inhibition de la croissance, Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques, Section 2 : Effets sur les systèmes biologiques. Éditions OCDE. <https://doi.org/10.1787/9789264069930-fr>

## EVALUATION ECOTOXICOLOGIQUE D'UN POLLUANT PHARMACEUTIQUE PAR UNE APPROCHE MULTI-MODELE

Une multitude de composés pharmaceutiques sont consommés chaque jour et sont ensuite évacués dans les réseaux d'eaux usées. Les stations de traitement des eaux usées (STEU), peu optimisées à ces fins, n'éliminent pas ou peu ces derniers, qui sont alors rejetés dans les rivières où ils représentent un risque pour les écosystèmes aquatiques. Dans ce contexte, l'objectif de ce projet est de déterminer l'impact de certains composés pharmaceutiques en utilisant le furosémide (FUR), un diurétique mondialement utilisé depuis près de 60 ans, ainsi que ses produits de transformation la saluamine (SAL)

et le pyridinium du furosémide (PYR), comme modèle. Si le FUR a fait l'objet de nombreuses études, très peu de données écotoxicologiques existent concernant la SAL et le PYR. Dans un premier temps, les concentrations environnementales dans les rivières ont été déterminées par chromatographie liquide et spectrométrie de masse en tandem, puis leur toxicité testée à l'aide d'une approche sur plusieurs organismes représentatifs d'un écosystème aquatique (*Chlamydomonas reinhardtii*, *Daphnia magna*, *Artemia salina*, *Danio rerio*). Ces organismes appartenant à différents niveaux trophiques, ils permettent de caractériser de façon plus complète la toxicité sur le milieu (tests de stress, test de toxicité aiguë, mobilité, croissance, toxicité développementale). En accord avec la littérature scientifique, nos résultats montrent que le furosémide est retrouvé à des concentrations allant de plusieurs centaines de nanogrammes par litre dans la Seine à quelques microgrammes par litre en sortie de STEU. En revanche, c'est à notre connaissance la première fois que la SAL et le PYR sont mis en évidence dans l'environnement à des concentrations de quelques centaines de ng/L dans la Seine. Les tests écotoxicologiques montrent une inhibition de la mobilité des larves de poissons zèbres exposés au PYR, à la SAL mais également au FUR à des concentrations environnementales. A fortes concentrations (mg/L), le FUR provoque des hémorragies au niveau du sac vitellin, alors que chez *Daphnia magna*, il provoque une cardiotoxicité et une mortalité accrue. De plus, la SAL a montré une toxicité plus importante que sa molécule parent sur *A. salina* (EC50 (24h) : 150 et 250 mg/L, respectivement). Des expériences sont actuellement en cours sur *Chlamydomonas reinhardtii* et compléteront ces résultats.

Cet exemple de bioactivation souligne donc i) qu'il est important de prendre en considération les produits de transformation lors de l'évaluation du risque lié à un micropolluant, car ils peuvent se révéler plus toxiques que leur molécule parent, ii) d'utiliser une approche multi-modèle du fait de la sensibilité différente des organismes aux micropolluants et iii) la nécessité de les étudier également en mélange, permettant ainsi l'obtention de données sur les effets cocktails qui sont, à ce jour, encore peu documentés dans les conditions environnementales.

### Mots clés

Pharmaceutique, produit de transformation, écotoxicité, organisme aquatique

### Remerciements

Ces travaux sont soutenus par le programme OPUR 5 (2019-2023) piloté par le Leesu ; F.S bénéficie d'une bourse de thèse ministérielle. Merci à PRAMMICS pour les instruments.

### Références

Laurencé C., et al, A new human pyridinium metabolite of furosemide, inhibitor of mitochondrial complex I, is a candidate inducer of neurodegeneration. *Biochem Pharmacol.* 2019. 160:14-23.

Sandré, F.; Huynh, N.; Gromaire, M.-C.; Varrault, G.; Morin, C.; Moilleron, R.; Le Roux, J.; Garrigue-Antar, L. Road Runoff Characterization: Ecotoxicological Assessment Combined with (Non-)Target Screenings of Micropollutants for the Identification of Relevant Toxicants in the Dissolved Phase. *Water* 2022, 14, 511. <https://doi.org/10.3390/w14040511>

Fidji SANDRE\*(1), Aliénor DUVAL, Alexis GOLVEN, Laure GARRIGUE-ANTAR (1), Christophe MORIN (2)

(1) Leesu - Univ Paris Est Creteil, Ecole des Ponts, Creteil, F-94010, France

(2) IUT - Sénart Fontainebleau, 36 Rue Georges Charpak, 77567 Lieusaint

Contact e-mail : sandrefidji@gmail.com

# SUIVI DE L'ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DE LA QUALITÉ DES MATIÈRES EN SUSPENSION DU LÉMAN À L'AIDE DE L'INSECTE CHIRONOMUS RIPARIUS

Dans le but de tester l'influence des saisons sur la qualité des matières en suspension (MES) de lac, nous avons exposé des larves de *Chironomus riparius* à des MES collectées dans le Léman depuis la plateforme LÉXPLORE (Wuest et al. 2022, <https://lexplore.info>) de février à juillet puis de juillet à novembre 2021. Pour cela, nous avons utilisé des systèmes ExpoSET (Ferrari et al., 2017) (2 assemblages de 12 tubes) stabilisés à 30 m de profondeur.

Après 4 à 5 mois, les 24 tubes ont été récupérés et amenés au laboratoire. Huit d'entre eux ont été sacrifiés pour des analyses physico-chimiques (granulométrie, teneur en carbone organique, non-targeted LC-HRMS, etc.). Ensuite, au laboratoire, les larves de chironomes ont été exposées 2 ou 4 jours pour évaluer la bioaccumulation des contaminants, les effets sur la croissance et l'expression de 17 gènes biomarqueurs, et 2 semaines supplémentaires pour étudier le succès d'émergence. Alors que les matières en suspension dans le lac ont inhibé l'émergence des chironomes au cours des deux saisons, la croissance des larves n'a pas été altérée comparée au contrôle. Les premiers résultats analytiques ont indiqué que le mercure était présent dans les échantillons de matières en suspension, ce qui a induit une bioaccumulation significative chez les larves exposées. Plus de 1000 composés ont été détectés par LC-MS/MS, dont 510 communs entre les deux saisons. Des analyses plus poussées des métaux et de contaminants organiques ciblés permettront de mieux comprendre la biodisponibilité des substances chimiques préoccupantes dans le Léman. Le profilage de l'expression génétique a permis de discriminer les échantillons de la première campagne prélevés après deux jours d'exposition des autres, alors qu'une plus grande variabilité a été observée pour la seconde campagne. La question de savoir si cela est dû à la variabilité biologique ou aux propriétés intrinsèques de la matière collectée doit faire l'objet d'investigations supplémentaires.

## Mots clés

Matières en suspension, lac, chironomes, biomarqueurs, bioaccumulation

## Remerciements

Merci au Centre de Limnologie de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne pour le financement du projet, à l'équipe technique de LÉXPLORE (S. Lavanchy et G. Cunillera), à J.-L. Loizeau (UniGe), F. Breider (EPFL) et A. Chiaia-Hernandez (UniBe) pour les analyses physico-chimiques, à M. Gios, C. Lüthi et Y. Hess pour leur soutien au laboratoire et sur le terrain.

## Références

Wuest A., Bouffard D., Guillard J., Ibelings B. W., Lavanchy S., Perga M. E. and Pasche, N. 2022. A floating laboratory on Lake Geneva offering unique lake research opportunities.

Ferrari B. J. D., Cottin N., Casado-Martinez C. and Naffrechoux E. 2017. Développement de systèmes in situ et ex-situ d'exposition aux matières en suspension et aux sédiments contaminés aux PCB utilisant la larve de *Chironomus riparius*. Etude réalisée sur mandat du LCME Université de Savoie Mont-Blanc. Disponible sur <http://www.centrecotox.ch/media/>.

Rébecca BEAUVAIS\*(1), Carmen CASADO-MARTINEZ (1), Benoît J.D. FERRARI (1)

(1) CENTRE SUISSE  
D'ÉCOTOXICOLOGIE APPLIQUÉE, EPFL-  
ENAC-IE-GE, Station 2, CH-1015  
LAUSANNE  
Contact e-mail :  
[rebecca.beauvais@centrecotox.ch](mailto:rebecca.beauvais@centrecotox.ch)

## IMPACT COMBINE DU RUISSELLEMENT AGRICOLE ET DU RECHAUFFEMENT SUR LES PRODUCTEURS ET CONSOMMATEURS PRIMAIRES DANS LES COURS D'EAU AGRICOLES

Les masses d'eau peu profondes des zones agricoles sont affectées par le réchauffement climatique et les ruissellements contenant nitrate et pesticides. Ces facteurs de stress multiples sont au centre du projet ANR PRCI CLIMSHIFT ([climshift.eu](http://climshift.eu); [1-3]). L'étude présentée ici a été réalisée à l'aide des rivières artificielles de la plateforme expérimentale "LIECOSCOPE" du LIEC (Metz, France). Plusieurs hypothèses ont été émises : 1-le Ruissellement Agricole (RA) composé d'un herbicide, un insecticide, un fongicide, du cuivre et du nitrate, va favoriser les algues filamenteuses par rapport aux macrophytes dans les cours d'eau agricoles, 2-le RA va affecter négativement les consommateurs primaires, et 3- le réchauffement va impacter les macroinvertébrés sensibles à l'oxygénation de l'eau. Nous avons déployé un plan factoriel complet (réchauffement, RA dans 16 rivières artificielles (4 conditions x 4 réplicas) contenant des macrophytes émergés et submergés, du périphyton, de la litière d'aulne et différents macroinvertébrés (gammare, moules, escargots). Dans les premières semaines, le RA a induit un très grand développement des algues vertes filamenteuses couvrantes et du périphyton ce qui a probablement contribué à la diminution rapide de la forte dose de nitrate introduite initialement. En fin d'expérience (semaine 6 à 7), les algues filamenteuses se sont effondrées, le phytoplancton a augmenté, probablement du fait d'une libération massive de phosphore provenant des algues filamenteuses en décomposition. Le réchauffement n'a eu que des effets mineurs sur les algues. Les macrophytes se sont développés tardivement avec une dominance de *Potamogeton perfoliatus*, profitant le plus du réchauffement. Le RA a affecté négativement son développement à un stade plus tardif, suggérant des effets indirects causés par la compétition avec les algues filamenteuses. Par ailleurs, le RA a eu un effet négatif important sur la reproduction des gammare et des escargots, probablement causé par les pesticides et conduisant à un contrôle réduit du périphyton. Le RA et le réchauffement ont fortement augmenté la mortalité des moules. Nos résultats reflètent les observations souvent faites au début du printemps dans beaucoup des cours d'eau naturels des zones agricoles, qui présentent d'abord des densités élevées d'algues filamenteuses, puis le développement du phytoplancton, entravant ainsi le développement des macrophytes immergés.

### Mots clés

Pesticides, cuivre, eutrophisation, réchauffement climatique,

### Références

- [1] Allen J., Gross E.M., Courcoul C., Bouletreau S., Compin A., Elger A., Ferriol J., Hilt S., Jassey V.E.J., Laviale M., Polst B.H., Schmitt-Jansen M., Stibor H., Vijayaraj V., Leflaive J., 2021. Disentangling the direct and indirect effects of agricultural runoff on freshwater ecosystems subject to global warming: A microcosm study. *Water Research* 190, 116713.
- [2] Vijayaraj V., Kipferler N., Stibor H., Allen J., Hölker F., Laviale M., Leflaive J., López Moreira Mazacotte G.A., Polst B.H., Schmitt-Jansen M., Hilt S., Gross E.M., 2022. Evaluating multiple stressor effects on benthic & pelagic freshwater communities in systems of different complexities: Challenges in upscaling. *Water* 14, 581.
- [2] Vijayaraj V., Laviale M., Allen J., Amoussou N., Hilt S., Hölker F., Kipferler N., Leflaive J., López Moreira Mazacotte G.A., Polst B.H., Schmitt-Jansen M., Stibor H., Gross E.M., 2022. Multiple-stressor exposure of aquatic food webs: Nitrate and warming modulate the effect of pesticides. *Water Research* 216, 118325.

Elisabeth M. GROSS (1,2), Joey ALLEN (1,3), Didier ORTIZ (1), Vinita VIJAYARAJ (1,2), Vincent FELTEN (1,2), Martin LAVIALE (1,2), Nora KIPFERLER (4), Bastian H. POLST (5), Gregorio A. LÓPEZ MOREIRA MAZACOTTE (6), Franz HÖLKER (6), Joséphine LEFLAIVE (3), Mechthild SCHMITT-JANSEN (5), Sabine HILT (6), Herwig STIBOR (4)

(1) Université de Lorraine, LIEC UMR 7360 CNRS, F-57000 Metz, France

(2) LTSEZ-Zone Atelier Moselle, F-57000 Metz, France

(3) Université de Toulouse, Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement, UMR 5245 CNRS, Toulouse, France

(4) Ludwig-Maximilians University Munich, Department of Biology, Munich, Germany

(5) Helmholtz-Centre for Environmental Research-UFZ, Department Bioanalytical Ecotoxicology, Leipzig, Germany

(6) Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB), Berlin, Germany

Contact : [gross5@univ-lorraine.fr](mailto:gross5@univ-lorraine.fr)



## SEFA-Metz-2022

Société d'Ecotoxicologie Fondamentale et Appliquée

30 juin & 1<sup>er</sup> juillet 2022





## IMPACT DE L'OUVERTURE DE BARRAGE SUR LE DEVENIR DES CONTAMINANTS ORGANIQUES DANS DES DEPOTS DE BERGE

Pendant plus d'un siècle, la Lorraine a été un pilier de la production française d'acier. Les cours d'eau de ses vallées sidérurgiques ont été profondément remaniés et des barrages ont été construits pour répondre aux besoins de l'industrie. Ils entraînent (1) une modification de l'hydrodynamisme, (2) une accumulation de matériaux résiduels issus de l'industrie (Kanbar et al., 2017).

Après l'arrêt des activités sidérurgiques, la réhabilitation des cours d'eau anthropisés passe par l'effacement de ces ouvrages et le retour à un fonctionnement hydrologique plus libre. Les modifications hydrologiques et physico-chimiques sont à l'étude sur l'Orne, affluent de la Moselle, avec l'ouverture successive de deux barrages en 2019. Ce contexte nous donne une opportunité unique d'étudier à long terme l'évolution du cortège de contaminants dans des accumulations immergées pendant plusieurs décennies et émergées depuis l'ouverture des barrages.

Cette étude s'intéresse à l'occurrence et l'évolution avant et après ouverture des barrages des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et de leurs dérivés oxygénés (O-CAP). Ce sont des composés organiques hydrophobes et réfractaires, particulièrement abondants dans ces dépôts du fait de l'activité sidérurgique et de la présence de deux cokeries. Leur concentration a été mesurée par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) et la disponibilité de ces composés a été estimée via une technique innovante couplant la thermodesorption à la spectrométrie de masse (TD-GC-FID/MS) (Biache et al., 2021).

Deux carottes sédimentaires ont été prélevées sur l'Orne, en amont du barrage du site de Beth sur la commune de Moyeuvre-Grande, l'une en 2017 (BETH2017), servant de référence préouverture et l'autre en 2020, BETH2020, un an après l'ouverture. Les deux carottes, situées à proximité l'une de l'autre, possèdent des caractéristiques similaires, comme en témoigne les profils verticaux de la teneur en Fe (obtenus par fluorescence X) ou les profils granulométriques. BETH2017 présente des concentrations des  $\Sigma$ HAP variant de 14.1 dans les niveaux de surface à 147.6  $\mu\text{g/g}$  en profondeur. La carotte BETH 2020 se distingue par ses concentrations élevées dès les niveaux de surface (82.7  $\mu\text{g/g}$ ) pouvant atteindre 194  $\mu\text{g/g}$  à certaines profondeurs. La distribution des 16 HAP et 11 O-CAP est différente, BETH2017 présentant une prédominance des HAP de poids moléculaire moyen qui n'est plus observée dans la carotte de BETH2020. Un an après l'ouverture de barrage, une évolution significative est donc observée attribuable aux phénomènes physiques d'érosion et aux processus chimiques.

