

Bioaccumulation et transfert trophique de contaminants dans les écosystèmes aquatiques : challenges & perspectives pour le réseau Ecotox

Une question interdisciplinaire rassemblant écotoxicologues et chimistes

Plusieurs écotoxicologues et chimistes environnementaux membres ou sympathisants du réseau ECOTOX INRAE ont contribué, au cours de la dernière décennie, aux travaux menés dans le thème de recherche « Réponses biologiques et écologiques aux contaminations du milieu aquatique », animé par Jeanne Garric au sein de l'ancien Département Eaux d'Irstea¹. Dans ce contexte, et sous l'impulsion de Marc Babut, s'est formé en 2015 un groupe de travail focalisé sur la question de la bioaccumulation des contaminants dans les milieux aquatiques continentaux. Cette initiative avait, entre autres, permis de constituer un collectif de 14 scientifiques (tableau 1) qui ont tous participé à ce thème de recherche (comme chercheur, post-doc ou doctorant), en vue de rédiger un article de synthèse sur le sujet. L'objectif était de rassembler les connaissances et d'identifier les principaux challenges scientifiques concernant la bioaccumulation dans les biofilms aquatiques (associés au périphyton, au compartiment sédimentaire ou aux litières végétales immergées) et son rôle dans le transfert des contaminants le long des chaînes trophiques (Bonnineau et al., 2020). Il s'agissait ainsi de :

- i) rappeler les mécanismes responsables de la bioaccumulation dans ces assemblages microbiens,
- ii) dresser un état des lieux des méthodes disponibles pour détecter, identifier et quantifier les contaminants bioaccumulés,
- iii) proposer une revue critique de la littérature décrivant la bioaccumulation dans les biofilms et ses conséquences pour les chaînes trophiques et,
- iv) identifier des perspectives de recherche pour mieux appréhender cette question complexe mais majeure pour améliorer les procédures d'évaluation des risques et impacts écotoxicologiques directs et indirects dans les écosystèmes aquatiques contaminés.

L'objectif de cette tribune libre est de présenter les principales conclusions de ce travail et de proposer des perspectives qui pourraient être déclinées à l'échelle du réseau ECOTOX. Cela pourrait notamment permettre de renforcer les liens entre les écotoxicologues et les chimistes environnementaux en fédérant les acteurs de ces deux disciplines autour de questions de recherche communes, transposables à différents types de contaminants ou d'écosystèmes.

Nom Prénom	Affiliation actuelle	Nom Prénom	Affiliation actuelle
Artigas Joan	UCA, UMR LMGE	Lebrun Jérémie	INRAE, UR HYCAR
Babut Marc	INRAE, UR RiverLy	Margoum Christelle	INRAE, UR RiverLy
Bonnineau Chloé	INRAE, UR RiverLy	Mazzella Nicolas	INRAE, UR EABX
Chaumet Betty	CNRS/UPS, UMR ECOLAB	Miège Cécile	INRAE, UR RiverLy
Dabrin Aymeric	INRAE, UR RiverLy	Morin Soizic	INRAE, UR EABX
Faburé Juliette	AgroParisTech/INRAE, UMR ECOSYS	Pesce Stéphane	INRAE, UR RiverLy
Ferrari Benoît	Centre Ecotox (Suisse)	Uher Emmanuelle	SU (UPMC), UMR LAMS

Tableau 1 : Liste des contributeurs, par ordre alphabétique, à l'article de synthèse Bonnineau et al. (2020)

¹ Jusqu'en 2018, les thèmes de recherche (TR, au nombre de 12) constituaient l'entité structurante des recherches au sein des Départements Irstea. Regroupant des équipes de différentes Unités (UR ou UMR), ils étaient notamment chargés de la programmation et de l'évaluation scientifique (sous l'égide du Département auquel ils étaient rattachés).

La bioaccumulation des contaminants par les communautés microbiennes benthiques

Dans les écosystèmes d'eau douce, les communautés microbiennes benthiques jouent un rôle écologique majeure par leur contribution aux cycles biogéochimiques (e.g. production primaire, dégradation de la matière organique). Ces assemblages microbiens complexes sont composés de différents micro-organismes (bactéries, cyanobactéries, micro-algues, hyphomycètes, protozoaires...) vivant en étroite interaction au sein d'une matrice de substances polymériques extracellulaires (EPS). Ces communautés microbiennes sont attachées à différents substrats : les communautés périphytiques (ou périphyton) se retrouvent sur les cailloux et sont dominées par les organismes autotrophes alors que les organismes hétérotrophes dominent les assemblages microbiens associés respectivement aux sédiments et aux litières végétales immergées.

En écotoxicologie, ces communautés microbiennes sont reconnues (et utilisées) comme des indicateurs pertinents de l'exposition aux contaminants en milieu aquatique et des effets toxiques qui en résultent. Les contaminants présents dans l'eau de surface (sous forme dissoute ou particulaire) sont susceptibles d'entrer en contact avec les biofilms, de s'y associer et de s'accumuler. Cette accumulation peut s'opérer soit à l'intérieur ou à la surface des micro-organismes ou soit dans la matrice EPS, via différents mécanismes : sorption, accumulation ou séquestration (pour les métaux) comme illustré par la Figure 1.

