



HAL
open science

La biosurveillance active pour le suivi de l'état chimique des cours d'eau continentaux

Olivier Geffard, Marina Coquery, Rémi Recoura-Massaquant, Olivier Perceval,
Dorothée Bolzan, Xavier Bourrain, Jean-Pierre Rebillard, Lionel Navarro,
Miguel Nicolai, Baptiste Casterot, et al.

► To cite this version:

Olivier Geffard, Marina Coquery, Rémi Recoura-Massaquant, Olivier Perceval, Dorothée Bolzan, et al.. La biosurveillance active pour le suivi de l'état chimique des cours d'eau continentaux. Sciences Eaux & Territoires, 2021, 37, pp.82-87. 10.14758/SET-REVUE.2021.4.15 . hal-03601278

HAL Id: hal-03601278

<https://hal.inrae.fr/hal-03601278v1>

Submitted on 8 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

La biosurveillance active pour le suivi de l'état chimique des cours d'eau continentaux

Avec le soutien de l'Office français de la biodiversité et des Agences de l'eau, les équipes d'écotoxicologie et de chimie d'INRAE ont développé une méthode de biosurveillance active de la contamination chimique des cours d'eau à l'aide d'une espèce de crustacé sentinelle, *Gammarus fossarum*. Au-delà d'évaluer la conformité des cours d'eau vis-à-vis de normes de qualité environnementale, cette méthode permet aujourd'hui de qualifier le niveau de contamination biodisponible du milieu pour plus d'une centaine de substances chimiques et d'identifier les substances les plus problématiques. Cette connaissance de la contamination biodisponible des cours d'eau offre également l'opportunité de mieux appréhender et prédire son impact sur les communautés biologiques qu'ils hébergent.

La biosurveillance pour mesurer l'état chimique des milieux aquatiques et suivre les tendances de contamination

La directive cadre sur l'eau (DCE, CE 2000) constitue un cadre de politique communautaire dans le domaine de l'eau pour la surveillance environnementale et l'évaluation du risque chimique des milieux aquatiques continentaux. L'état chimique, défini réglementairement par la DCE, est l'appréciation de la qualité d'une eau sur la base des concentrations de certains contaminants (i.e. substances chimiques prioritaires et prioritaires dangereuses) et leur confrontation à des normes de qualité environnementale (NQE) correspondantes. Ces NQE sont élaborées à partir de données d'écotoxicité obtenues à l'aide de tests biologiques, le plus souvent normalisés, en conditions contrôlées de laboratoire. Ainsi une NQE représente la concentration d'une substance ou d'un groupe de substances dans l'eau, le sédiment et le biote qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et celle des écosystèmes. Pour cet état chimique, deux classes sont définies : bon état (respect des NQE, i.e. lorsque les concentrations en substances prioritaires mesurées sont inférieures à la NQE) et mauvais état (non-respect des NQE pour au moins une des substances de la liste réglementée).

L'objectif de la DCE est double et consiste d'une part, à déterminer si les stations étudiées sont en conformité avec les NQE, et d'autre part, à évaluer les tendances temporelles de la contamination des écosystèmes aquatiques. Pour remplir ce double objectif, l'utilisation du biote comme matrice est apparue nécessaire, notamment pour les substances chimiques bioaccumulables. En effet, depuis l'adoption de la directive 2013/39/UE¹, dite « directive fille » :

- l'utilisation du biote a été formalisée par la publication de NQE biote pour onze substances prioritaires (substances organiques hydrophobes et le mercure représentant un risque pour les prédateurs supérieurs et l'Homme via la consommation de proies/produits de la pêche contaminés) ;
- le suivi des tendances temporelles (non-détérioration des masses d'eau dans le temps) devient une obligation, et les matrices intégratrices comme le biote sont fortement recommandées pour ce faire, notamment pour le suivi des substances organiques hydrophobes et des métaux.

L'utilisation d'organismes vivants pour surveiller la contamination chimique de l'eau (biosurveillance chimique) a été initiée dans les années 1970 pour les eaux côtières.