Ces premiers résultats montrent une profonde modification des contaminants après une année d'émersion des dépôts de berge. Le suivi à long terme devra permettre de mieux comprendre les processus mis en jeu, leur cinétique et fournira des éléments d'aide à la décision sur les réaménagements de cours d'eau fortement contaminés.

### Mots clés :

Sidérurgie, Composés Polycycliques Aromatiques, Chromatographie gazeuse, Spectrométrie de masse, Sédiments, Rivières.

### Remerciements :

Mes remerciements à Benoît Losson et Luc Manceau pour la campagne de prélèvement des carottes sédimentaires, Ayoub Khelili pour les mesures XRF, Yves Waldvogel pour les mesures de distribution en taille des sédiments. Cette étude est réalisée avec l'appui financier du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, et de l'OSU OTELO.

### Références :

Biache, C. et al. 2021. « Multistep Thermodesorption Coupled with Molecular Analyses as a Quick, Easy and Environmentally Friendly Way to Measure PAH Availability in Contaminated Soils ». *Talanta* 228: 122235.  
Kanbar, Hussein Jaafar et al. 2017. « Iron Mineralogy as a Fingerprint of Former Steelmaking Activities in River Sediments ». *Science of The Total Environment* 599-600: 540-53.

Rafael BALASTEGUI\*(1,3),  
Laurence MANSUY-HUAULT (1,3),  
Emmanuelle MONTARGES-  
PELLETIER (1,3), Christophe  
GAUTHIER (1,3), Catherine  
LORGEUX (2,3)

(1) Université de Lorraine, CNRS, LIEC,  
F-54000 Nancy, France

(2) Université de Lorraine, CNRS,  
GeoRessources, F-54000 Nancy,  
France

(3) LTSE France, Zone Atelier du  
Bassin de la Moselle, F-57000 Metz,  
France

Contact e-mail :  
rafael.balastegui-aragon@univ-  
lorraine.fr



## LES PROTEOGLYCANES DE SURFACE DES CELLULES CHO CONTRIBUENT A LA TOXICITE DU CR(III) ET NON DU CR(VI)

Le chrome existe dans l'environnement sous deux états d'oxydation principaux, le Cr(III) et le Cr(VI). Le Cr(VI) est transporté à travers la membrane cellulaire à l'aide de protéines transmembranaires impliquées par ailleurs dans les échanges des ions sulfate et phosphate (Viti et al., 2014). Le Cr(III) est présent dans les cellules d'abord du fait d'un mécanisme de réduction rapide du Cr(VI) en milieu intracellulaire (Macfie et al. 2010). Une part du Cr(III) intracellulaire pourrait cependant provenir d'une internalisation du Cr(III) extracellulaire. Le mécanisme d'une telle internalisation du Cr(III) est actuellement peu connu. Nous avons testé dans ce travail l'hypothèse selon laquelle le Cr(III) pourrait s'adsorber du côté exoplasmique des cellules par le biais des protéoglycanes de surface (PGS) avant internalisation. Afin de tester cette hypothèse, nous avons exploité le modèle de cellules de mammifères CHO (de type sauvage, CHO-K1, wt) ainsi qu'une lignée mutante CHO dénuée de PGS et la lignée isogénique correspondante transfectée pour permettre l'expression de l'enzyme  $\beta$ -galactosyltransférase T7. L'expression de cette enzyme conduit à la reconstitution des PGS dans ces cellules. Nous avons d'abord déterminé les concentrations en Cr(III) et Cr(VI) dans le milieu de culture par spectroscopie d'absorption atomique après filtration (0,22 $\mu$ m) et observé qu'elles étaient du même ordre de grandeur que les concentrations nominales, indépendamment du temps d'incubation (0–72h). Nous avons ensuite évalué la cytotoxicité du Cr(III) et du Cr(VI) dans ces 3 lignées cellulaires à l'aide d'un test de réduction mitochondriale du bromure de 3-(4,5-diméthylthiazol-2-yl)-2,5-diphényl tétrazolium (test MTT). Une faible cytotoxicité du Cr(III) a été observée dans ces 3 lignées, caractérisée cependant par une augmentation significative lorsque les PGS étaient exprimés à la surface des cellules (environ 70 % cytotoxicité dans les cellules PGS+ vs 40% dans les cellules PGS- à 250 mg Cr(III)/L à 48h). Par contre, une cytotoxicité élevée du Cr(VI) a été mise en évidence (EC50 de 0,16–0,20 mg Cr(VI)/L à 48h) sans pour autant permettre une distinction entre les 3 lignées cellulaires. Ces données préliminaires suggèrent une contribution des PGS dans la cytotoxicité du Cr(III). Les PGS pourraient faciliter l'adsorption du Cr(III) du côté exoplasmique des cellules avant son internalisation conduisant à une augmentation de sa toxicité. Cette adsorption pourrait s'effectuer par le biais d'une spéciation du métal impliquant la présence de Cr(III) complexé à des protéines présentes dans le sérum de veau fœtal. Des travaux supplémentaires sont nécessaires afin d'évaluer si cette internalisation dépendant des PGS est effective ou si cette augmentation de la cytotoxicité est liée à des effets délétères au niveau de la membrane cellulaire per se.

### Mots clés

Cellules CHO, Cr(III), Cr(VI), cytotoxicité, protéoglycanes de surface

### Remerciements

Nous remercions Raphaël HEYMES et Bérengère YON pour leur contribution à ce travail.

### Références

- Viti C., Marchi E., Decorosi F., Giovannetti L. 2014 Molecular mechanisms of Cr(VI) resistance in bacteria and fungi. *FEMS Microbiol Rev*, 38(4):633-659.
- Macfie A, Hagan E, Zhitkovich A. 2010 Mechanism of DNA-Protein Cross-Linking by Chromium. *Chemical Research in Toxicology*, 23(2):341-347.

Eric BATTAGLIA (1), Imad AHARCHAOU (1), Sylvie FOURNEL-GIGLEUX (2), Vincent NORMANT (1), Davide VIGNATI (1)

(1) UNIVERSITE de LORRAINE, CNRS, LIEC, F-57000 Metz

(2) UNIVERSITE de LORRAINE, CNRS, IMoPA, F-54000 Nancy

Contact e-mail : eric.battaglia@univ-lorraine.fr

## LA FONDATION ROVALTAIN EN 2022 : UN RÔLE PIVOT DANS LE SOUTIEN DE LA RECHERCHE ET DES RESEAUX EN ECOTOXICOLOGIE ET TOXICOLOGIE ENVIRONNEMENTALE

Damien BAUDIFFIER\*(1), Delphine DELAUNAY (1)

(1) Fondation Rovaltain, 3 rue Henry Chalamet, 26000 VALENCE

\*Contact e-mail :  
d.baudiffier@fcsrovaltain.org

La Fondation pour la recherche en environnement Rovaltain (1) est désormais ancrée dans le paysage de la recherche en écotoxicologie et toxicologie environnementale. Elle est un atout majeur pour les équipes et les réseaux de recherche qu'elle soutient et accompagne, mais également pour réaliser le transfert des connaissances de la recherche vers le grand public.

Côté recherche, elle soutient cette année 3 projets centrés sur la thématique du lien entre changement climatique & écotoxicologie, faisant écho au colloque 2022 de la SEFA. Comment les changements de température ou de pH attendus peuvent-ils moduler l'écotoxicité ou le comportement des contaminants ? Le réchauffement climatique peut-il augmenter la vitesse de propagation de l'antibiorésistance initiée par les métaux ? Ce sont des questions auxquelles ces projets de recherche soutenus par la Fondation Rovaltain tenteront de répondre.

En 2022, un nouvel Appel à Projet (AAP) a également été lancé sur les effets et les conséquences d'expositions précoces aux facteurs environnementaux chez l'homme et l'animal. Cet AAP s'adresse donc à la fois aux toxicologues et aux écotoxicologues, illustrant la volonté de la Fondation de faire des liens entre les différentes communautés et renforçant ainsi un de ses principes éthiques majeurs : préserver la santé humaine et environnementale en s'appuyant sur la recherche scientifique. Un autre exemple de ces liens favorisés par la Fondation est l'organisation conjointe en novembre 2022 d'un congrès avec la Société Francophone en Santé et Environnement (SFSE) : "Expositions précoces aux facteurs environnementaux : comprendre les impacts et agir sur les écosystèmes et la santé humaine" (2). Cet événement sera l'occasion de partager et faire travailler ensemble des toxicologues et des écotoxicologues sur le concept de Santé Unique.

Enfin, la Fondation Rovaltain a montré sa capacité à réunir différents acteurs de la recherche académique, que ce soit en écotoxicologie avec la coordination du projet Biomarqueurs & Biodiversité (3) ou de manière plus générale avec l'organisation d'un workshop sur les "Adverse Outcome Pathways" (AOP) & les nouvelles perspectives qu'offrent les stratégies in silico en écotoxicologie. Elle a dans le même temps été sollicitée pour être partenaire d'une Action COST (COopération européenne en Science et Technologie) sur la thématique des AOPs.

Nous souhaitons désormais nous appuyer sur notre expérience et ces dynamiques récentes pour travailler avec de nouvelles équipes de recherche et créer des ponts entre l'écotoxicologie et d'autres champs disciplinaires connexes, afin de continuer à promouvoir et transmettre la recherche en santé-environnement. Nous sommes également à l'écoute des besoins des équipes de recherche pour l'organisation de workshops et de séminaires. De la même manière, nous sommes ouverts pour participer, en tant que partenaire, à vos projets de recherche, que ce soit sur le volet de la coordination ou de la communication.

### Mots clés

Fondation pour la recherche en environnement Rovaltain, écotoxicologie, Santé Unique, Changement Climatique, AAP, congrès, workshop, coordination, communication, partenariat.

### Remerciements

La Fondation Rovaltain remercie la SEFA pour son accueil au colloque annuel à Metz.

### Références

(1) Site web de la Fondation Rovaltain : <https://fcsrovaltain.org/>

(2) Site web du congrès de la SFSE 2022 : <https://www.sfse.org/congres/presentation/null>

(3) Tribune libre B&B : <https://www6.inrae.fr/ecotox/content/download/5851/69925/version/1/file/Fiche-Rovaltain.pdf>

## DU PASSÉ INDUSTRIEL À LA RÉHABILITATION : STRATÉGIE D'ÉTUDE EN VUE D'UN PROJET DE RÉAMÉNAGEMENT

Le sol est un milieu évolutif poreux issu de l'altération de la roche mère et qui représente la couche superficielle de la couche terrestre. C'est un espace de transfert de flux et sa contamination par des substances toxiques est l'une des causes principales de sa dégradation. La majorité des pollutions des sols sont concentrées sur des friches industrielles qui nécessitent souvent une réhabilitation avant d'être réutilisées car elles peuvent présenter différents types de contaminations notamment aux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), aux Éléments Traces Métalliques (ETM) et aux Polychlorobiphényles (PCB). Pour restaurer les fonctions du sol potentiellement endommagées par les activités anthropiques, il existe différents traitements dont certains biologiques comme la phytoremédiation. Une de ces friches industrielles est localisée dans la vallée de l'Orne, sur les communes Rombas et Amnéville (57). Entre la fin des années 1800 et 1990, ce site d'étude comportait deux parties : des laminoirs et une aciérie se situaient à l'Est tandis que la partie Ouest était occupée par une usine sidérurgique. Or, le Syndicat Mixte des Portes de l'Orne a pour projet de réaménager la zone pour y accueillir du public en créant notamment un cheminement entouré d'espaces verts et de bassins. Du fait de son passif industriel, ce lieu nécessite d'être dépollué avant réutilisation. Dans le cadre de la réhabilitation de cet espace, la phytoremédiation a été retenue comme technique de dépollution. Elle consiste à utiliser des plantes et des micro-organismes pour neutraliser les contaminants du sol. Dans le contexte environnemental du site, *Miscanthus x giganteus* a été choisi pour sa capacité à dissiper de manière significative les HAP totaux d'un sol pollué, mais également sa densité racinaire conséquente qui ne limite pas le captage des polluants et assure une production d'exsudats racinaires importante pour les bactéries impliquées dans les processus de dégradation et stabilisation. Les expérimentations en cours sont conduites en mésocosme afin de sélectionner des associations végétales capables d'une part d'améliorer la dépollution du sol et d'autre part de faciliter l'implantation et la production de biomasse de *Miscanthus x giganteus* en vue de la valorisation de celle-ci. A cette fin, *Pelargonium x hortorum* et *Clarkia amoena* ont été retenues.

Sarah BERNs (1), Jaïro FALLA-ANGEL (1), Antoine BONNEFOY (2), Lucas CHARROIS (1), Philippe LAVAL-GILLY (1)

(1) Université de Lorraine, INRAE, LSE, F-54000 Nancy, France

(2) Université de Lorraine, IUT de Thionville-Yutz, F-57970 Yutz, France

Contact e-mail :  
sarah.berns@univ-lorraine.fr

### Mots clés

Phytoremédiation, technosol, friche industrielle, *Miscanthus x giganteus*, *Pelargonium hortorum*, *Clarkia amoena*

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier "Portes de l'Orne" pour leur soutien financier.

### Références

Laval-Gilly, Philippe, Sonia Henry, Mélanie Mazziotti, Antoine Bonnefoy, Alain Comel, et Jaïro Falla. « *Miscanthus x Giganteus* Composition in Metals and Potassium After Culture on Polluted Soil and Its Use as Biofuel ». *BioEnergy Research* 10, no 3 (septembre 2017): 846-52. <https://doi.org/10.1007/s12155-017-9846-3>.  
Wechtler, Laura, Philippe Laval-Gilly, Olivier Bianconi, Louise Walderdorff, Antoine Bonnefoy, Jaïro Falla-Angel, et Sonia Henry. « Trace Metal Uptake by Native Plants Growing on a Brownfield in France: Zinc Accumulation by *Tussilago Farfara* L. ». *Environmental Science and Pollution Research* 26, no 35 (décembre 2019): 36055-62. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06892-3>

# LA SPECTROSCOPIE UV INDUITE PAR LASER EN PHASE SOLIDE POUR L'EVALUATION DES TRANSFERTS DE HAP VERS LE BIOTE : PREMIERS ESSAIS AVEC L'ESCARGOT PETIT GRIS (BIOINDICATEUR D'ACCUMULATION)

Dans le cadre des évaluations de risques écotoxicologiques (ERE) des sites et sols contaminés, un manque de connaissances et d'outils pour évaluer les transferts vers les organismes des polluants organiques est constamment pointé du doigt. Cela est notamment vrai pour les HAP qui sont dosés dans les matrices biologiques par GC-MS/MS après des extractions et des purifications spécifiques, telles que le QuEChERS (Morin-Crini et al., 2020). Parfois la quantité de matériel biologique est trop faible pour (i) effectuer des dosages individuels de divers contaminants (métaux et organiques par exemple) avec des méthodes analytiques différentes et (ii) coupler ces dosages avec des mesures de biomarqueurs pour l'évaluation d'effets écotoxicologiques. Il convient donc de trouver des technologies alternatives permettant de doser de façon non destructive et à des coûts maîtrisés les polluants organiques dans les organismes. D'autant que la méthode d'ERE TRIADE conduit à l'utilisation de bioindicateurs d'accumulation (ISO 19204, 2017). Les techniques de spectroscopie de fluorescence UV sont une application intéressante pour l'analyse de polluants organiques in situ, du fait de leur caractère non-destructif, rapide et de leur faible coût. Dans cette étude préliminaire, nous proposons d'utiliser une méthode de spectroscopie UV induite par laser (UV-LIF) développée pour l'analyse en phase solide et d'identifier ses capacités pour la détection et la quantification des HAP transférés à un bioindicateur d'accumulation à l'interface air-plante-sol (utilisé in situ et ex situ), l'escargot Petit gris (ISO 24032, 2021; Louzon et al., 2021). 144 escargots adultes (8 g) ont été exposés par voie orale ad libitum pendant cinq jours à de la nourriture de référence (Hélinove) diversement contaminée en HAP (véhiculés dans la nourriture avec de l'éthanol). Les escargots ont été exposés par six dans des faunariums. Trois faunariums ont été mis en place pour chaque condition expérimentale (témoin, témoin éthanol, fluoranthène (FLT) à 20 mg/kg, FLT à 200 mg/kg, pyrène (PYR) à 20 mg/kg, PYR à 200 mg/kg, mélange PYR et FLT à 20 mg/kg, mélange PYR et FLT à 200 mg/kg). Après exposition, les escargots sont mis à jeûner, puis congelés, disséqués, et la masse viscérale de deux escargots par réplicat a ensuite été lyophilisée et broyée. Le broyat est ensuite analysé directement en UV-LIF, sur un instrument développé au laboratoire Edytem. Des spectres d'émission de fluorescence sont obtenus pour deux excitations distinctes, à 266 nm et 355 nm. Les résultats montrent qu'il a été possible de détecter les deux HAP (seuls ou en mélange) dans les escargots exposés, d'identifier une variabilité inter-individuelle et qu'il y a une proportionnalité entre les concentrations. Ces premiers résultats offrent des perspectives pour identifier des transferts de HAP vers le biote en haut débit, de manière non-destructive et sur site. Reste à appliquer la technologie sur des individus exposés à des sols contaminés, à déterminer des limites de quantifications pour les 16 HAP et à valider la technique avec des dosages croisés en GC-MS/MS.