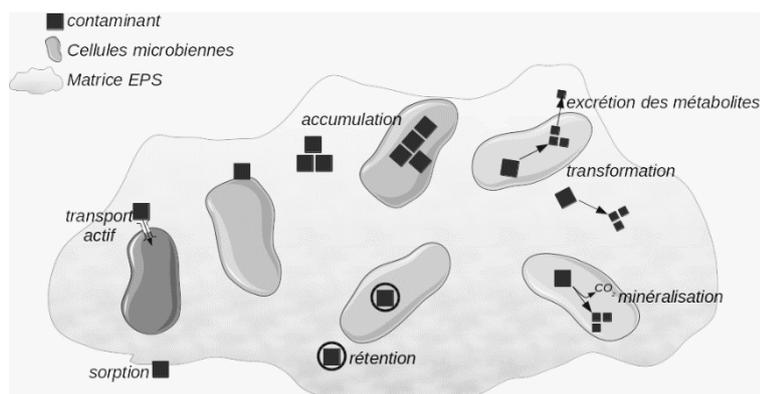


Figure 1 : Représentation schématique des interactions possibles entre contaminants et biofilms microbiens naturels

Le développement des méthodes analytiques a permis d'améliorer la quantification des contaminants accumulés dans les biofilms. Ces méthodes sont présentées plus en détail dans l'article de synthèse (Bonnineau et al. 2020). Si les premières études dans les années 90 étaient centrées sur les métaux, les développements analytiques de la dernière décennie ont également permis la détection et la quantification dans les biofilms des contaminants organiques (e.g. HAPs, PCBs, pesticides, substances pharmaceutiques dont les antibiotiques). Cependant, la très grande majorité des études de bioaccumulation porte sur le périphyton pour lequel il est notamment possible de déterminer la distribution des contaminants (en particulier les métaux) dans ce type de biofilm (e.g. fraction intracellulaire vs fraction liée à la matrice). La distribution des contaminants dans les biofilms peut également être observée de manière plus précise grâce aux méthodes d'imagerie comme la microscopie confocale laser à balayage. Néanmoins, aucune technique ne permet à ce jour de quantifier les contaminants accumulés dans les communautés microbiennes attachées aux sédiments ou à la litière de feuilles indépendamment de leur substrat.

Une méta-analyse réalisée sur 24 études publiées, et détaillée dans l'article de synthèse (Bonnineau et al. 2020), a mis en avant l'importante diversité des contaminants retrouvés dans le périphyton (toutes les classes sont représentées ; Fig. 2). Les contaminants organiques apparaissent comme des composés fortement bioaccumulables, les facteurs de concentrations les plus élevés ayant été observés pour les composés halogénés comme l'hexachlorobenzène ou les PCBs (Fig. 2). Une grande

variété de contaminants (e.g. métaux, HAPs, résidus pharmaceutiques, pesticides) a également été identifiée dans les sédiments, sans qu'il soit possible de distinguer les contaminants réellement bioaccumulés par les communautés microbiennes de ceux liés uniquement au substrat. Les études sur les communautés microbiennes associées à la litière de feuille sont plus rares mais ont pu démontrer l'association de métaux, d'herbicides et de fongicides sur la litière de feuille immergée et colonisée par du biofilm, sans pouvoir là encore identifier la fraction réellement accumulée dans ce compartiment microbien.

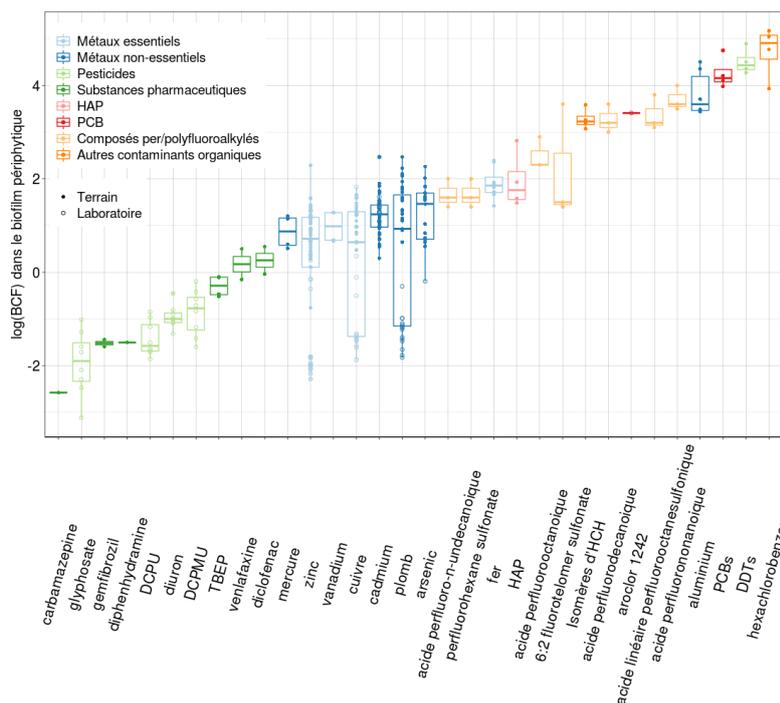


Figure 2 : Facteur de bioconcentration (log(BCF)) pour le biofilm péryphytique (n=304), données issues de 22 études publiées.