1. 2013/39/EU (2013) Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy. Off J Eur Communities L226(1):1-17.

❶ illustration des grandes étapes pour la réalisation de test *in situ* avec le gammare, comprenant la production d'organismes, leur tri et leur exposition sur le terrain dans des chambres d'exposition placées dans un système protecteur, boîte ou seau selon le gabarit de la rivière.



La synthèse bibliographique de Besse *et al.*, (2012)² montre que l'utilisation du biote présente de nombreux intérêts par rapport à l'eau :

- en tant que matrice accumulatrice (bioconcentration des contaminants), il permet une mesure plus simple et fiable des métaux traces et des contaminants organiques hydrophobes ;
- la mesure reflète la fraction biodisponible (fraction qui a été accumulée) et donc potentiellement toxique ;
- le biote permet une mesure intégrée dans le temps, sur la période d'exposition.

Il existe deux stratégies de biosurveillance : active et passive. L'approche passive s'appuie sur l'utilisation d'organismes autochtones, tandis que l'approche active repose sur la transplantation sur différents sites d'organismes encagés provenant d'une population de référence, naturelle ou issue d'élevages. La surveillance passive a été la première démarche à avoir vu le jour, notamment en milieu marin, avec les programmes « *Mussel Watch* » en Amérique du Nord et le programme « Réseau national d'observation » (ROCCH)³ en France (i.e. utilisation de moules ou d'huitres). Ces réseaux de surveillance bénéficient aujourd'hui de plus de vingt ans d'expérience et répondent au suivi imposé par la DCE. Toutefois cette approche présente deux contraintes majeures :

- elle impose la présence de l'organisme modèle sur les sites d'étude ;
- plusieurs facteurs (variabilité du temps d'exposition, histoire de vie de l'organisme modèle, l'âge et la taille des organismes prélevés, leur statut reproducteur) impactent le niveau de contamination mesuré et par conséquent compliquent la comparaison et l'interprétation des résultats de la surveillance.

Enfin, l'utilisation d'espèces différentes pour assurer une surveillance à l'échelle des territoires impose d'intercaler les résultats afin de pouvoir comparer les stations entre elles.

L'approche active basée sur la transplantation d'espèces dans les milieux a été développée plus récemment dans le but de « calibrer » les organismes utilisés comme sonde d'accumulation et de contrôler la durée d'exposition. Elle permet ainsi une comparaison fiable et quantitative des niveaux de contamination entre les stations d'études, à large échelle, et ainsi de les prioriser (classement selon

leur contamination). Cette approche peut être appliquée même si les stations d'étude sont dépourvues d'organismes autochtones. Elle permet de limiter la variabilité biologique au sein des organismes modèles puisqu'ils sont issus d'une même population et que les facteurs biologiques comme la taille et le sexe sont contrôlés. De plus, l'historique et le temps d'exposition sont parfaitement connus et maîtrisés. Cette stratégie offre une reproductibilité de la démarche, point essentiel pour permettre un suivi des tendances spatiales et au cours du temps. Si certains programmes de biosurveillance active ont été mis en œuvre dans le milieu marin (Rinbio)⁴, aucune approche de ce type n'avait été menée sur une grande échelle en eaux continentales avant les travaux sur le gammare.

Dans le cadre de programmes de recherche et développement soutenus notamment par l'Office français de la biodiversité (OFB), les équipes d'écotoxicologie et de chimie de INRAE-Lyon ont développé une méthode de biosurveillance active à l'aide du crustacé amphipode, *Gammarus fossarum* (figure ❶). La démarche, schématisée en figure ❶, repose sur l'utilisation d'une population naturelle produite en milieu non contaminé. Elle consiste à sélectionner les organismes modèles, ici des individus mâles de taille homogène, de les placer dans des chambres d'exposition qui seront installées directement dans le milieu, sur les stations d'intérêt, dans une caisse ou un seau de protection selon le gabarit du cours d'eau. À l'issue de cette période d'exposition *in situ*, les organismes sont récupérés et stockés au congélateur en attendant qu'ils soient utilisés pour l'analyse chimique de plusieurs familles de contaminants, notamment les substances prioritaires.