## Mots clés

HAP, escargot, biote, transfert, spectroscopie en phase solide, bioindicateur

## Remerciements

Les auteurs remercient leurs organismes qui ont autofinancés intégralement ces travaux (ENVISOL, CRISALID, SpecSolE).

## Références

- ISO 19204 (2017). Soil quality — Procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (TRIAD approach).  
ISO 24032 (2021). Soil quality—In situ caging of snails to assess bio-accumulation of contaminants.  
Louzon et al. (2021). Integrated Environmental Assessment and Management, 18(2), pp. 539-554.  
Morin-Crini et al. (2020). Toxicological & Environmental Chemistry, 102(5-6), pp. 209-223.

Thomas BERTONCINI (1,2),  
Marine QUIERS, (1,2,3,4), Tanguy  
WALLET (1,3,4), Gaël PLASSART  
(1,2,4), Maxime LOUZON\* (1,2)

(1) Pôle Ecosystèmes, ENVISOL SAS, 2  
rue Hector Berlioz, 38110 La Tour du  
Pin

(2) Plateforme CRISALID, SCIC  
CRISALID, 29 avenue Victor Hugo,  
38800 Pont de Claix

(3) UMR 5204 Université de Savoie  
Mont-Blanc/CNRS, Laboratoire  
EDYTEM (Environnements  
Dynamiques et Territoires de la  
Montagne), 5 Boulevard de la Mer

Caspienne, 73370 Le Bourget-du-Lac  
(4) LabCOM Spectroscopie en phase  
solide pour le diagnostic

environnemental – SpecSolE, 5  
Boulevard de la Mer Caspienne, 73370  
Le Bourget-du-Lac

Contact e-mail : m.louzon@envisol.fr

# **EFFET DOSE-DEPENDANT DU DI-N-BUTYL PHTALATE (DBP) SUR LE DEVELOPPEMENT EMBRYO-LARVAIRE DU POISSON ZEBRE (*DANIO RERIO*) : INTERET DE L'INTEGRATION DE GRADIENTS DE CONCENTRATIONS DANS LES ANALYSES TRANSCRIPTOMIQUES**

Elise BILLOIR<sup>(1)</sup>, Bénédicte SOHM (1), Carole COSSU-LEGUILLE (1), Sophie PRUD'HOMME (1)

(1) Université de Lorraine, CNRS, LIEC, F-57000, Metz

Contact e-mail : sophie.prud-homme@univ-lorraine.fr

La question des doses d'exposition auxquelles les contaminants influencent le fonctionnement des organismes et affectent leur physiologie est centrale en écotoxicologie. Le développement constant d'outils d'analyses de données omiques permet aujourd'hui d'adopter des schémas expérimentaux de plus en plus complexes. Parmi ceux-ci, l'outil DRomics est spécifiquement dédié aux données établies selon des plans expérimentaux en dose-réponse, privilégiant le nombre de doses testées par rapport au nombre de réplicats par doses.

Les travaux présentés s'intéressent aux conséquences de l'exposition d'embryons de poisson zèbre (*Danio rerio*) au di-n-butyl phtalate (DBP), un phtalate retrouvé dans les eaux de surface mondiales à des concentrations allant de quelques ng/L à quelques dizaines de µg/L sur certains sites. Des embryons ont été exposés dès le stade 256 cellules jusqu'au stade larvaire (5 jours post-fécondation), selon un plan expérimental incluant 5 concentrations d'exposition allant de 0 µg/L à la NOEC chez le poisson selon l'ECHA (100µg/L), et incluant des concentrations cohérentes avec les niveaux de contamination environnementale. Ce dispositif a généré un jeu de données transcriptomique par mRNAseq, permettant de comparer le statut transcriptionnel des larves à 5 jours post-fécondation. Ces données ont été analysées à l'aide de l'outil DRomics, permettant de (1) sélectionner les transcrits dont l'abondance répond de façon significative au gradient de DBP testé, (2) d'identifier les tendances d'évolution (linéaire, exponentielle, en cloche ou en U) de l'abondance de chaque transcrit le long du gradient de concentration testé et (3) de déterminer une dose d'effet critique (« benchmark dose ») pour chacun des gènes dérégulés par l'exposition au DBP. Cette approche permet notamment d'identifier les cohortes de gènes présentant un même profil de transcription en fonction de la concentration d'exposition et des cohortes de gènes dérégulés à partir d'une même dose d'effet critique. Ces informations permettent d'estimer la coexistence de mécanismes d'action directs ou indirects (ie réponse de l'organisme aux perturbations) chez les individus exposés, améliorant ainsi la compréhension fine des mécanismes moléculaires à l'origine des effets des contaminants sur les organismes.

## **Mots clés**

Transcriptomique, DRomics, dose-réponse, di-n-butyl phtalate, benchmark doses

## **Remerciements**

Ce projet a été financé par le pôle Otelo (projet Otelo JC DBP\_dose)

# IMPACTS ECOTOXIQUES DE MICROPLASTIQUES (PP ET PLA) SUR LES OLIGOCHETES DU SOL

Camille BONNEFOUS<sup>1</sup>, Laure VIEUBLE-GONOD<sup>1</sup>, Antoine BAMIERE<sup>1</sup>, Sandra DOMENEK<sup>2</sup>, Juliette FABURE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR ECOSYS, INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78026 Versailles, France

<sup>2</sup>UMR SAYFOOD, INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 91744 MASSY, France

Contact e-mail :

[juliette.fabure@agroparistech.fr](mailto:juliette.fabure@agroparistech.fr)

La pollution plastique dans les sols a fait l'objet d'une prise de conscience très récente due au principal rôle des sols comme pourvoyeurs de plastiques des océans. Les plastiques qui arrivent dans les sols, et en particulier dans les sols agricoles, peuvent provenir de différentes sources telles que les paillages, les amendements ou encore les eaux. Une fois dans les sols, les plastiques vont être pour la plupart fragmentés que ce soit par des processus mécaniques, chimiques ou/et biologiques, qui vont entraîner la formation de microplastiques (MP). Quelques travaux ont mis en évidence l'impact des MP sur l'abondance, la diversité et les activités des organismes du sol [1, 2]. Cependant, les interactions entre les MP et les organismes vivants dans les sols sont encore mal connues. Or, ces organismes, en particulier les annélides oligochètes, sont impliqués dans des fonctions essentielles à la vie du sol. Ainsi la pollution des sols aux MP pourrait avoir des conséquences sur tout l'écosystème sol. La question que l'on peut se poser est comment les MP impactent le comportement ainsi que la survie d'organismes clés des écosystèmes terrestres : les oligochètes ? Ainsi l'objectif de ce projet était d'étudier la relation entre la taille et la concentration des MP dans les sols et l'exposition des oligochètes en fonction de leurs tailles mais également d'appréhender l'influence de la biologie des organismes sur leur exposition aux MP. Notre intérêt s'est porté sur deux MP très répandus : le polypropylène (PP) non-biodégradable et l'acide polylactique (PLA) biosourcé et biodégradable qui sont tous deux utilisés pour la fabrication des films de paillage. De plus, ce travail s'est focalisé sur deux espèces modèles en écotoxicologie terrestre, l'enchytréide *Enchytraeus albidus* (mésafaune) et le ver de terre *Aporrectodea caliginosa* (macrofaune). La différence de taille des organismes (respectivement environ 1 et 8 cm) laisse supposer une différence dans l'absorption de MP, mais également dans leur sensibilité aux MP. Après une phase de développement méthodologique de l'extraction et la quantification des MP bioaccumulés dans les tissus des oligochètes, les deux espèces d'oligochètes, élevées au laboratoire, ont été exposées pendant deux semaines dans un sol naturel, amendé ou non avec PP ou du PLA dans des dispositifs expérimentaux en verre, à une température de 20°C. Deux tailles (1 mm et 230 µm) et deux concentrations (100 et 700mg/kg de sol) de MP ont été testées. Après 2 semaines, les MP ont été extraits des sols et des vers puis quantifiés. Nous avons également compté les cocons et les juvéniles pour estimer les impacts sur la reproduction. Enfin, nous avons réalisé des tests d'évitement pour étudier l'impact des MP sur le comportement des vers. Les résultats ont mis en évidence des effets différenciés de la concentration, de la nature et de la taille des MP sur les 2 espèces d'oligochètes avec des impacts potentiels sur le fonctionnement du sol.

## Mots clés

Microplastiques, Oligochètes, Sol, Bioaccumulation

## Remerciements

Anir BENIHYA pour son aide lors de la recherche de protocoles et pour la production des microplastiques  
La Graduate School Biosphera de l'Université Paris-Saclay pour le financement de ce travail

## Références

- [1] Ding, W., Li, Z., Qi, R., Jones, D.L. Liu, Q., Yan, C. (2021). Effect thresholds for the earthworm *Eisenia fetida*: toxicity comparison between conventional and biodegradable microplastics. *Science of the Total Environment*. 781, 146884
- [2] Huang, Y., Zhao, Y., Wang, J., Zhang, M., Jia, W., Qin, X. (2019). LDPE micoplastic films alter microbial community composition and enzymatic activities in soil. *Environmental Pollution*, 254, 112983.



# INTEGRATION DE BIOMARQUEURS DE GENOTOXICITE DANS UNE ETUDE DE BIOSURVEILLANCE UTILISANT UNE APPROCHE MULTI-BIOMARQUEURS CHEZ L'EPINOCHÉ A TROIS EPINES

L'eau est impactée par une variété de pressions anthropiques croissantes, incluant les contaminants telles que les substances génotoxiques, lesquelles pouvant affecter directement ou indirectement l'intégrité du matériel génétique (ADN, ARN) des cellules somatiques et germinales et mener sur le long terme à de la mutagénicité, cancérogénicité ou tératogénicité. Les effets génotoxiques sont considérés comme un des critères majeurs à suivre dans le cadre de l'évaluation de la toxicité liée à la pollution aquatique. L'approche multi-marqueurs proposée au niveau sub-individuel donne une indication complémentaire aux paramètres chimiques et écologiques de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000/60/EC). Les biomarqueurs de génotoxicité et de nécrose érythrocytaire développés chez l'épinoche à trois-épines (*Gasterosteus aculeatus* Linnaeus, 1758.) ont été intégrés à la batterie de biomarqueurs existante dans le cadre d'un projet de biosurveillance sur le bassin versant Artois-Picardie en 2019. Dans cette étude, l'évaluation des dommages génotoxiques a été réalisée sur les érythrocytes par le test des comètes alcalin (spécifique des dommages primaires à l'ADN (sites alcali-labiles, rupture simple ou double brins (ALS, SSBs, DSBs)) [1], couplé à la mesure des variations du contenu de l'ADN nucléaire [2] et de la nécrose érythrocytaire par cytométrie de flux. L'intégration de ces nouveaux biomarqueurs a permis d'étendre la batterie existante à la génotoxicité et a permis de cibler de nouveau potentiel effets des contaminants. L'analyse en composante principale (ACP) suivie par une classification agglomérante hiérarchique (CAH), a mis en évidence une augmentation du contenu en ADN nucléaire (Etaing, St Rémy du Nord, Artres and Biache-St-Vaast) et de la nécrose érythrocytaire (Etaing, St Rémy du Nord) par rapport aux valeurs de références. L'ensemble de ces sites sont déclassés vis-à-vis de la DCE pour leur contamination aux HAPs (caractérisés par de mauvais paramètres chimiques et écologiques). La variation du contenu de l'ADN nucléaire ainsi que la nécrose érythrocytaire confirment et améliorent la discrimination des différentes stations étudiées, contrairement aux cassures de brins retrouvées à de fort niveaux pour l'ensemble des sites. L'approche multi-marqueurs traduit une dégradation générale de la santé des poissons de chaque station, qui peut être mise en relation avec de nombreux stress environnementaux retrouvés au sein du bassin versant Artois-Picardie. La station la plus dégradée était Courrières avec une forte mortalité des poissons encagés, station située à la confluence de deux canaux (Deule et Lens) subissant la pression d'une grande concentration de polluants. Nos recherches sont encore en cours, afin de proposer l'utilisation de différents biomarqueurs de génotoxicité comme signaux d'alertes précoces des potentielles altérations sur l'individu pouvant entraîner des conséquences à l'échelle de la population.

## Mots clés

Biosurveillance, biomarqueurs, épinoche à trois-épines, génotoxicité

## Remerciements

Ce travail a été financé par l'Agence de l'Eau Artois Picardie et par le Ministère de la transition écologique (Programme 190 Ecotoxicologie et Programme 181 MIV34).

## Références

- [1] Singh, N.P.; McCoy, M.T.; Tice, R.R.; Schneider, E.L. A Simple Technique for Quantitation of Low Levels of DNA Damage in Individual Cells. *Experimental Cell Research* 1988, 175, 184–191, doi:10.1016/0014-4827(88)90265-0.
- [2] Vindeløv, L.; Christensen, I.J. Chapter 14 An Integrated Set Of Methods For Routine Flow Cytometric DNA Analysis. In *Methods in Cell Biology*; Darzynkiewicz, Z., Crissman, H.A., Eds.; Flow Cytometry; Academic Press, 1990; Vol. 33, pp. 127–137.

Amélie CANT\*(1), Marc BONNARD (2), Jean-Marc PORCHER (1), Jean PRYGIEL (3), Audrey CATTEAU (2), Laurence DELAHAUT (2), Olivier PALLUEL (1), Cyril TURIES (1), Alain GEFFARD (2), Anne BADO-NILLES (1)

(1) UMR\_I 02 INERIS-URCA-ULH SEBIO, unité d'écotoxicologie in vitro et in vivo, INERIS av du Parc Alata 60550 Verneuil en Halatte

(2) UMR\_I 02 INERIS-URCA-ULH SEBIO, UFR Sciences Exactes et Naturelles, Université de Reims Champagne Ardenne UFR Sciences Exactes et Naturelles, Campus du Moulin de la Housse, BP 1039 51687 Reims cedex 2

(3) Agence de l'Eau Artois-Picardie, 200 rue Marceline - Centre Tertiaire de l'Arsenal - BP 80818 - 59508 Douai cedex

Contact e-mail : amelie.cant@ineris.fr

# **EFFET DES PESTICIDES SUR LA MORPHOLOGIE DES DIATOMÉES BENTHIQUES D'EAU DOUCE : LE CAS DU GLYPHOSATE.**

La directive-cadre sur l'eau stipule que les masses d'eau doivent atteindre le "bon état écologique" dans l'UE. Bien que de nombreux indicateurs existent, ils ne sont pas toujours en mesure de révéler les effets subtils d'une faible pression épisodique sur de longues durées d'exposition. Il est donc essentiel de développer des indicateurs d'alerte précoce de la qualité des eaux de surface. A cet effet, l'étude des biofilms phototrophes semble particulièrement pertinente en raison de leur rôle majeur dans les écosystèmes aquatiques.