Cercle plein : observations sur le terrain ;
cercle vide : observations lors d'expérimentations en laboratoire.

HAP : hydrocarbure polycyclique aromatique, *PCB :* polychlorobiphényle, *HCH :* hexachlorocyclohexane, *TBEP :* tris(butoxyethyl)phosphate, *DCPU :* N-(3,4-dichlorophenyl)urea, *DCPMU :* N-3,4-dichlorophenyl-N-(methyl) urea, *DDTs :* dichlorodiphényltrichloroethane

Contribution aux transferts des contaminants dans les réseaux trophiques aquatiques

Dans les écosystèmes aquatiques d'eau douce, le biofilm, qui représente une ressource nutritive importante pour de nombreux macro-organismes (e.g. insectes, escargots, poissons, crevettes), joue un rôle pivot entre le réseau trophique vert (qui s'appuie sur la production primaire) et le réseau trophique brun (qui s'appuie sur l'apport de matière organique allochtone) (Bonnineau et al., 2020 ; Zou et al., 2016). De ce fait, il est potentiellement un acteur important du devenir et du transfert des contaminants dans ces réseaux trophiques. Cependant, nos recherches bibliographiques ont mis en évidence un nombre assez limité de travaux autour de cette question (Bonnineau et al. 2020). Quelques expériences en mésocosmes ont mis en évidence le transfert de métaux bioaccumulés dans le péryphyton aux organismes consommateurs et ces travaux sont complétés par de rares études prenant en compte des contaminants organiques ou des nanoparticules. Il existe donc à ce jour un vrai déficit de connaissance concernant les différents facteurs qui peuvent influencer le rôle des communautés microbiennes benthiques dans l'accumulation des contaminants dans les réseaux trophiques aquatiques.

Conclusion & perspectives

Cette revue de la littérature illustre les interactions entre les contaminants et les communautés microbiennes benthiques et montre l'importance de ces communautés dans la dynamique spatio-

temporelle des contaminants dans les milieux aquatiques continentaux. Cependant, d'importantes disparités de connaissances entre les différents types de biofilm (périphyton vs. communautés microbiennes attachées au sédiment ou à la litière de feuille) ou de contaminants (métaux vs. composés organiques) ont été mises en évidence, révélant les défis à relever pour améliorer notre compréhension du rôle des communautés microbiennes dans la dynamique des contaminants dans les écosystèmes aquatiques et leur transfert au sein des réseaux trophiques. Plus particulièrement, les défis ci-dessous sont essentiels à relever :

- Améliorer les méthodes analytiques pour quantifier les métaux et les composés organiques accumulés par les communautés microbiennes benthiques, indépendamment de leur substrat ;
- Mieux comprendre le lien entre les cinétiques de transfert, d'accumulation et de transformation des contaminants et leur toxicité pour les communautés microbiennes ;
- Préciser le rôle des communautés microbiennes dans la remobilisation ou le transport des polluants dans les milieux aquatiques ;
- Évaluer l'impact du changement climatique (e.g. sécheresse, hausse de température) sur la bioaccumulation des contaminants dans les biofilms et leur dynamique.

A l'intersection entre chimie environnementale, écotoxicologie, écologie, microbiologie, la résolution de ces problématiques requiert des collaborations étroites entre disciplines, qui pourraient se développer au sein du réseau Ecotox.

Contacts

Chloé Bonnineau & Stéphane Pesce : INRAE, UR RiverLy, Villeurbanne.

chloe.bonnineau@inrae.fr; stephane.pesce@inrae.fr



Juliette Faburé : Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, Versailles

juliette.fabure@agroparistech.fr

Pour en savoir plus

Bonnineau, C.; Artigas, J.; Chaumet, B.; Dabrin, A.; Faburé, J.; Ferrari, B. J. D.; Lebrun, J. D.; Margoum, C.; Mazzella, N.; Miège, C.; Morin, S.; Uher, E.; Babut, M.; Pesce, S. (2020) Role of Biofilms in Contaminant Bioaccumulation and Trophic Transfer in Aquatic Ecosystems: Current State of Knowledge and Future Challenges. In: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology (Continuation of Residue Reviews)*. Springer, New York. doi.org/10.1007/398_2019_39.

Bibliographie citée

Zou K, Thebault E, Lacroix G, Barot S (2016) Interactions between the green and brown food web determine ecosystem functioning. *Funct Ecol*. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12626>