Aujourd'hui, cette méthodologie est normalisée (AFNOR, XP T90-721), reconnue et utilisée par l'ensemble des agences de l'eau pour la surveillance chimique de masses d'eau. Ce suivi s'organise autour de trois déploiements par an (hiver, printemps et automne). Cette surveillance active, mise en place à l'échelle nationale depuis 2018 représente aujourd'hui (mars 2021) plus de 1 300 déploiements.

Les NQE dans le biote sont fixées par la directive fille de 2013 (Directive 2013/39/UE) avec la matrice poisson comme référence pour onze substances et la matrice crustacé pour sept substances (benzo(a)pyrène,

2. BESSE, J.P., GEFFARD, O., COQUERY, M., 2012, Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the Water Framework Directive, *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 36, p. 113-127, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2012.04.004>

3. <https://wwz.ifremer.fr/lerpc/Activites-et-Missions/Surveillance/ROCCH>

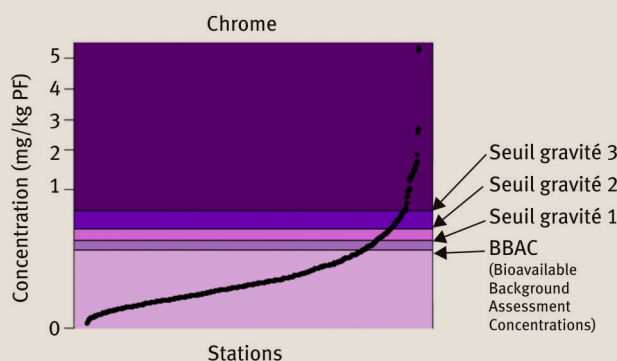
4. <https://wwz.ifremer.fr/webtv/Campagnes-a-la-mer/Rinbio>

► benzo(*g,h,i*)perylene, benzo(*k*)fluoranthène, benzo(*b*)fluoranthène, indéno(1,2,3-*cd*)pyrène, fluoranthène, phtalate de di-2-éthylhexyle). Pour ces substances, le niveau de contamination dans les gammars encagés est ajusté à une teneur en lipide de 1 % puis est comparé à la NQE associée afin de statuer sur la conformité ou pas de la masse d'eau en terme d'état chimique. Pour les autres substances dont la matrice de référence est le poisson, les concentrations mesurées dans les gammars ne peuvent pas être directement utilisées pour qualifier l'état chimique. C'est pourquoi, pour inférer le risque de dépassement des NQE biote vis-à-vis du poisson (situé à un niveau trophique plus élevé), des équations d'ajustement ont été définies (European Commission, 2014). Ces calculs permettent de prédire les concentrations attendues dans des poissons à partir des concentrations mesurées dans des organismes de niveaux trophiques inférieurs (tel que le gammare) par l'application de facteurs d'amplification trophique (TMF, *Trophic Magnification Factor*). Les TMF représentent le niveau de bioamplification moyen d'une substance tout au long d'une chaîne trophique donnée. Ainsi, il est possible de prédire le niveau de concentration d'une substance prioritaire dans un poisson de niveau trophique 4 (imposé par la DCE) à partir des concentrations mesurées dans les gammars encagés, et ensuite de le confronter à la NQE-poisson associée.