Au sein de ces biofilms, les diatomées occupent une place particulière, puisqu'elles sont déjà intégrées dans la batterie d'outils d'évaluation de la qualité des eaux de surface. Parmi les différents paramètres sur lesquels repose la détermination de la classe de qualité, l'observation de formes tératologiques (déformation des frustules, irrégularité des stries...) est considérée comme révélateur d'un stress [1]. Toutefois, ces déformations sont difficiles à identifier et à dénombrer, et il est également délicat d'en qualifier l'intensité. Il en résulte que cet élément de l'Indice Biologique Diatomées (IBD) est mal renseigné. Il apparaît donc nécessaire de développer une méthodologie standardisée pour réaliser les différentes étapes de détection et caractérisation des déformations des diatomées. Dans cette étude, nous présentons les premiers résultats de mise au point d'une telle approche, à partir de bioessais de laboratoire, réalisés sur la diatomée benthique d'eau douce *Nitzschia palea*. Dans un premier temps, la culture a été exposée à court terme (7 jours) au glyphosate et à son principal produit de dégradation (AMPA) afin de déterminer les concentrations de contaminants inhibant 5, 10 et 50% de leur croissance (valeurs IC5, IC10 et IC50). Ces concentrations et une concentration environnementale ont ensuite été utilisées pour exposer les cultures dans des conditions semi-statiques pendant 28 jours afin d'évaluer le potentiel tératogène du glyphosate et de l'AMPA sur la morphologie des diatomées. Pour chaque échantillon, des images ont été acquises au microscope optique et la morphologie des cellules a été analysée à l'aide de différents descripteurs en lien avec la taille et la forme des cellules. Ces descripteurs ont ensuite été mis en relation avec les déformations observées qui ont été analysées qualitativement (type de déformations) et quantitativement (abondance relative, sévérité). Enfin, cette approche manuelle est comparée à une approche basée sur l'intelligence artificielle en cours de développement permettant de caractériser automatiquement les effets de ces contaminants sur la morphologie des diatomées.

Sarah CHERON (1,2), Aishwarya VENKATARAMANAN (1,2,3) Clara MARTINEZ (1), Huyèn Phong HAMON (3), David HEUDRE (4), Cédric PRADALIER (2,3), Philippe USSEGLIO-POLATERA (1,2), Simon DEVIN (1,2), Vincent FELTEN (1,2), & Martin LAVIALE (1,2)

(1) Université de Lorraine, CNRS, LIEC, F-57000, Metz, France

(2) LTSER France, Zone Atelier du Bassin de la Moselle, F-54000, Nancy, France

(3) GeorgiaTech Lorraine-IRL 2958, GeorgiaTech-CNRS, Metz, France

(4) DREAL Grand Est, Metz, France

## **Mots clés**

Glyphosate ; AMPA ; Diatomées ; Morphologie, Analyse d'images

## **Remerciements**

Cette étude fait partie du projet PESTINTER financé par le Programme Environnement-Santé-Travail de l'Anses avec le soutien des ministères chargés de l'environnement, de l'agriculture et du travail (2020/01/245). SC est également soutenue financièrement par la Zone Atelier Moselle (ZAM).

## **Références**

[1] Falasco E., Ector L., Wetzel C.E., Badino G., et Bona F. 2021. Looking back, looking forward: a review of the new literature on diatom teratological forms (2010–2020). *Hydrobiologia* 848, 1675–1753 (2021).

# INFLUENCE DU POLYSTYRENE DANS LA DISPONIBILITE ENVIRONNEMENTALE DE L'ARSENIC, DU CADMIUM ET DU MERCURE DANS LES SOLS

Romain COLPAERT (1), Annette DE VAUFLEURY (1), Nadia CRINI (1), Caroline AMIOT, Frédéric GIMBERT (1)\*

(1) UMR CNRS 6249 Chrono-Environnement, Université de Bourgogne Franche-Comté, 16 route de Gray, 25030 Besançon Cedex, France  
Contact e-mail : frederic.gimbert@univ-fcomte.fr

Depuis les années 1950, avec environ 9200 millions de tonnes de plastique produits, dont environ 7000 millions de tonnes sont devenues des déchets plastiques (Maes et al., 2021), nous sommes entrés dans l'ère du plastique. Ces microplastiques (<5mm = MP) peuvent agir comme vecteurs d'autres contaminants inorganiques (Hodson et al., 2017) et ainsi modifier leur potentiel de transfert. L'objectif de la présente étude était donc de déterminer les modifications de la disponibilité environnementale de plusieurs métaux en interaction avec la présence de MP dans un sol. Un sol naturel provenant du SOERE PRO a été contaminé pour obtenir trois concentrations d'arsenic (As; 0, 50 ou 100 mg/kg), de cadmium (Cd; 0, 10 ou 20 mg/kg) ou de mercure (Hg inorganique; 0, 2 ou 5 mg/kg) en association avec trois concentrations (0 ; 0,1 ou 1 % m/m) de polystyrène (d50 = 80 µm). Des prélèvements de sols ont été réalisés après trois durées d'incubation (0, 3 et 7 semaines) avant extraction (CaCl<sub>2</sub>) et dosage par ICP-MS. Le Cd présente les taux d'extraction les plus élevés (de 3,9% à 21,2 % en moyenne) suivi par le Hg (de 0,2 à 11,1 %) et l'As (de 0,1 à 7,4 %). Le Hg présente quant à lui des taux d'extractions plus élevés pour les sols non spikés que les sols spikés. Les taux d'extractions vont vers une diminution au cours du temps pour l'As et le Hg, avec une baisse significative en particulier pour le Hg entre les semaines 1 et 3, avant une stabilisation. La cinétique est moins marquée pour le Cd. Ces diminutions de disponibilité environnementale au cours du temps ont déjà été observées (Ma et al., 2015 ; Smolders et al., 2010) et peuvent résulter de différents paramètres édaphiques comme les taux de matière organique ou les argiles. Globalement dans cette étude, l'extractabilité des métaux n'est pas influencée par la présence des différentes concentrations de PS. D'autres études ont cependant montré que le polystyrène peut augmenter la fraction échangeable de métaux (Feng et al., 2022) mais de façon variable en fonction de la composition des sols utilisés ainsi que de la nature, la taille et la concentration des plastiques utilisés. Cette étude souligne l'effort de recherche à fournir pour obtenir une meilleure compréhension des effets des MP sur la disponibilité et la biodisponibilité des métaux dans les sols.

## Mots clés

Polystyrène, Arsenic, Cadmium, Mercure, Disponibilité environnementale, extraction

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'ADEME et la région Bourgogne Franche-Comté pour le financement de l'étude.

## Références

- Feng, X., Wang, Q., Sun, Y., Zhang, S., & Wang, F. (2022). Microplastics change soil properties, heavy metal availability and bacterial community in a Pb-Zn-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127364.
- Hodson, M. E., Duffus-Hodson, C. A., Clark, A., Prendergast-Miller, M. T., & Thorpe, K. L. (2017). Plastic bag derived-microplastics as a vector for metal exposure in terrestrial invertebrates. *Environmental Science & Technology*, 51(8), 4714-4721.
- Ma, L., Zhong, H. & Wu, YG. Effects of Metal-Soil Contact Time on the Extraction of Mercury from Soils. *Bull Environ Contam Toxicol* 94, 399–406 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1468-x>
- Maes, T., McGlade, J., Fahim, I. S., Green, D. S., Landrigan, P., Andrady, A. L., ... & Turra, A. (2021). From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution.
- Smolders, E., Oorts, K., Van Sprang, P., Schoeters, I., Janssen, C. R., McGrath, S. P., & McLaughlin, M. J. (2009). Toxicity of trace metals in soil as affected by soil type and aging after contamination: using calibrated bioavailability models to set ecological soil standards. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 28(8), 1633-1642.
- Wang, F., Zhang, X., Zhang, S., Zhang, S., & Sun, Y. (2020). Interactions of microplastics and cadmium on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in an agricultural soil. *Chemosphere*, 254, 126791.

## **EVALUER LA PERTINENCE D'UTILISER LE GAMMARE POUR QUANTIFIER LA BIODISPONIBILITE ET L'ECOTOXICITE DE PESTICIDES EN ZONE TAMPON HUMIDE ARTIFICIELLE**

Les zones tampons humides artificielles (ZTHA) sont proposées comme solutions fondées sur la nature pour abattre les contaminants circulant dans l'hydrosphère. Ainsi, la ZTHA de Rampillon (77) a été conçue pour collecter des eaux de drainage d'un bassin agricole sous cultures intensives et piéger les pesticides avant leur infiltration directe dans la nappe de Champigny, une des principales ressources en eau pour les Franciliens. Equipée en 2012

pour un suivi continu de plus d'une centaine de molécules dans la colonne d'eau, cette zone présente une efficacité d'abattement moyen des pesticides de 40-50% entre l'entrée et la sortie. Néanmoins, ce milieu artificiel constitue un important refuge pour la biodiversité (macro-invertébrés, amphibiens...). Les organismes sont alors exposés à des fluctuations saisonnières de contaminations multiples et diffuses en lien avec les pratiques agricoles et l'hydrologie du bassin, susceptibles d'avoir des effets néfastes sur leur santé. Il est donc important de caractériser les interactions des pesticides avec la biocénose en place pour une gestion durable de ce type de milieux alliant abattement des pesticides et préservation de la biodiversité. La bioaccumulation est considérée comme une mesure intégrative de l'exposition des organismes aux contaminants ambiants dans l'habitat local au cours d'une période récente. Elle constitue ainsi, un outil puissant pour quantifier la biodisponibilité, à savoir la fraction de contaminants internalisés par les organismes et potentiellement toxique pour eux. Cette étude propose ainsi d'évaluer la pertinence d'utiliser un ingénieur d'écosystème ubiquiste des milieux aquatiques, à savoir le gammare, pour suivre la biodisponibilité des pesticides circulants dans la ZTHA de Rampillon.

Pour se faire, des gammares issus d'une population de référence ont été encagés en entrée et en sortie de la zone humide de Rampillon pour suivre la biodisponibilité des pesticides in situ. Les encagements sont renouvelés bimensuellement de mars à juin afin de cibler les flux printaniers de pesticides. A chaque renouvellement, un panel de pesticide est quantifié dans les tissus des gammares à l'aide d'une méthode d'extraction multi-résidus. En parallèle, l'impact des pesticides est évalué chez les gammares encagés à l'aide d'une approche de biomarqueurs multi-niveaux, à savoir le couplage de paramètres biochimiques (enzymes impliquées dans la digestion, la mue et le stress oxydatif) et de traits de vie/comportementaux. Un suivi de la dégradation de litière couplé à des déplacements fonctionnels et structuraux de macro-invertébrés est également effectué in situ à l'aide de sacs à litière déployés simultanément aux encagements en amont et en aval de la zone.

Les premiers résultats confirment la capacité des gammares à bioaccumuler divers herbicides, fongicides et insecticides. Les différences de niveaux de bioaccumulation seront ensuite confrontées au suivi chimique effectué en continu dans l'eau, lequel est en cours d'acquisition. Cela renseignera sur la dynamique spatio-temporelle de la biodisponibilité des pesticides et ainsi, sur un effet bénéfique possible de cette zone en termes d'exposition pour la biocénose en place. Au niveau individuel/populationnel, des différences dans la mobilité, l'alimentation et la reproduction sont observés entre les gammares encagés en amont et en aval de la zone. Au niveau de la communauté, les premiers relevés de sacs à litière indiquent des déplacements structuraux entre l'amont et l'aval chez les détritivores indigènes. A terme, ces suivis écotoxicologiques et d'écologie fonctionnelle devraient fournir des informations complémentaires sur l'impact des pressions agricoles diffuses sur la santé des organismes et leurs fonctions écologiques associées, et permettre d'établir d'éventuels liens entre événements cellulaires et répercussions au niveau de l'écosystème.

**Samira EL MEOUCH (1,2) Angéline GUENNE (2), Alexandre MICHEL (1), Aliénor JELIAZKOV (1), Julien TOURNEBIZE (1), Jérémie D. LEBRUN\* (1)**

(1) INRAE, UR HYCAR, 92761 Antony

(2) INRAE, UR PROSE, Pôle Chimie, 92761 Antony

Contact e-mail :

jeremie.lebrun@inrae.fr

### **Mots clés**

Pesticides, Gammare, Bioaccumulation, Multi-biomarqueurs, Macro-invertébrés, Ecologie Fonctionnelle

# **EFFET DE L'APPORT DE THÉ DE COMPOST OXYGÉNÉ SUR LA MOBILITÉ ET LA PHYTOEXTRACTION DU CUIVRE EN SOL VITICOLE**

L'usage de fongicides à base de cuivre (Cu) pour lutter contre le mildiou de la vigne a généré une accumulation de Cu dans les sols viticoles qui fragilise la pérennité de ces agroécosystèmes. Il est donc nécessaire de développer des solutions de remédiation en plus de recherche d'alternatives à ces fongicides, la phytoextraction est une de ces solutions. En raison de sa forte affinité pour les phases solides des sols, le cuivre est un métal peu disponible pour les plantes (i.e. phytodisponible). Il est donc nécessaire de trouver des leviers pour augmenter la phytodisponibilité de Cu dans le sol et par extension sa phytoextraction, un de ces leviers pourrait être l'apport de complexants de Cu [1]. En effet, ces molécules ont déjà fait leurs preuves avec des agents chélatants chimiques comme l'EDTA ou l'EDDS, mais ils ont un coût financier important et un fort impact environnemental. Une autre option est d'inoculer le sol avec des bactéries produisant des biochélatants d'intérêt tels que les sidérophores. En effet, l'inoculation de telles bactéries augmente sensiblement (d'un facteur 2) la phytoextraction de Cu [2], mais la production de l'inoculum est assez coûteuse, ce qui limite leur utilisation à grande échelle. Il est donc nécessaire de trouver des complexants de Cu permettant d'augmenter le potentiel de phytoextraction à faible coût, naturels et simples d'utilisation. Cette solution pourrait être les substances humiques naturelles, que l'on retrouve en grandes quantités dans les thés de compost oxygénés (TCO), qui sont des extraits liquides de compost oxygéné riches en éléments nutritifs et en matière organique.

Cette étude a pour but d'évaluer les effets d'un apport répété de TCO sur la croissance et la phytoextraction de Cu par le trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum* cv. Bolsena), dans un sol viticole à trois concentrations de Cu : 90, 261 et 432 mg/kg. L'apport au sol de TCO entraîne une augmentation de la mobilité de Cu, i.e. de la concentration de Cu dans la solution de sol. Dans cette dernière, l'augmentation de la concentration de Cu est étroitement corrélée à la concentration en matière organique complexante (évaluée via l'absorbance de la solution à 254 nm) et s'accompagne d'une baisse de la fraction libre de Cu. L'ensemble de ces résultats suggère que la matière organique complexante présente dans le TCO mobilise le Cu fixé sur les phases solides du sol par complexolyse.