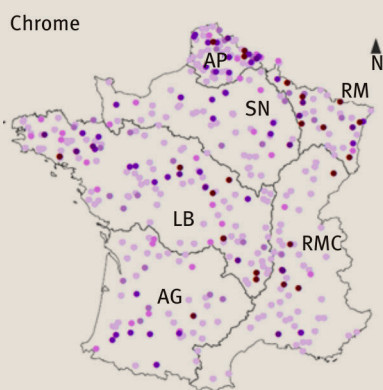
La biosurveillance pour qualifier la contamination chimique biodisponible des milieux aquatiques

Au-delà de l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau au travers leur conformité ou non aux NQE, la biosurveillance active est un outil qui permet de qualifier leur niveau de contamination pour de nombreux contaminants autres que les substances prioritaires. Aujourd'hui, chez le gammare encagé, plus d'une centaine de substances chimiques sont recherchées et quantifiées avec des occurrences comprises entre 20 et 100 %. Cette approche a permis de proposer des valeurs seuils de contamination biodisponible (BBAC : *Bioavailable Background Assessment Concentrations*) offrant aux gestionnaires un outil pour évaluer le niveau de contamination des stations suivies par la substance étudiée. Cette valeur de BBAC correspond à la limite supérieure au-dessus de laquelle une contamination biodisponible significative d'origine anthropique ou géochimique (pour les métaux) est avérée (figure 2a). En dessous de cette BBAC, la concentration mesurée dans le gammare encagé est similaire au niveau bas national (BBC : *Bioavailable Background Concentration*), indiquant que le site ne présente pas de sources directes de contamination biodisponible pour la substance considérée. La méthode utilisée pour définir ces valeurs seuils est basée sur l'hypothèse, pour une substance donnée, que les concentrations dans les organismes suivent une distribution normale quand on considère l'ensemble des stations dépourvues de toute pression. Aujourd'hui, une BBAC a été définie pour une soixantaine de substances chimiques (métaux, HAP, PCB et composés perfluorés). Pour aller plus loin, nous avons défini une grille d'interprétation des données (Brevet FR3079526, 2019)⁵ permettant d'apprécier l'amplitude de cette contamination le cas échéant. Pour chaque substance disposant d'une BBAC, nous avons défini trois seuils de gravité. Ces seuils correspondent respectivement aux 1^{er}, 2^e et 3^e quartiles des concentrations observées en situation contaminée, c'est-à-dire supérieures à la BBAC. La figure 2a illustre le résultat pour le chrome, avec la BBAC qui délimite la zone où les stations sont non contaminées. Au-dessus de cette BBAC, le seuil de gravité 1 sépare les zones contamination faible (correspondant aux 25 % des stations les moins contaminées au niveau national) et contamination modérée (inférieure à la médiane de contamination). Le seuil de gravité 2 (médiane des stations contaminées) délimite les zones contamination modérée et forte. Enfin, le dernier seuil de gravité (3^e quartile) délimite les deux dernières zones, contamination forte et très forte (correspondant aux 25 % des stations les plus contaminées au niveau national). Cette grille offre aux gestionnaires la possibilité de cartographier et de prioriser les stations en fonction de leur niveau de contamination biodisponible (figure 2b), de compléter/consolider l'évaluation de l'état des masses d'eau et ainsi de cibler les stations pour lesquelles un aménagement ou une action permettrait d'améliorer leur qualité pour une substance donnée.

2a. Illustration avec le chrome (Cr) de la méthode pour déterminer la BBAC (*Bioavailable Background Assessment Concentrations*) et les trois seuils de gravité, à partir des concentrations en Cr mesurées dans les gammars encagés sur environ 400 stations réparties au niveau national.



2b. Représentation nationale des concentrations en chrome observées dans les gammars encagés et qualifiées à l'aide de la BBAC et des valeurs seuils de gravité.



5. Méthode d'élaboration d'une classification pour hiérarchiser un niveau de pollution d'un milieu aquatique à partir d'une population de gammars, <https://bases-brevets.inpi.fr/fr/document/FR3079526.html?p=5&s=1592385617295&cHash=191ffaa42b8e1c806a701accd7fe63c1>

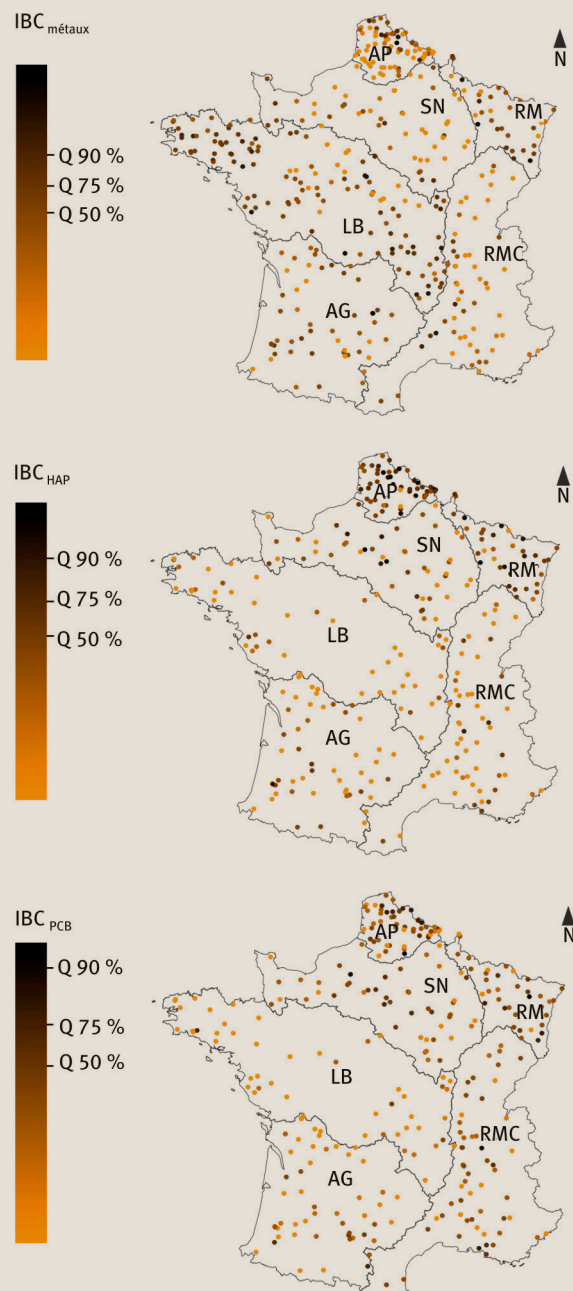
Prédire le danger de la contamination chimique des milieux aquatiques

Mieux prédire ou diagnostiquer le danger que représente la contamination chimique pour les communautés en place, notamment d'invertébrés, est un enjeu fort pour les gestionnaires. Les outils de bioindication utilisés aujourd'hui par les agences de l'eau permettent de qualifier l'état écologique des masses d'eau, en réponse aux exigences de la DCE, mais identifier l'origine des perturbations observées est essentielle à la mise en place d'aménagements appropriés. Les communautés d'invertébrés répondent à une large gamme de stress, physique (habitat), trophique, biologique ou chimique. Mieux comprendre et décrire l'effet de la pression chimique sur la structure des populations/communautés est un enjeu fort sur lequel l'équipe d'écotoxicologie d'INRAE travaille depuis plusieurs années en collaboration avec l'équipe EcoFlowS et le soutien de l'OFB et de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse.

La contamination des milieux aquatiques est rarement mono-substance, les sources de contamination/rejets sont très souvent constitués d'un mélange de substances chimiques d'une même famille, voire de plusieurs familles. La qualification d'une masse d'eau à l'aide d'un indice mono-substance, bien qu'essentielle pour identifier les contaminants problématiques (figure 2), n'offre pas la vision d'ensemble et intégrée nécessaire à l'étude des liens entre contamination chimique et impacts sur les populations et communautés en place. Pour mieux représenter et caractériser la contamination des cours d'eau, nous avons développé un indice multi-substances permettant d'intégrer les concentrations observées dans les gammes encagés et ceci pour chaque groupe ou famille de contaminants ; les métaux, les HAP et les PCB⁶. Un point fort pour le développement de cet indice a été de tenir compte du niveau de contamination bas national et des gammes de concentrations très variables d'une substance chimique à l'autre. Pour ceci, nous avons utilisé les BBAC disponibles et proposé un indice multi-substances (IBC = *Indicator of Integrated bioavailable Contamination*). L'IBC calculé pour chaque station étudiée repose, pour tous les contaminants, sur les concentrations observées dans les organismes encagés qui dépassent la BBAC. Les différences de gamme de concentrations observées entre substances sont intégrées en normalisant les concentrations observées par rapport à l'amplitude des concentrations documentée au niveau national.