Aux concentrations basse (Cu90) et intermédiaire (Cu261) de Cu dans le sol, l'apport de TCO promeut la croissance du trèfle (d'un facteur 1,5) et augmente sensiblement (d'un facteur 1,3) la concentration en Cu de ses organes aériens. Cependant, des effets délétères sur la biomasse sont observés à forte concentration (Cu432) après l'apport de TCO, dont les origines restent à établir. La quantité de Cu extraite par le trèfle augmente en moyenne de 85% à Cu90 et 75% à Cu 261 suite à l'apport de TCO. Cependant, malgré cette augmentation et en extrapolant les quantités extraites, le rendement de phytoextraction calculé reste très faible (< 50 g/ha/an). Ces résultats indiquent que le trèfle ne représente pas un bon couvert accumulateur de Cu. La clé pour atteindre des rendements intéressants, c'est-à-dire de l'ordre de 1 kg/ha/an afin de compenser en partie les apports annuels, semble être de trouver un couvert accumulateur de Cu répondant positivement à une hausse de disponibilité de Cu.

## **Mots clés**

Éléments traces, complexation, substances humiques naturelles, phytodisponibilité, phytotoxicité, trèfle incarnat

## **Remerciements**

Les auteurs remercient les étudiants du Master EXCE de l'Université de Bordeaux pour leur aide dans la conduite de cette expérience, Cécile Coriou, Sylvie Bussière, Thierry Robert et Sylvie Milin (INRAE) pour leur support dans le traitement et l'analyse des échantillons et le Conseil Interprofessionnel des Vins de Bordeaux (CIVB) pour son soutien financier.

## **Références**

- [1] Borggaard et al., « Experimental Assessment of Using Soluble Humic Substances for Remediation of Heavy Metal Polluted Soils », *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 2009
- [2] D'Incau et al., « Effect of *Pseudomonas putida*-producing pyoverdine on copper uptake by *Helianthus annuus* cultivated on vineyard soils », *Science of The Total Environment*, 2022

Pierre EON\*(1), Jean-Marc DEOGRATIAS (2), Jean-Yves CORNU (1)

(1) INRAE, 33882 Villenave d'Ornon

(2) ASTREDHOR, 33882 Villenave d'Ornon

\*Contact e-mail : pierre.eon@inrae.fr

# ÉVALUATION DE LA CONTAMINATION DES POISSONS DE LA CÔTE ATLANTIQUE MAROCAINE PAR LES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (CD, PB ET AL)

Les poissons constituent une source nutritionnelle importante pour la population mondiale. Cependant, la contamination de ces produits par les métaux lourds pose un risque majeur pour la santé publique. Dans notre étude nous nous sommes intéressés à la contamination des poissons par le Cadmium (Cd), le Plomb (Pb) et l'Aluminium (Al). Ces métaux lourds non dégradables provoquent des intoxications aiguës ou chroniques. Dans le cadre de ce travail, une investigation toxicologique a été réalisée sur quatre espèces, la Sardine (*Sardina pilchardus*), le Maquereau (*Scomber scombrus*), le Pageot (*Pagellus erythrinus*) et le Merlu (*Merluccius merluccius*). Au total 80 échantillons ont été investigués dans ce travail. 20 individus pour chaque espèce, de mêmes caractéristiques, ont été prélevés ; et pour chaque individu, cinq organes ont été analysés (muscle, branchie, gonade, foie et estomac). Les échantillons ont été analysés en utilisant la Spectrométrie d'Emission atomique par plasma à couplage inductif (ICP-AES). L'analyse de variance (ANOVA I) effet espèce n'a pas montré de différence significative entre les 4 espèces et ceci pour le Pb ( $p < 0,169$ ), le Cd ( $p < 0,527$ ) et l'Al ( $p < 0,146$ ). Cependant les analyses montrent que les quatre espèces accumulent les trois éléments traces métalliques (ETM).

Le Pb était l'élément le plus accumulé par les quatre espèces, suivi par l'Al, alors que la contamination par le Cd était faible. En outre, *Sardina pilchardus* et *Pagellus erythrinus* étaient les espèces qui accumulent le plus Les éléments analysés. Les valeurs les plus élevées pour les trois éléments métalliques ont été détectées dans le foie et les branchies. Ces informations sont à prendre en compte dans l'évaluation du risque sanitaire encouru par les populations consommant ces poissons.

## Mots clés

Poisson ; contamination ; éléments traces métalliques ; spectrométrie d'absorption atomique par plasma à couplage inductif ; risque sanitaire

## Remerciements

Les analyses d'éléments traces ont été financés par l'Université Mohammed V de Rabat au Maroc.

Rachida FEGROUCHE\*(1), Yolande Kouassi Aya KOFFI (1), Ohtmane HAMMANI (2), Aicha SIFOU (3), Rachid BEN AAKAME (4)

(1) Laboratoire de Biodiversité, Écologie et Génome. Centre de Recherche "Biotechnologie Végétale et Microbienne, Biodiversité et Environnement", Université Mohammed V de Rabat, Faculté des Sciences, avenue Ibn Battouta, BP :1014, 10000 MAROC

(2) Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique/UATRS.

Angle avenue des FAR et Allal Fassi, Hay Ryad. BP 8027 N.U Rabat MAROC

(3) Laboratoire des Nanomatériaux, Nanotechnologies et Environnement, Centre des Matériaux. Université Mohammed V de Rabat, Faculté des Sciences. Avenue Ibn Battouta, BP :1014, 10000 MAROC.

(4) Laboratoire de Toxicologie alimentaire, Institut National d'Hygiène (INH). Avenue Ibn Battouta BP 769 Agdal 27 Rabat MAROC.

Contact e-mail :

r.fegrouche@um5r.ac.ma

## COMBINAISON DE TRACEURS GEOCHIMIQUES POUR RECONSTRUIRE LES TRAJECTOIRES DE CONTAMINANTS DANS UN BASSIN VERSANT INDUSTRIALISE OU ANTHROPISE

L'Orne, affluent gauche de la Moselle, a été et reste fortement perturbé chimiquement et physiquement par les activités sidérurgiques passées, par l'urbanisation et l'aménagement du lit <sup>(1,2)</sup>. La présente étude vise à étudier l'origine des matières en suspension (MES) transportées par ce cours d'eau et plus particulièrement l'origine du Zn et du Pb en combinant plusieurs marqueurs géochimiques et minéralogiques. Les MES sont introduites dans les eaux par l'érosion des sols, les rejets et le ruissellement urbains et la remise en suspension des sédiments. Afin d'identifier les sources de Zn et Pb, des sols, des sédiments et des poussières urbaines ont été collectés sur différents sites du bassin versant. Des MES ont été collectées selon deux types de campagne, (1) à variabilité spatiale d'amont en aval et (2) à variabilité temporelle lors de suivis de crue. Les différents échantillons ont été caractérisés via leur composition, leur minéralogie, la distribution en taille et les signatures isotopiques du Zn et du Pb. Les teneurs en Zn, Pb, Fe et les signatures isotopiques du Pb et Zn contenus dans les MES varient d'une campagne à une autre, d'amont en aval, mettant en évidence des contributions variables de Zn et Pb particulière issus de sources multiples. Notre étude vise à reconstituer ces différentes contributions, sur la base de données géochimiques mais aussi minéralogiques. Parmi les sources de Zn et Pb particulière, les dépôts sidérurgiques adossés aux berges de l'Orne ou jonchant le lit mineur constituent une source non négligeable du fait de leurs teneurs en ces deux éléments (plusieurs milliers de mg/kg) et du fait d'un enrichissement en isotopes lourds pour le zinc. D'après nos analyses élémentaires et isotopiques, les sédiments de l'Orne se répartissent en sédiments de surface (faibles teneurs en Zn, Pb, Fe et isotopes lourds du Zn) et sédiments profonds (riches en Zn, Pb, Fe et isotopes lourds du Zn). Pour les MES, la concentration et la composition isotopique du Zn montrent des tendances relativement plus complexes avec les variations du débit. Les données élémentaires et isotopiques du Zn seront comparées aux données supplémentaires (paramètres physico-chimiques de l'eau, concentrations d'anions, <sup>18</sup>O...) afin d'élucider les différentes contributions du Zn des MES.

### Mots clés

Rivière de l'Orne, activité sidérurgique, source des MES, Pb particulière, Zn particulière.

### Remerciements

Ce travail bénéficie des données accumulées pendant 7 ans dans le cadre des projets MOBISED (ANR 2015-2019) et Quali-Orne (AERM 2014-2023). Ce travail est également financé par la région Lorraine à travers la Zone Atelier (ZAM).

### Références

- Garcier, R. 2005. La pollution Industrielle de la Moselle La pollution Industrielle de la Moselle Française: Naissance, Développement et Gestion d'un Problème Environnemental, 1850-2000. Thèse, université de Lumière, Lyon 2. pp: 475 + annexes<sup>(1)</sup>.
- Picon, M. 2014. Autour de l'Orne industrielle : paysages industriels hérités. Mémoire Master, Conservatoire National des Arts et Métiers, Ecole supérieure des géomètres et topographes (septembre 2014), 192 p<sup>(2)</sup>.

Ayoub KHELILI (1,2), Christophe  
CLOQUET (1), Christophe  
GAUTHIER (2), Emmanuelle  
MONTARGES-PELLETIER (2)

(1) Université de Lorraine, CNRS, CRPG,  
F-54500 Vandoeuvre lès Nancy, France

(2) Université de Lorraine, CNRS, LIEC,  
F-54000 Nancy, France

Contact e-mail :

ayoub.khelili@univ-lorraine.fr.



## EVALUATION ECOTOXICOLOGIQUE DES ELEMENTS TERRES RARES SUR LE MACROPHYTE IMMERGE MYRIOPHYLLUM SPICATUM

L'utilisation croissante des éléments terres rares (ETR) dans les technologies vertes (éolienne, panneaux solaires...) et de haute technologie (téléphone portable, ordinateur...) entraîne le rejet d'ETR d'origine anthropique dans l'environnement, y compris dans les milieux aquatiques. Cependant, les potentiels effets de ces contaminants émergents sur les plantes aquatiques ont été peu étudiés. Donc, nous avons analysé pour la première fois les effets des ETR sur le macrophyte immergé, *Myriophyllum spicatum*. Les effets biologiques du néodyme (Nd), gadolinium (Gd) et ytterbium (Yb) ont été évalués individuellement et en mélange ternaire avec deux types de systèmes expérimentaux : microcosmes (test normalisé OECD TG 238:2014) et mésocosmes. La croissance (taille, masse), l'activité photosynthétique, le contenu en pigment et la stochiométrie élémentaire ont été mesurés pour quantifier les effets biologiques des ETR. Dans les deux types de systèmes expérimentaux, les ETR ont induit des effets hormétiques sur *M. spicatum*, en stimulant la croissance aux faibles concentrations et en l'inhibant aux plus fortes concentrations. En modifiant la composition de la solution d'exposition du test OECD TG, nous avons montré que le type de phosphore utilisé (inorganique ou organique) et la présence de matière organique dissoute influençaient drastiquement la toxicité des ETR, démontrant qu'il existe un lien fort entre spéciation et toxicité. Ainsi, la spéciation et plus particulièrement le type de phosphore utilisé devraient être pris en compte lors de l'évaluation du risque des ETR sur les plantes aquatiques. Dans les tests en mésocosmes, une concentration environnementale d'un mélange d'ETR a inhibé significativement la croissance de *M. spicatum* après un mois d'exposition. Des analyses biochimiques sont en cours pour mieux comprendre les mécanismes de toxicité des ETR sur *M. spicatum*.

Nicolas LACHAUX\*(1), Sarah BERNIS (1), Laura JUNIQUE (1), Sébastien CAMBIER (2), Simon DEVIN (1), Laure GIAMBERINI (1), Elisabeth-Maria GROSS (1)

(1) Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), UMR 7360 CNRS Université de Lorraine, Rue du Général Delestraint, F-57070 METZ

(2) Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), 5 avenue des Hauts-Fourneaux L-4362 ESCH-SUR-ALZETTE (Luxembourg)  
Contact e-mail : nicolas.lachaux@univ-lorraine.fr

### Mots clés

Éléments terres rares ; mélange ; toxicité ; *Myriophyllum spicatum* ; plante aquatique

### Remerciements

Cette étude fait partie du projet ECOTREE [ANR-16-CE34-0012] et du programme national "Investissements d'avenir" [ANR-10-LABX-21-01/LABEX RESSOURCES21] financés par l'ANR avec le support financier de la ZAM LTSE Moselle pour la thèse de Nicolas Lachaux. Nous remercions également le Pôle de compétences en biologie environnementale (LIEC – ANATELO - Université de Lorraine - CNRS – <http://liec.univ-lorraine.fr>) pour le soutien technique.

## EVALUATION ECOTOXICOLOGIQUE INTEGREE DES ELEMENTS TERRES RARES SUR UNE COMMUNAUTE AQUATIQUE MODELE

L'utilisation croissante des éléments terres rares (ETR) dans les technologies vertes (éolienne, panneaux solaires...) et de haute technologie (téléphone portable, ordinateur...) entraîne le rejet d'ETR d'origine anthropique dans l'environnement, y compris dans les milieux aquatiques. Cependant, les potentiels effets de ces contaminants émergents sur les écosystèmes aquatiques sont encore peu connus. Donc, nous avons étudié le devenir et la toxicité des ETR avec un dispositif expérimental de type mésocosme intérieur. Nous avons mis en place un réseau trophique modèle avec des producteurs primaires (*Raphidocelis subcapitata*, *Chlorella vulgaris*, *Myriophyllum spicatum*), des consommateurs primaires (*Daphnia magna*, *Corbicula fluminea*) et un consommateur secondaire (*Danio rerio*). Ces organismes ont été exposés pendant quatre semaines à des concentrations environnementales d'un mélange d'ETR (néodyme, gadolinium, ytterbium). Nous avons suivi une approche intégrée en étudiant la spéciation, biodisponibilité, bioaccumulation et toxicité des ETR dans un contexte de communauté. Ce poster présente les effets sur *C. fluminea*, un invertébré benthique filtreur d'eau douce. Une batterie de biomarqueurs a été mesurée dans la glande digestive et les branchies des bivalves afin d'évaluer le stress oxydant (glutathion peroxydase, superoxyde dismutase, capacité antioxydante totale), la détoxification (glutathion S-transférase, phosphatase acide), les dommages cellulaires (peroxydation lipidique, caspase-3), le métabolisme et réserves énergétiques (système de transport d'électrons, lactate déshydrogénase, triglycérides, cholestérol, protéines) potentiellement induit par les ETR. Les résultats montrent une plus grande réponse des biomarqueurs dans la glande digestive avec une augmentation significative des activités antioxydantes et de détoxification chez les organismes exposés par rapport aux témoins. De plus, une augmentation de la peroxydation lipidique a été observée à la plus forte concentration testée. Ce travail démontre que les ETR, à des concentrations environnementales, peuvent induire un stress toxique et oxydatif et même des dommages cellulaires sur une espèce clé des écosystèmes d'eau douce.

Nicolas LACHAUX\*(1), Laura JUNIQUE (1), Sébastien CAMBIER (2), Bénédicte SOHM (1), Danièle PAULY (1), Marie ZAFFINO (1), Simon DEVIN (1), Elisabeth-Maria GROSS (1), Laure GIAMBERINI (1)

(1) Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), UMR 7360 CNRS Université de Lorraine, Rue du Général Delestraint, F-57070 METZ

(2) Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), 5 avenue des Hauts-Fourneaux L-4362 ESCH-SUR-ALZETTE (Luxembourg)

Contact e-mail : nicolas.lachaux@univ-lorraine.fr

### Mots clés

Eléments terres rares ; mélange ; toxicité ; réseau trophique aquatique

### Remerciements

Cette étude fait partie du projet ECOTREE [ANR-16-CE34-0012] et du programme national "Investissements d'avenir" [ANR-10-LABX-21-01/LABEX RESSOURCES21] financés par l'ANR avec le support financier de la ZAM LTSE Moselle pour la thèse de Nicolas Lachaux. Nous remercions également le Pôle de compétences en biologie environnementale (LIEC – ANATELo - Université de Lorraine - CNRS – <http://liec.univ-lorraine.fr>) pour le soutien technique.

## LA MODÉLISATION TOXICO-CINÉTIQUE À BASE PHYSIOLOGIQUE – QUAND RESOUDRE DES ÉQUATIONS FAIT ENCORE SENS

L'étude des processus ADME (Accumulation, Distribution, Métabolisation et Élimination) impliqués dans la bioaccumulation des contaminants par les organismes aquatiques a principalement été menée sur organismes entiers. Des travaux récents chez le poisson (Grech *et al.*, 2016) ont montré la valeur ajoutée d'une exploration à une échelle plus fine, via le choix de « compartiments » sur des bases physiologiques pour correspondre par exemple à des organes cibles particuliers. En 2021, Gestin et al. ont réussi la prouesse de mettre en œuvre cette approche, en couplant expérimentation et modélisation, sur un invertébré, le gammare (*Gammarus fossarum*) exposé à des concentrations en Cd réalistes d'un point de vue environnemental. La formalisation mathématique nécessaire à cette description fine des processus ADME requiert l'emploi d'équations différentielles ordinaires couplées pour conduire à des modèles toxicocinétiques à base physiologique (PBTK). Ces modèles PBTK permettent de décrire la dynamique temporelle des concentrations bioaccumulées dans les différents compartiments identifiés, ces compartiments étant ou non en connexion directe avec le milieu extérieur et interconnectés entre eux selon les voies de contamination interne impliquées. Jusque récemment, un verrou majeur empêchait l'automatisation de ces modèles PBTK, par exemple en routine au travers d'une interface utilisateur conviviale facilitatrice, du fait du nombre élevé de paramètres à estimer. En effet, l'ajustement des modèles PBTK se fait simultanément sur l'ensemble des données disponibles dans tous les compartiments, et pour les deux phases d'accumulation et de dépuraction. Les paramètres sont souvent corrélés entre eux au sein même des équations ce qui nécessite de les estimer simultanément. Enfin, la résolution exacte des équations est complexe ce qui obligeait jusqu'ici à les intégrer numériquement avec des temps de calculs associés pouvant aller jusqu'à 24h. Nous vous présenterons ici comment nous avons contourné cette difficulté en réimplémentant ces modèles pour les utiliser de façon automatisée grâce à des fonctions clé-en-main rassemblées au sein d'un package R dédié ('rPBTK'). Nous ne nous attarderons pas sur les développements purement mathématiques, mais notons qu'ils ont quand même permis une réduction du temps de calcul total jusqu'à 95% pour les cas les plus complexes testés. Cependant, nous illustrerons comment il est désormais possible d'utiliser simplement ces modèles PBTK pour en estimer les paramètres, quels que soit le nombre de compartiments nécessaires à la description des processus ADME d'intérêt et pour toutes les combinaisons possibles d'interrelations entre ces compartiments. Les données collectées par Gestin et al. (2021) décrivant le devenir du Cd dans quatre organes différents de *Gammarus fossarum* serviront de cas d'étude. Nous illustrerons notamment comment les intestins servent de « gare centrale » pour les correspondances vers les autres organes, alors même que la contamination se fait par voie dissoute.

### Mots clés

Modèles TK multi-compartiments, modèles à base physiologique, inférence bayésienne, package R

### Remerciements

Ce travail s'intègre dans le projet APPROVe, financé par l'Agence Nationale de Recherche (ANR-18-CE34-0013-01). Il s'inscrit par ailleurs dans les thématiques du GDR "Écotoxicologie Aquatique" qui vise à favoriser des discussions et collaborations scientifiques stimulantes pour des approches plus intégratives.

### Références

Grech et al. (2016). Toxico-kinetic models and related tools in environment risk assessment of chemicals. *Science of the Total Environment*, 578, 1-15. doi : 10.1016/j.scitotenv.2016.10.146  
Gestin et al. (2021). One and multi-compartments toxico-kinetic modeling to understand metals' organotropism and fate in *Gammarus fossarum*. *Environment International*, 156, 106625. doi : 10.1016/j.envint.2021.106625.

Christelle LOPES<sup>\*1</sup>, Ophélie GESTIN<sup>1,2,3</sup>, Dominique LAMONICA<sup>1</sup>, Virgile BAUDROT<sup>4</sup>, Sandrine CHARLES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ Lyon, Université Lyon 1, UMR CNRS 5558, 69622 Villeurbanne, France

<sup>2</sup> Littoral Environnement et Société, UMR CNRS 7266 - Université de La Rochelle, 17000 La Rochelle, France

<sup>3</sup> INRAE RiverLy, Laboratoire d'écotoxicologie, 69625 Villeurbanne Cedex, France

<sup>4</sup> Qonfluens SAS, 34000 Montpellier, France

Contact e-mail :

[christelle.lopes@univ-lyon1.fr](mailto:christelle.lopes@univ-lyon1.fr)

# MODELE TOXICOCINETIQUE CHEZ LE POISSON ZEBRE (DANIO RERIO) POUR DEUX FONGICIDES AZOLES

Les fongicides azolés (e.g. prochloraze, PCZ ; imazalil, IMZ) sont retrouvés dans l'environnement et notamment dans les milieux aquatiques à des concentrations pouvant aller jusqu'à 2000 ng/L pour le PCZ (Kreuger, 1998) et 410 ng/L pour l'IMZ (CCanccapa et al., 2015). Un de leurs mécanismes de toxicité bien connu est leur capacité à inhiber le cytochrome P450 aromatase (aromatase A, codée par le gène *cyp19a1a*) (Hinfray et al., 2006).

L'altération de ce complexe enzymatique au niveau des gonades est un mécanisme d'action de perturbation endocrinienne souvent étudié. C'est d'ailleurs une des rares voies de toxicité pour laquelle une qAOP (i.e. quantitative Adverse Outcome Pathway, dit voie de toxicité quantitative) est disponible. Celle-ci a été développée chez le vairon à tête-de-boule (*Pimephales promelas*) et appliquée au fadrozole, inhibiteur non stéroïdien hautement spécifique de l'aromatase (Conolly et al., 2017). Cependant, de récentes études suggèrent fortement que l'intégration du profil toxicocinétique (TK) des molécules étudiées permettrait d'améliorer les prédictions des relations quantitatives existantes entre chaque événement clé décrites dans cette qAOP. Ainsi, l'objectif de ce travail est de comprendre et modéliser le processus ADME (i.e. Absorption, Distribution, Métabolisation, Elimination) du PCZ et de l'IMZ chez le poisson. Pour cela, des mesures de concentrations internes ont été réalisées au niveau des gonades, du foie et de la carcasse de poissons zèbres exposés à trois concentrations d'IMZ (3, 30, 300 µg/L). Ces données en complément de celles disponibles au sein de l'Ineris et issues de la littérature ont permis de paramétrer un modèle de toxicocinétique à fondement physiologique (i.e. PBTK) (Grech et al., 2019) chez le poisson zèbre appliqué au PCZ et à l'IMZ. De plus, les paramètres de métabolisation ont été estimés à partir de données *ex vivo* permettant d'améliorer le processus de métabolisation chez le poisson zèbre. Finalement, la modélisation du profil TK de ces substances a permis de prédire les concentrations internes dans les organes cible chez le poisson mâle et femelle. Ainsi, intégrer ce modèle PBTK à une qAOP permettra d'améliorer les prédictions des relations quantitatives qui y sont décrites (Villeneuve et al., 2021).

Tu-Ky LY\*(1), Julie DE OLIVEIRA (1,2), Karyn LE MENACH(3), Hélène BUDZINSKI (3), Nathalie HINFRAY (1), Rémy BEAUDOUIN (1)

(1) Ineris, Rue Jacques Taffanel, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

(2) Ecomundo, 195 Rue Jean Jacques Rousseau, 92130 Issy-les-Moulineaux

(3) Univ Bordeaux, CNRS, UMR805 EPOC LPTC, 351 Cours Libérat, F-33400 Talence, France

Contact e-mail :  
tu-ky.ly@ineris.fr

## Mots clés

Toxicocinétique, Perturbateurs endocriniens, Poisson zèbre, Fongicide azolé, qAOP (quantitative Adverse Outcome Pathway)

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ANSES [AIDEZ projet n° EST-2016/1/189, GinFiz projet n°2020/01/133] et le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire [Programme 190 Ecotoxicologie].

## Références

- Ccanccapa A. Masia A. Navarro-Ortega A. Pico Y. et Barcelo D. Pesticides in the Ebro River basin: Occurrence and risk assessment. *Environmental Pollution*. 2016;211:414-24.
- Conolly RB. Ankley GT. Cheng WY. Mayo ML. et Watanabe KH. Quantitative Adverse Outcome Pathways and Their Application to Predictive Toxicology. *Environmental Science & Technology*. 2017;51(8):4661-72.
- Grech A. Tebbi C. Brochet C. Bois FY. et Beaudouin R. Generic physiologically-based toxicokinetic modelling for fish: Integration of environmental factors and species variability. *Science of the Total Environment*. 2019;651:516-31.
- Hinfray N. Porcher JM. et Brion F. Inhibition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) P450 aromatase activities in brain and ovarian microsomes by various environmental substances. *Comparative Biochemistry and Physiology C-Toxicology & Pharmacology*. 2006;144(3):252-62.
- Kreuger J. Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990-1996. *Science of the Total Environment*. 1998;216(3):227-51.
- Villeneuve DL. Blackwell BR. Cavallin JE. Cheng WY. et Ankley GT. Case Study in 21st Century Ecotoxicology: Using In Vitro Aromatase Inhibition Data to Predict Short-Term In Vivo Responses in Adult Female Fish. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2021;40(4):1155-70.

# COMPOSITION PROCARYOTIQUE, MICROEUCARYOTIQUE ET FONGIQUE D'UN SOL DE FRICHE INDUSTRIELLE CONTAMINEE AUX PCB

Les Polychlorobiphényles (PCB) sont reconnus comme des polluants organiques persistants accumulés dans les organismes, les sols, l'eau ainsi que les sédiments causant des perturbations majeures tant d'un point de vue écologique que de santé publique (1). La littérature fait état de biotransformation in vitro des PCB par des champignons et des bactéries mais peu d'informations sont disponibles concernant l'impact in situ de ces composés sur les communautés microbiennes (2). Les travaux présentés ici examinent pour la première fois la diversité microbienne des trois domaines de la vie au sein d'échantillons de sol contaminés au PCB provenant d'une usine de peinture désaffectée en 2009. Chaque échantillon de sol a été classé du moins concentré en PCB au plus concentré et une augmentation significative de l'activité et de l'abondance microbienne a été observée suivant ce gradient. De plus, suivant ce même gradient, une ségrégation des communautés microbienne s'est révélée. Par exemple, des bactéries et champignons affiliés aux classes des Gammaproteobacteria et Saccharomycetes respectivement, incluant des espèces capables de transformer les PCB (3,4), ont été abondamment retrouvés au sein des échantillons les plus concentrés en PCB. En outre, des réseaux de co-occurrence ont permis de mettre en lumière de potentielles interactions entre espèces microbiennes en présence de PCB possiblement adaptées à ces molécules et capables de les transformer.

## Mots clés

Polychlorobiphényles, métabarcoding, communautés microbiennes, friche, sol

## Remerciements

Ce travail a été cofinancé par le programme MITI-CNRS (urban ecosystem-AAP 2019), EC2CO CNRS INSU (AAP2020), la région Auvergne-Rhône-Alpes (Pack Ambition Recherche 2021), l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie ainsi que le bureau d'étude ENVISOL.

## Références

- (1) Marchal et al., 2021, Molecular Characterization of Fungal Biodiversity in Long-Term Polychlorinated Biphenyl-Contaminated Soils
- (2) Stella et al., 2017, Bioremediation of long-term PCB-contaminated soil by white-rot fungi
- (3) Matturo et al., 2020, Microbiome changes and oxidative capability of an anaerobic PCB dechlorinating enrichment culture after oxygen exposure
- (4) Romero et al., 2006, Chlorinated biphenyl degradation by wild yeasts pre-cultured in biphasic systems

Flavien MAUCOURT (1), Aurélie CEBRON (2), Hélène BUDZINSKI (3), Karyn LE MENACH (3), Laurent PELUHET (3), Sonia CZARNES (1), Delphine MELAYAH (1), David CHAPULLIOT (1), Laurent VALLON (1), Gaël PLASSART (4), Mylène HUGONI (1,5,a), Laurence FRAISSINET-TACHET (1,a)

1 UMR Ecologie Microbienne, 69622, Villeurbanne

2 LIEC, 54000, Nancy

3 EPOC, 33405, Bordeaux

4 ENVISOL, 38110, La-Tour-Du-Pin

5 Institut Universitaire de France (IUF)

a Contribution équivalente

# ÉVALUATION DES EFFETS CHRONIQUES DU DI-N-BUTYL PHTALATE (DBP) SUR LES TRAITS D'HISTOIRE DE VIE DE *DAPHNIA MAGNA* ET SA DESCENDANCE

Jérémie OHANESSIAN\*(1),  
Marianne HOUIN (1), Sophie  
PRUD'HOMME (1), Vincent  
FELTEN (1), Elise BILLOIR (1)

Université de Lorraine, CNRS,  
LIEC, F-57000 Metz, France  
Contact e-mail : elise.billoir@univ-  
lorraine.fr

Il existe aujourd'hui un consensus sur l'attention qui doit être portée aux plastiques en raison de leur faible dégradabilité, leur persistance, et leur large et diverse utilisation. Les phtalates, couramment utilisés pour augmenter la résistance et la flexibilité des plastiques se trouvent ainsi présents dans les différentes matrices de l'environnement (air, eau, sol) entraînant de larges contaminations humaines et environnementales. Parmi eux, le DBP (di-n-butyl phtalate) suscite de grandes inquiétudes, car I) il est retrouvé de manière omniprésente dans les eaux de surfaces à des concentrations de l'ordre de la dizaine de ng/L au µg/L et II) plusieurs études ont rapporté des effets reprotoxiques et perturbateur endocrinien chez des mammifères et invertébrés.

À ce jour, rares sont les études ayant testé les effets de concentrations environnementalement réalistes de DBP (< mg/L) sur des invertébrés aquatiques. Une étude a rapporté qu'une concentration de 0.558 mg/L de DBP générerait des effets délétères sur le métabolisme des lipides, le développement, la reproduction et la durée de vie de *Daphnia magna* (Seyoum et Pradhan, 2019). Cependant plusieurs aspects méthodologiques méritent d'être davantage investigués, tels que les effets d'une exposition au DBP seul (sans solvant), à de faibles concentrations, dès le début du développement embryonnaire des organismes et leurs impacts sur la descendance.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer les effets chroniques, sur 25 jours d'exposition, de faibles concentrations de DBP sans solvant sur les traits d'histoire de vie (survie, croissance, reproduction, qualité de la descendance) du modèle de crustacé d'eau douce, *Daphnia magna*. Cependant, pour tester de faibles concentrations d'exposition, un prérequis majeur à cette étude a été de limiter au maximum toute contamination non maîtrisée des milieux par le DBP, ce qui représente un véritable challenge, les matières plastiques étant associées à chacune de nos actions quotidiennes (pipetage, contenant ...) et pouvant provenir de toutes les matrices. Les daphnies exposées sont issues d'une génération élevée dans des conditions exemptes de source de contamination, de même que les algues données en nourriture. La mortalité, la ponte, la mue, le relargage et le nombre de juvéniles ont été observés quotidiennement. La taille, la masse, le stade de mue et les malformations des daphnies ainsi que la taille, la masse et le nombre d'œufs ont également été suivis.

Ces données sont essentielles non seulement pour évaluer et modéliser les effets délétères potentiels du DBP sur les traits d'histoire de vie, la fitness des individus et la dynamique des populations de daphnies, mais représentent également un prérequis pour la caractérisation de ses effets au niveau transcriptomique qui suivra ces observations phénotypiques.

## Mots clés

Traits d'histoire de vie/fitness, phtalate, exposition chronique, effet intergénérationnel

## Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier de l'ANR dans le cadre du projet JCJC Chroco (ANR-21-CE34-0003)

## Références

Seyoum, Asmerom, et Ajay Pradhan. 2019. « Effect of Phthalates on Development, Reproduction, Fat Metabolism and Lifespan in *Daphnia Magna* ». *Science of The Total Environment* 654 (mars): 969- 77.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.158>.