La figure 3 illustre le calcul d'IBC pour les métaux, les HAP et les PCB et son utilisation pour qualifier la contamination des cours d'eau à l'échelle nationale. En considérant dans l'IBC seulement les concentrations supérieures aux valeurs seuils BBAC définies et en pondérant ces concentrations en fonction de la gamme des valeurs de concentration observées à l'échelle nationale, cela fournit une approche permettant de graduer et de comparer de manière fiable les niveaux de contamination biodisponible dans les cours d'eau. Pour les métaux, cette approche globale montre que les niveaux de contamination sont répartis de façon homogène au niveau national. Toutefois, de forts niveaux de contamination (IBC) observés sur une partie du bassin de Loire-

3 Représentation des indices de contamination biodisponible (IBC) calculés pour la famille des métaux, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB) à partir des données de concentrations mesurées sur des gammes encagés sur 400 et 300 stations respectivement pour les métaux et les substances organiques et réparties au niveau national. Le gradient de couleur indique le niveau de la contamination chimique (IBC) de chaque station, sa distribution par rapport à la gamme des concentrations observée au niveau national. Les délimitations géographiques représentent les limites de six agences de l'eau françaises : Adour-Garonne (AG), Artois-Picardie (AP), Loire-Bretagne (LB), Rhin-Meuse (RM) et Rhône-Méditerranée-Corse (RMC).



6. ALRIC, B., GEFFARD, O., CHANDESIS, 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, *Environmental Science and Technology*, 53(10), p. 5906-5915, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b01271>

► Bretagne, Rhin-Meuse et Rhône-Méditerranée-Corse peuvent être associés aux caractéristiques physico-chimiques des cours d'eau, avec des eaux faiblement calciques. La physico-chimie de l'eau, notamment le niveau calcique, joue en effet un rôle clé dans la biodisponibilité, et donc la bioaccumulation, de plusieurs métaux comme le cadmium, le nickel et le plomb. Plus finement, au sein d'une même hydroécocorégion caractérisée par des eaux peu calciques, par exemple la partie occidentale du bassin Loire-Bretagne, à côté du cobalt et du nickel présents sur l'ensemble des sites, les profils de contamination (concentrations en chaque métal) entre stations divergent fortement, notamment pour l'uranium, le cadmium, le plomb ou encore le chrome, suggérant des sources de contamination métallique différentes.

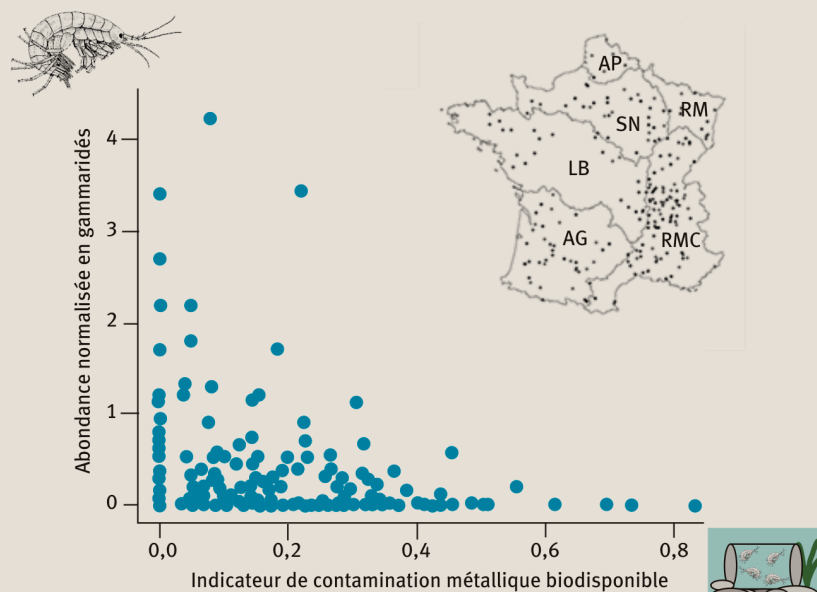
Pour les substances organiques, ces travaux montrent une répartition moins homogène que ce que l'on a pu observer pour les métaux. Les bassins Artois-Picardie et Rhin-Meuse sont particulièrement marqués par une contamination en HAP, avec une occurrence des niveaux forts d'IBCHAP plus élevée que pour les autres bassins. Pour les PCB, les forts niveaux de contamination (IBCPCB) ont une occurrence plus élevée dans l'est de la France que dans l'Ouest, notamment pour les bassins Artois-Picardie, Seine-Normandie, Rhin-Meuse et Rhône-Méditerranée-Corse.