## **PRESENTATION DE L'EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE SUR LES IMPACTS DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES SUR LA BIODIVERSITE, LES FONCTIONS ET LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES (2022).**

A la demande des ministères respectivement en charge de la Transition Ecologique, de l'Agriculture, et de la Recherche, INRAE et l'Ifremer ont livré en mai 2022 les conclusions d'une expertise scientifique collective (ESCo) traitant des impacts des produits phytopharmaceutiques (PPP) sur la biodiversité, les fonctions et les services écosystémiques le long du continuum terre-mer [1]. Mobilisant près de 50 experts, cette ESCo a apporté un éclairage sur l'état des lieux de la contamination des milieux, depuis les zones d'utilisation de ces substances jusqu'au grands fonds marins. Elle a montré que cette contamination contribue significativement au déclin de certaines populations dans les zones agricoles, en particulier les invertébrés terrestres et aquatiques ainsi que les oiseaux. De plus, différentes fonctions écosystémiques sont impactées. Celles-ci incluent, entre autres, la fourniture et le maintien des habitats et biotopes, la régulation des cycles de nutriments ou encore la résistance aux perturbations. La capacité des écosystèmes à fournir certains services, comme la pollinisation et la lutte contre les ravageurs, est également altérée. Des leviers d'action existent pour atténuer la contamination et les effets de l'utilisation des PPP, depuis l'application jusqu'à l'échelle du paysage. L'encadrement réglementaire des PPP, qui vise à éviter toute utilisation conduisant à des effets inacceptables sur l'environnement, est ambitieux dans ses objectifs. Cependant, les processus de l'évaluation des risques reposent sur des méthodes qui ne permettent pas de prendre suffisamment en considération la complexité des effets des substances sur l'environnement et le vivant, ni celle des enjeux économiques et sociaux liés à l'encadrement des utilisations. Au final, l'ESCo montre que les lacunes de connaissance sont encore importantes, qu'il s'agisse de types de PPP (ex. biocontrôle), des produits de transformation, de types d'organismes, de types de milieux et de territoires (ex. marin, outre-mer), ou de types d'effets (ex. sublétaux). Il est par ailleurs nécessaire de promouvoir des stratégies de recherche plus intégrées pour mieux rendre compte de la réalité complexe des expositions aux PPP et de leurs effets (ex. effets des mélanges et des stress multiples, interactions entre les différents organismes). L'évaluation des effets des PPP sur la biodiversité, les fonctions et services écosystémiques appelle donc un changement de paradigme dans les pratiques de recherche.

Stéphane PESCE\* (1), Laure MAMY (2), Wilfried SANCHEZ (3), Sophie LEENHARDT (4) et un collectif de 43 scientifiques francophones du domaine académique

(1) INRAE, UR RiverLy, 69625 VILLEURBANNE

(2) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, 78850 THIVERVAL-GRIGNON

(3) Ifremer, Direction Scientifique, Station de Sète, avenue Jean Monnet, 34200 SETE

(4) INRAE, Direction de l'Expertise scientifique collective, de la Prospective et des Études (DEPE), 75338 PARIS

Contact e-mail : stephane.pesce@inrae.fr

### **Mots clés**

Contamination ; Effets directs et indirects ; ESCo ; Pesticides ; Risques

### **Remerciements**

Nous remercions l'Office Français de la Biodiversité (OFB) pour le financement de cette ESCo dans le cadre du plan ECOPHYTO 2+, la Direction Scientifique d'INRAE, la Direction Générale de l'Ifremer et la DEPE INRAE, ainsi que l'ensemble des coauteurs cités dans la référence ci-dessous et les deux contributeurs ponctuels, J-P. Douzals et N. Ris.

### **Références**

[1] Sophie Leenhardt (coord.), Laure Mamy (coord.), Stéphane Pesce (coord.), Wilfried Sanchez (coord.), Anne-Laure Achard, Marcel Amichot, Joan Artigas, Stéphanie Aviron, Carole Barthélémy, Rémy Beaudouin, Carole Bedos, Annette Bérard, Philippe Berny, Cédric Bertrand, Colette Bertrand, Stéphane Betoulle, Eve Bureau-Point, Sandrine Charles, Arnaud Chaumot, Bruno Chauvel, Michael Coeurdassier, Marie-France Corio-Costet, Marie-Agnès Coutellec, Olivier Crouzet, Isabelle Doussan, Juliette Faburé, Clémentine Fritsch, Nicola Gallai, Patrice Gonzalez, Véronique Gouy, Mickael Hedde, Alexandra Langlais, Fabrice Le Bellec, Christophe Leboulanger, Morgane Le Gall, Sophie Le Perchec, Christelle Margoum, Fabrice Martin-Laurent, Rémi Mongrue, Soizic Morin, Christian Mougou, Dominique Munaron, Sylvie Nélieu, Céline Pelosi, Magali Rault, Sergi Sabater, Sabine Stachowski-Haberkorn, Elliott Sucré, Marielle Thomas, Julien Tournebize (2022). Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques, Synthèse du rapport d'ESCo, INRAE - Ifremer (France), 136 pages.

## INTERACTIVITE DE CONTAMINANTS EN MELANGE DANS LE PROCESSUS DE BIOACCUMULATION ET EFFETS ECOTOXIQUES CHEZ L'ENCHYTREIDE (ENCHYTRAEUS ALBIDUS)

La dépollution des eaux de ruissellement pluvial est un enjeu majeur pour limiter le transfert de polluants vers le milieu naturel. Le projet Adsorb du programme européen LIFE, se base sur l'étude d'un filtre planté situé dans le parc du Bois de Boulogne et permettant de dépolluer les eaux issues du périphérique ouest de Paris. Dans le cadre de l'évaluation des effets engendrés par l'installation d'un tel système, l'UMR Ecosys (INRAE/AgroParisTech) développe l'utilisation d'outils de diagnostic sur l'oligochète *Enchytraeus albidus*. Cette espèce modèle est indicatrice de stress chimique dans les écosystèmes terrestres (1),(2). Les objectifs de ces travaux sont de caractériser l'interactivité des contaminants retrouvés dans le filtre sur la bioaccumulation et établir un lien entre l'exposition à des polluants en mélange et les effets écotoxiques. Les analyses portant sur le filtre ont mis en évidence la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et d'éléments traces métalliques (ETM). Afin d'intégrer la complexité des mélanges de contaminants retrouvés dans le filtre, nous étudions trois HAP majoritaires : le phénanthrène, le fluoranthène et le benzo(a)pyrene. Deux éléments traces métalliques sont également étudiés, un essentiel, le cuivre et un non essentiel, le cadmium. Des cinétiques de bioaccumulation en HAP (3) et ETM (4), seuls et en combinaison sont réalisés. Deux sols sont étudiés afin d'appréhender l'influence de la physico-chimie du milieu d'exposition sur le processus de bioaccumulation. L'évolution des teneurs en HAP et métaux bioaccumulés est suivie pendant 4 semaines, avec des phases de bioaccumulation et d'élimination. L'impact de ces mélanges de contaminants sur la reproduction et plusieurs biomarqueurs biochimiques (allocation des réserves énergétiques) et moléculaires (expression de gènes) est caractérisée. Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence la présence et la nature d'une interaction entre les polluants et les sols sur les effets toxiques et le processus de bioaccumulation. Le lien entre l'exposition et les effets précoces (biomarqueurs biochimiques) ainsi que les traits de vie (reproduction) contribue à la définition de valeurs seuils pour l'élaboration d'un outil d'évaluation de la toxicité du filtre sur les organismes du sol.

Ninon PORTELANCE, Giacomo GRASSI, Antoine BAMIERE, Ghislaine DELARUE, Amélie TROUVE, Sébastien BREUIL, Isabelle LAMY, Juliette FABURE

UMR ECOSYS, INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78026 Versailles, France  
Contact e-mail : giacomo.grassi@inrae.fr

### Mots clés

Bioaccumulation, métaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques, sol, enchytréides, écotoxicité

### Remerciements

Je remercie le projet LIFE-Adsorb qui finance ces travaux de recherche

### Références

- (1) OECD. Essai n° 317 : Bioaccumulation chez les oligochètes terrestres. (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2010).
- (2) OECD. Essai n° 220: Essai de reproduction chez l'enchytrée. (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2016).
- (3) Sverdrup, L. E., Jensen, J., Kelley, A. E., Krogh, P. H. & Stenersen, J. Effects of eight polycyclic aromatic compounds on the survival and reproduction of *Enchytraeus crypticus* (Oligochaeta, Clitellata). Environ. Toxicol. Chem. 21, 109–114 (2002).
- (4) Santos, F. C. F., van Gestel, C. A. M. & Amorim, M. J. B. Toxicokinetics of copper and cadmium in the soil model *Enchytraeus crypticus* (Oligochaeta). Chemosphere 270, 129433 (2021).



## ÉCOTOXICITÉ DES CONTAMINATIONS DIFFUSES EN SOLS PERIURBAINS : INTERET D'ENCHYTRAEUS ALBIDUS COMME OUTIL DE DIAGNOSTIC DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Le trafic routier engendre de la pollution due majoritairement aux contaminants issus des émissions de véhicules, principalement les éléments-traces métalliques (ETM) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Václav et al., 2009). Ces contaminations diffuses sont retrouvées dans les eaux de ruissellement issues d'épisodes pluvieux, ce qui représente un risque environnemental. Le projet LIFE-ADSORB met en œuvre un prototype de filtre planté dans le bois de Boulogne pour traiter les eaux de ruissellement de l'ouest du périurbain parisien, avant de les intégrer au réseau fluvial naturel. Pour déterminer la durabilité d'une telle solution, l'évaluation de l'impact environnemental de la construction et de l'utilisation du filtre doit accompagner le suivi de la performance de décontamination. Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est de montrer la pertinence de l'espèce modèle du sol, *Enchytraeus albidus*, dans l'évaluation écotoxicologique des sols impactés par les activités du système filtrant, avec deux tests standardisés de bioaccumulation et reproduction (OECD, 2010, 2004). Des sols sont prélevés à l'intérieur et dans l'environnement proche du filtre planté à différentes étapes du projet : avant les travaux de construction, avant la phase de fonctionnement du filtre, et après 8 mois de traitement des eaux. Pour tous les sols testés, les caractéristiques physico-chimiques (pH, distribution granulométrique...) ainsi que les teneurs en ETM et HAP et la capacité de rétention d'eau (CRE) ont été déterminées, afin d'apprécier l'influence de ces variables sur l'exposition et les effets des contaminants. Afin d'évaluer l'exposition des enchytréides aux contaminants métalliques et organiques, la bioaccumulation en ETM et HAP et l'expression des gènes métallothionéine et cytochrome P450 ont été analysées après deux semaines en conditions contrôlées. Les effets sublétaux sont analysés suite à une exposition de trois semaines, au travers des mesures de taux de reproduction et d'allocation cellulaire des réserves énergétiques, par le biais de dosages de protéines, lipides, glycogène et de l'activité du système de transport d'électrons. Les résultats obtenus permettent de mesurer la réponse biologique d'*E. albidus* en fonction des contaminations diffuses réelles en sols périurbains et de suivre l'évolution de l'impact environnemental du filtre.

Marine RIPOCHE, Giacomo GRASSI, Amélie TROUVE, Sébastien BREUIL, Isabelle LAMY, Juliette FABURE

UMR ECOSYS, INRAE, AgroParisTech,  
Université Paris-Saclay, 78026  
Versailles, France  
Contact e-mail :  
giacomo.grassi@inrae.fr

### Mots clés

Sols périurbains, *Enchytraeus albidus*, contaminations diffuses

### Remerciements

Ce stage a été réalisé dans le cadre du projet LIFE17 ENV/FR/000398 - LIFE-ADSORB.

### Références

- OECD, 2010. Test No. 317: Bioaccumulation in Terrestrial Oligochaetes. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD, 2004. Test No. 220: Enchytraeid Reproduction Test. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Václav, P., Schlaghamerský, J., Tříška, J., 2009. The effects of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals on terrestrial annelids in urban soils. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 44, 1050–1055.

## MESURE DE L'ACTIVITE N-ACETYL-B-D-GLUCOSAMINIDASE CHEZ L'AMPHIPODE GAMMARUS FOSSARUM : VARIABILITE PHYSIOLOGIQUE ET UTILISATION EN CONTEXTE D'ECOTOXICOLOGIE

Chez les crustacés, la mue est un processus physiologique important, conditionnant la croissance et la reproduction des individus. Sous son apparente simplicité, la réalisation de la mue nécessite une succession d'événements physiologiques, régulés par une machinerie moléculaire complexe dont les acteurs sont susceptibles d'être altérés par l'action de xénobiotiques. Malgré ce constat, l'existence d'outils moléculaires, permettant d'établir un

diagnostic de la qualité de la mue des crustacés, demeure rare. L'activité des enzymes chitino lytiques présente de nombreux intérêts dans ce contexte, elles sont à l'aval des mécanismes de régulation de la mue et facile à mesurer. A partir d'un protocole de mesure adapté chez l'amphipode d'eau douce *Gammarus fossarum*, l'objectif de cette étude était d'évaluer la modulation de l'activité N-acétyl-  $\beta$  - D-Glucosaminidase (NAGase) imputable i) à la physiologie des organismes et ii) aux contaminants. En premier lieu, l'activité NAGase a été appréhendée au cours du cycle de mue des organismes (n = 10 par stade et interstade). Les résultats ont mis en évidence la présence d'un pic d'activité au cours de la prémue, précédé d'un niveau basal en début de cycle. Par ailleurs, la comparaison de ces réponses entre spécimens mâles et femelles a révélé un profil légèrement différent, pouvant être induit par une différence de profils hormonaux. Enfin, l'activité NAGase a été mesurée sur des spécimens *G. fossarum* exposés à différents niveaux d'effluents de STEP. Si des retards dans le déroulement de la mue ont été observés entre les conditions, les activités NAGase ont montré un profil différent, suggérant une désynchronisation ou une déconnection entre l'activité enzymatique et la dynamique tissulaire observée. L'ensemble des résultats obtenus a permis de discuter de la pertinence de l'activité NAGase en tant que marqueur de la qualité de la mue chez les crustacés.

Marc ROLLIN\*(1), Romain COULAUD (1), Olivier GEFFARD (2), Aurélie DUFLLOT (1), Hervé QUEAU (2), Frank LE FOLL (1), Benoit XUEREB (1).

(1) Le Havre Normandie University (ULHN), FR CNRS 3730 SCALE, UMR-INERIS 02 Environmental Stresses and Biomonitoring of Aquatic Ecosystems (SEBIO), 25 rue Philippe Le Bon - 76600 Le Havre – France  
(2) INRAE, UR Riverly, Laboratoire d'écotoxicologie, F-69625 Villeurbanne, France  
Contact e-mail : marc.rollin@univ-lehavre.fr

### Mots clés

N-Acétyl- $\beta$ -D-Glucosaminidase ; physiologie ; *Gammarus fossarum* ; mue ; délais de mue

# DYNAMIQUE D'ACQUISITION DE LA TOLERANCE AU GLYPHOSATE CHEZ LES COMMUNAUTES MICROBIENNES PERIPHYTIQUES – ETUDE EN MICROCOSMES

Le glyphosate est l'herbicide le plus fréquemment retrouvé dans les cours d'eau à des concentrations pouvant atteindre plusieurs  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (Carles et al. 2019). Plusieurs études ont montré les effets délétères du glyphosate sur la faune et la flore aquatique. En particulier, la structure des communautés microbiennes du périphyton est altérée par des concentrations environnementales de glyphosate ( $\sim 10 \mu\text{g.L}^{-1}$ , Pesce et al. 2009). Ces changements structurels sont susceptibles de s'accompagner de changements fonctionnels, suivant le principe du PICT (Pollution induced community tolerance). En effet, l'exposition chronique des communautés microbiennes à un pesticide peut entraîner une sélection d'individus/espèces résistants au détriment des plus sensibles, engendrant ainsi une augmentation du niveau de tolérance globale de la communauté microbienne exposée à ce pesticide. L'étude de ces capacités adaptatives permet d'établir *in situ* des liens entre exposition et effets biologiques sur les communautés microbiennes. Ainsi, des études préliminaires ont montré une acquisition de tolérance au glyphosate corrélée aux concentrations en glyphosate mesurées *in situ* dans la rivière La Cleurie (Vosges). Néanmoins, la présence d'autres contaminants pourrait également influencer cette acquisition de tolérance. L'objectif de notre étude est de démontrer le lien de cause-à-effet entre exposition au glyphosate et acquisition de tolérance *via* une étude en conditions contrôlées en microcosmes. Pour cela, du périphyton issu d'une zone non-contaminée au glyphosate à l'amont de La Cleurie a été mis en culture au laboratoire puis exposé à un gradient de glyphosate ( $0,1$  à  $150 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) dans des canaux permettant de reproduire le fonctionnement de la rivière. Après 2, 4 et 6 semaines d'exposition, la tolérance du périphyton au glyphosate et à l'AMPA a été déterminée *via* des tests de toxicité aiguë. Après 4 semaines d'exposition, l'effet du glyphosate sur les enzymes microbiennes extra-cellulaires impliquées dans les cycles biogéochimiques ( $\beta$ -glucosidase, leucine aminopeptidase, phosphatase) a également été évalué. De plus, la contamination au glyphosate a été supprimée pour la moitié des canaux contaminés après 4 semaines afin de pouvoir évaluer la résilience des communautés microbiennes 2 semaines après cet arrêt de la contamination. Les premiers résultats montrent une baisse de la tolérance microbienne au glyphosate aux faibles concentrations ( $0,1$  ;  $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) dès 2 semaines d'exposition mais peu d'effet des concentrations plus élevées. L'analyse des résultats obtenus après 4 et 6 semaines d'exposition permettra de compléter ces premiers résultats pour mieux décrire la dynamique d'acquisition de la tolérance au glyphosate chez le périphyton.

Landry UGHETTO (1), Sarah  
CHERON (2,3), Martin LAVIALE  
(2,3), Chloé BONNINEAU (1)

(1) UR RiverLy, INRAE, F-69100 Lyon-  
Villeurbanne, France

(2) Université de Lorraine, CNRS, LIEC,  
F-57000, Metz, France

(3) LTSE France, Zone Atelier du  
Bassin de la Moselle, F-54000, Nancy,  
France

Contact e-mail :

ughetto.landry@yahoo.fr

## Mots clés

Ecotoxicologie microbienne, biofilm, PICT, herbicide, AMPA, photosynthèse

## Remerciements

Les auteurs remercient Joséphine Veron, Bernadette Volat, Christophe Rosy, Bernard Motte et Stéphane Pesce pour leur aide lors des prélèvements et analyses.

## Références

- Carles L., Gardon H., Joseph L., Sanchís J., Farré M., Artigas J. 2019. Meta-analysis of glyphosate contamination in surface waters and dissipation by biofilms. *Environment International* 124, 284–293.
- Pesce S., Batisson I., Bardot C., Fajon C., Portelli C., Montuelle B., Bohatier J. 2009. Response of spring and summer riverine microbial communities following glyphosate exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72, 1905–1912.

## IDENTIFICATION D'HYDROLASES A SERINE PAR LA METHODE "ACTIVITY-BASED PROTEIN PROFILING" CHEZ LES LARVES DE POISSON ZEBRE EXPOSEES AU DIBUTYL PHTALATE

Les hydrolases à sérine (SHs) forment l'une des familles d'enzymes les plus larges et les plus variées parmi les organismes procaryotes et eucaryotes. Elles jouent un rôle important dans des mécanismes développementaux tissulaires impliquant par exemple la maturation des hormones peptidiques et la plasticité neuronale (Long et Cravatt, 2011). En dépit de la contribution de plusieurs SHs dans le métabolisme des xénobiotiques tels que le dibutyl phtalate (DBP), aucune étude n'a été consacrée à la cartographie de cette classe d'enzymes chez le poisson zèbre, un organisme modèle fréquemment utilisé en écotoxicologie. Une identification des SHs couplée à une évaluation de la perturbation de l'expression de ces enzymes lors de l'exposition aux phtalates pourrait aider à mieux comprendre leurs modes d'action et orienter la recherche de marqueurs d'exposition. Cette évaluation peut être effectuée à l'aide d'une approche chémo-protéomique de profilage basée sur l'activité de ces enzymes ("activity-based protein profiling", ABPP) qui utilise une sonde réactive spécifique des SHs permettant le marquage et l'identification ultérieure de ces enzymes après purification par affinité et analyse par spectrométrie de masse (Simon et Cravatt, 2010). Nous avons étudié et identifié les SHs actives dans les larves de poisson zèbre et nous avons recherché parmi cette famille d'enzymes de potentiels marqueurs d'exposition au DBP. Des embryons de poisson zèbre (4h post-fécondation) ont été exposés à 0, 5 et 100 µg DBP/L pendant 120 h. Une diminution significative du niveau d'expression de la vitellogénine (environ 2 fois) par rapport au témoin a été observée chez les larves après exposition à 100 µg DBP/L. Quarante-neuf SHs ont été identifiées, parmi lesquelles la carboxypeptidase ctsa surexprimée après exposition à 100 µg DBP/L. C'est la première fois à notre connaissance qu'une carboxypeptidase est identifiée comme étant dérégulée suite à une exposition au DBP. Les résultats dans leur ensemble indiquent que les approches protéomiques ciblées telles que l'ABPP peuvent donc être appliquées pour comprendre le mécanisme d'action des xénobiotiques ainsi que pour découvrir des biomarqueurs potentiels en écotoxicologie.

### Mots clés

Larves de poisson zèbre, hydrolases à sérine, dibutyl phtalate, "activity-based protein profiling", protéomique

### Remerciements

Le projet a été financé par EC2CO ChemBioPE. Nous remercions Justine Flayac du Pôle de compétences en biologie environnementale (LIEC – ANATELo - Université de Lorraine - CNRS – <http://liec.univ-lorraine.fr>) pour son aide technique lors de l'exposition des embryons. La plateforme 3p5 Proteom'IC remercie la contribution financière du DIM Thérapie Génique Paris Ile-de-France Région, IBiSA, Université Paris Descartes et le Labex GR-Ex, ainsi que Cédric Broussard et Johanna Bruce pour leur aide logistique et la préparation d'échantillons.

### Références

Long JZ and Cravatt BF. 2011 The Metabolic Serine Hydrolases and Their Functions in Mammalian Physiology and Disease. *Chem Rev*, 111(10):6022–6063  
Simon GM and Cravatt BF. 2010 Activity-Based Proteomics of Enzyme Superfamilies: Serine Hydrolases as a Case Study. *J Biol Chem*, 285(15):11051–11055

Rodrigue S. YEDJI (1), Bénédicte SOHM (1,2), Virginie SALNOT (3), François GUILLONNEAU (3), Eric BATTAGLIA (1), Carole COSSU-LEGUILLE (1)

(1) UNIVERSITE de LORRAINE, CNRS, LIEC, F-57000 Metz

(2) UNIVERSITE de LORRAINE, Pôle de compétences en biologie environnementale, ANATELo, F-57000 Metz

(3) UNIVERSITE PARIS DESCARTES, INSERM U1016-Institut Cochin, Plateforme protéomique 3P5, F-75014 Paris

Contact e-mail : [eric.battaglia@univ-lorraine.fr](mailto:eric.battaglia@univ-lorraine.fr)



## SEFA-Metz-2022

Société d'Ecotoxicologie Fondamentale et Appliquée

30 juin & 1<sup>er</sup> juillet 2022





# Liste des participants

## A

**François ALLARD-HUVER**

CREM, Université de Lorraine, Nancy

**Caroline ARCA NJO**

UMR-I02 SEBIO, Université Le Havre Normandie, Le Havre

**Vincent AUDEJEAN**

Département SVT, UFR Sci-FA, Université de Lorraine, Metz

## B

**Anne BADO-NILLES**

Unité ESMI, INERIS UMR-I 02 SEBIO, Verneuil-en-Halatte

**Manon BAIN**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

**Rafael BALASTEGUI**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), CNRS, Université de Lorraine, Nancy

**Éric BATTAGLIA**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

**Damien BAUDIFFIER**

Fondation de coopération scientifique Rovaltain, Valence

**Rémy BEAUDOUIN**

Unité TEAM, INERIS UMR-I 02 SEBIO, Verneuil-en-Halatte

**Rébecca BEAUVAIS**

Centre Ecotox, Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée, Lausanne

**Sarah BERNIS**

Laboratoire Sols et Environnement, Université de Lorraine, Yutz

**Thomas BERTONCINI**

Pôle ECOSYSTEMES, ENVISOL SAS, La Tour du Pin

**Elise BILLOIR**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

**Camille BONNEFOUS**

UMR EcoSys, AgroParisTech / INRAE, Versailles

## C

**Arnaud CHAUMOT**

Laboratoire d'écotoxicologie, UR RiverLy, INRAE, Villeurbanne

**Sarah CHERON**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

**Théo CICCIA**

Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement, EDF R&D, Chatou

**Romain COLPAERT**

UMR CNRS Chrono-environnement, Université de Bourgogne Franche-Comté, Besançon

**Jean-Yves CORNU**

UMR ISPA, INRAE, Villenave d'Ornon

**Carole COSSU-LEGUILLE**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

**Sylvie COTELLE**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

**Romain COULAUD**

UMR I-02 SEBIO, Université Le Havre Normandie, Le Havre

## D

**Davide DEGLI ESPOSTI**

Laboratoire d'écotoxicologie, UR RiverLy, INRAE, Villeurbanne

**Delphine DELAUNAY**

Fondation de coopération scientifique Rovaltain, Valence

**Marie Laure DELIGNETTE-MULLER**

Laboratoire de biométrie et biologie évolutive,  
VetAgro Sup, Marcy l'Etoile

**Simon DEVIN**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Elie DHIVERT**

Anthroposed, Coopétic, Etival

**Titouan DIONET**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Aliénor DUVAL**

Laboratoire Eau, Environnement, Systèmes Urbains  
(LEESU), Université Paris Est Créteil (UPEC), Créteil

**E****Samira EL MEOUCH**

UR HYCAR, équipe ARTHEMYS, INRAE, Antony

**Pierre EON**

UMR ISPA, INRAE, Villenave d'Ornon

**Sidney EVERT DIAZ**

UMR CNRS Chrono-environnement, Université de  
Bourgogne Franche-Comté, Besançon

**F****Juliette FABURE**

UMR EcoSys, AgroParisTech / INRAE, Versailles

**Ludovic FARAVEL**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Solène FAUPIN**

Département SVT, UFR Sci-FA, Université de  
Lorraine, Metz

**Rachida FEGROUCHE**

Laboratoire de Biodiversité, Écologie et Génome,  
Université Mohammed V de Rabat, Maroc

**Vincent FELTEN**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Benoît FERRARI**

Centre Ecotox, Centre Suisse d'écotoxicologie  
appliquée, Lausanne

**Laurence FRAISSINET-TACHET**

Laboratoire d'Ecologie Microbienne UMR5557,  
Université Claude Bernard Lyon 1, Villeurbanne

**G****Jeanne GARRIC**

Laboratoire d'écotoxicologie, UR RiverLy, INRAE,  
Villeurbanne

**Laure GARRIGUE-ANTAR**

Laboratoire Eau, Environnement, Systèmes Urbains  
(LEESU), Université Paris Est Créteil (UPEC), Créteil

**Olivier GEFFARD**

Laboratoire d'écotoxicologie, UR RiverLy, INRAE,  
Villeurbanne

**Ophélie GESTIN**

Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive  
(LBBE), Université Lyon 1, Villeurbanne

**Frédéric GIMBERT**

UMR CNRS Chrono-environnement, Université de  
Bourgogne Franche-Comté, Besançon

**Antoine GOSSET**

EDF DIPDE, Villeurbanne

**Giacomo GRASSI**

UMR EcoSys, AgroParisTech / INRAE, Versailles

**Camille GROSSEGEORGE**

UMR1065 SAVE, INRAE, Villenave d'Ornon

**Elisabeth GROSS**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Lucas GUALANDI**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**L****Nicolas LACHAUX**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Léo LAFAY**

Laboratoire National d'Hydraulique et  
Environnement, EDF Recherche et Développement,  
Chatou

**Dominique LAMONICA**

Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive  
(LBBE), Université Lyon 1, Villeurbanne

**Céline LAURENT**

UPR 78 Recyclage et risque, CIRAD, Saint-Denis, La  
Réunion

**Philippe LAVAL-GILLY**

Laboratoire Sols et Environnement, Université de  
Lorraine, Yutz

**Jérémie LEBRUN**

UR HYCAR, équipe ARTHEMYS, INRAE, Antony

**Christelle LOPES**

Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive  
(LBBE), Université Lyon 1, Villeurbanne

**Fanny LOUIS**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Maxime LOUZON**

Pôle ECOSYSTEMES, ENVISOL SAS, La Tour du Pin

**Tu-Ky LY**

Unité TEAM, INERIS UMR-I 02 SEBIO, Verneuil-en-  
Halatte

**M****Benjamin MARIE**

UMR 7245 MCAM, CNRS-MNHN, Paris

**Flavien MAUCOURT**

Laboratoire d'Ecologie Microbienne, UMR 5557,  
Université Claude Bernard Lyon 1, Villeurbanne

**Jean-Didié MEMEL**

Biologie et cytologie animales, Université Nangui  
Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

**Laetitia MINGUEZ**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Corentin MIT**

Unité TEAM, INERIS UMR-I 02 SEBIO, Verneuil-en-  
Halatte

**Emmanuelle MONTARGES-PELLETIER**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), CNRS, Université de Lorraine,  
Nancy

**N****Adrien NEGUESQUE**

Département SVT, UFR Sci-FA, Université de  
Lorraine, Metz

**O****Jérémie OHANESSIAN**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**P****Sandrine PAIN-DEVIN**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Marc PARANT**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**Manon PERRIER**

UMR CNRS Chrono-environnement, Université de  
Bourgogne Franche-Comté, Besançon

**Stéphane PESCE**

UR RiverLy, INRAE, Villeurbanne

**Ninon PORTELANCE**

UMR EcoSys, AgroParisTech / INRAE, Versailles

**Sophie PRUD'HOMME**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements  
Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS,  
Metz

**R****Marine RIPOCHE**

UMR EcoSys, AgroParisTech / INRAE, Versailles

**Marc ROLLIN**

UMR I-02 SEBIO, Université Le Havre Normandie,  
Le Havre

**Raphaël ROYAUTE**

UMR EcoSys, AgroParisTech / INRAE, Versailles



## S

### **Elsa SALLES**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

### **Fidji SANDRE**

Laboratoire Eau, Environnement, Systèmes Urbains (LEESU), Université Paris Est Créteil (UPEC), Créteil

### **Magali SCHIANO DI LOMBO**

Laboratoire de recherche sur les effets des radionucléides sur les écosystèmes (LECO), Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, Cadarache

### **Elsa SCHMIDT**

UMR CNRS Chrono-environnement, Université de Bourgogne Franche-Comté, Besançon

### **Emmanuelle SIMON**

CREM, Université de Lorraine, Nancy

### **Bénédicte SOHM**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

## T

### **Manon TERNOIS**

CRCA-CBI, Université Toulouse III Paul Sabatier, Toulouse

### **Léa TISON**

UMR1065 SAVE, INRAE, Villenave d'Ornon

## U

### **Landry UGHETTO**

UR EMA, INRAE, Villeurbanne

## V

### **Paule VASSEUR**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

### **Agathe VIDAL**

UMR ISPA, INRAE, Villenave d'Ornon

### **Davide VIGNATI**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz

## Y

### **Rodrigue YEDJI**

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC), Université de Lorraine, CNRS, Metz