Dans la littérature, l'établissement de relations entre la contamination chimique des milieux aquatiques et l'impact au niveau des communautés a été essentiellement testé dans le cadre d'études locales (rivières et bassin versants) et pour des sources de contamination bien caractérisées telles que des rejets miniers ou pollutions agricoles. Le développement de l'IBC a permis d'établir, à large échelle spatiale, une relation entre la

contamination chimique biodisponible (mesurée à partir de gammares encagés) et une réponse de la communauté. La figure 4 illustre la relation qui a été établie entre le niveau de contamination des cours d'eau en métaux (IBC-métaux calculés sur des gammares encagés) et l'abondance des populations de gammaridés sur ces mêmes stations. Pour établir ce lien, les informations sur l'abondance en gammares ont été obtenues à l'aide des bases de données constituées à partir des suivis de l'état écologique (inventaires faunistiques) réalisés par les agences de l'eau. L'abondance de nombreux taxons, notamment des gammares, est naturellement influencée par plusieurs variables que sont principalement le niveau calcique et la taille du cours d'eau. Ainsi chaque valeur d'abondance en gammares observée sur le terrain a été normalisée par un coefficient de référence établi à l'aide des données issues du réseau de référence pérenne pour la DCE.

Les résultats obtenus pour les métaux (figure 4) montrent qu'il existe une relation entre la concentration biodisponible en métaux, mesurée en biosurveillance à l'aide de gammares encagés, et l'abondance moyenne en gammares sur les stations étudiées. Cette relation met en évidence que la contamination en métaux peut être une variable explicative de la diminution des abondances en gammares observée pour les masses d'eau les plus contaminées. Ces résultats montrent également qu'il est possible d'établir un seuil de contamination biodisponible en métaux, au-delà duquel un impact/danger pour les populations présentes est probable, offrant ainsi aux gestionnaires la possibilité d'interpréter les données de contamination métallique, via la biosurveillance active chez le gammare, en termes de risque toxique pour les populations présentes sur les stations étudiées.

4 Abondances en gammares, corrigées en fonction de la typologie de la rivière, selon la contamination biodisponible en métaux (indice de contamination métallique biodisponible, IBC-métaux) sur 200 stations étudiées et expérimentées au niveau national.



1 Le biomonitoring actif, un outil pour mieux comprendre l'impact
de la contamination chimique sur les écosystèmes.



© INRAE

Conclusion

Les travaux menés chez *G. fossarum* montrent que l'approche de biomonitoring active constitue un outil de choix pour répondre aux exigences de la DCE, la conformité des masses d'eaux vis-à-vis des NQE pour les substances prioritaires, mais également pour qualifier la contamination des milieux pour un grand nombre d'autres composés d'intérêt que les substances prioritaires. Les perspectives de ces travaux sont d'élargir la liste de composés recherchés à des substances chimiques plus émergentes tels que les retardateurs de flammes, les plastifiants ou encore les médicaments. Enfin, l'approche de biomonitoring active offre l'opportunité d'établir un lien entre la pression chimique et son impact sur les populations et les communautés. Ce travail initié doit permettre à terme, et pour différentes familles de composés chimiques, d'établir des seuils de contamination à ne pas dépasser afin de préserver les populations d'invertébrés aquatiques. ■

Les auteurs

Olivier GEFARD, Marina COQUERY,
Rémi RECOURA-MASSAQUANT,
Martial FERREOL et Arnaud CHAUMOT

INRAE, UR RiverLy,
5 rue de la Doua, CS 20244, F-69625 Villeurbanne,
France.

✉ olivier.geffard@inrae.fr

✉ marina.coquery@inrae.fr

✉ remi.recoura-massaquant@inrae.fr

✉ arnaud.chaumot@inrae.fr

Olivier PERCEVAL

Office français de la biodiversité,
Direction de la recherche et de l'appui scientifique,
12 cours Lumière, F-94300 Vincennes, France.

✉ olivier.perceval@ofb.gouv.fr

Dorothee BOLZAN

Agence de l'eau Artois Picardie,
200 rue Marceline, F-59508 Douai, France.

✉ d.bolzan@eau-artois-picardie.fr

Xavier BOURRAIN

Agence de l'eau Loire-Bretagne,
9 avenue Buffon, F-45063 Orléans, France.

✉ xavier.bourrain@eau-loire-bretagne.fr

Jean-Pierre REBILLARD

Agence de l'eau Adour-Garonne,
90 rue de Férétra, F-31078 Toulouse, France.

✉ jean-pierre.rebillard@eau-adour-garonne.fr

Lionel NAVARRO

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse,
2-4, Allée de Lodz, F-69363 Lyon, France.

✉ lionel.navarro@eaurnc.fr

Miguel NICOLAI

Agence de l'eau Rhin-Meuse, route de Lessy,
Rozérieulles, F-57161 Moulins les Metz, France.

✉ miguel.nicolai@eau-rhin-meuse.fr

Baptiste CASTEROT

Agence de l'eau Seine-Normandie,
51 rue Salvador Allende, F-92027 Nanterre, France.

✉ casterot.baptiste@aesn.fr

Bertrand VILLENEUVE

INRAE, UR EABX, 50 avenue de Verdun,
F-33612 Cestas Cedex, France.

✉ bertrand.villeneuve@inrae.fr

EN SAVOIR PLUS...

GEWURTZ, S.B., BACKUS, S.M., BHAVSAR, S.P., MCGOLDRICK, D.J., DESOLLA, S.R., MURPHY, E.W., 2011, Contaminant biomonitoring programs in the Great Lakes: Review of approaches and critical factors, *Environ. Rev.*, 19, p. 162-184, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.08.018>

EUROPEAN COMMISSION, 2014, *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance Document n° 32 On Biota Monitoring (the implementation of EQS Biota) under the Water Framework Directive*, Technical Report, 2014-083, 87 p., <https://op.europa.eu/s/pLlg>

RECOURA-MASSAQUANT, R., GEFFARD, O., BESSE, J.P., CHAUMOT, A., FRANCOIS, A., LOPES, C., MIEGE, C., ROUSSEL-GALLE, A., SERVETO, F., COQUERY, M., 2014, *Développement d'une méthodologie pour l'amélioration du suivi chimique des eaux continentales. Rapport de synthèse de l'étude pilote : déploiement de l'outil gammare engagé au niveau national, résultats pour les substances organiques ciblées*, 66 p.

GEFFARD, O., ALRIC, B., CHANDESRIS, A., FERRÉOL, M., FRANÇOIS, A., PIFFADY, J., VILLENEUVE, B., CHAUMOT, A., 2019, *Lien entre la toxicité, la contamination des milieux aquatiques mesurés chez Gammarus fossarum et la perturbation des communautés biologiques : Indicateurs de la contamination biodisponible des eaux douces, Fiche action 48, Agence française de la biodiversité*, 35 p.