



HAL
open science

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.

Olivier Geffard, Benjamin Alric, André Chandesris, Martial Ferréol, Adeline François, Jeremy Piffady, Bertrand Villeneuve, Arnaud Chaumot

► **To cite this version:**

Olivier Geffard, Benjamin Alric, André Chandesris, Martial Ferréol, Adeline François, et al.. 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.. [Rapport de recherche] INRAE. 2019. hal-03799780

HAL Id: hal-03799780

<https://hal.inrae.fr/hal-03799780v1>

Submitted on 6 Oct 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.



Programme 2016/2018 – Thème *Risques liés à la contamination chimique des milieux aquatiques* - Action n° 48



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.

Rapport final

Olivier Geffard, Benjamin Alric, André Chandesris, Martial Ferréol Adeline François, Jeremy Piffady, Bertrand Villeneuve, Arnaud Chaumot (Iristea Lyon)

Février 2019

- **AUTEURS**

Laboratoire d'écotoxicologie, UR RiverLy, Irstea Lyon-Villeurbanne

Olivier Geffard, directeur de recherche (Irstea), olivier.geffard@irstea.fr

Benjamin Alric, post-doctorant (Irstea), benjamin.alric@irstea.fr

Adeline François, Ingénieur d'étude (Irstea), adeline.francois@irstea.fr

Arnaud Chaumot, chargé de recherche (Irstea), arnaud.chaumot@irstea.fr

Laboratoire d'hydroécologie quantitative, UR RiverLy, Irstea Lyon-Villeurbanne

André Chandesris, IAE (Irstea), andré.chandesris@irstea.fr

Jeremy Piffady, IPEF (Irstea), jeremy.piffady@irstea.fr

Bertrand Villeneuve, Ingénieur de recherche (Irstea), martial.ferreol@irstea.fr

Martial Ferréol, Ingénieur d'étude (Irstea), martial.ferreol@irstea.fr

- **CORRESPONDANTS**

AFB : Olivier Perceval, DAST (AFB), olivier.perceval@afb.fr

Partenaire : Olivier Geffard, Directeur de recherche (Irstea), olivier.geffard@irstea.fr

Droits d'usage : [par ex. accès libre ou accès réservé à XXX]

Niveau géographique : [un seul choix entre : mondial, national, régional, départemental, communal]

Couverture géographique : [administrative : indiquer le ou les pays, région, département ou commune ; citations locales : indiquer les noms de cours d'eau, plan d'eau, masse d'eau, bassin hydrographique]

Niveau de lecture : [plusieurs choix possibles entre : scolaires, citoyens, professionnels, experts]

[Les rubriques propres au partenaire (visa par ex.) peuvent être insérer dans cette page ou ajouter sur une page supplémentaire]



- **RESUME**

Identifier les sources/origines de dégradations des milieux aquatiques, comme la contamination, est un point crucial pour leur gestion et notamment définir des stratégies de restauration adaptées. L'évaluation des impacts écologiques liés à la contamination impose de développer et proposer des outils permettant d'établir des liens entre la contamination chimique et les effets écologiques. La surveillance par biomonitoring actif, à l'aide d'encagement d'organismes contrôlés, est une approche pertinente pour d'une part caractériser et suivre la contamination biodisponible des milieux à l'échelle nationale et d'autre part estimer le danger toxique du milieu pour les populations en place. Dans nos précédents travaux, nous avons montré, au niveau national, qu'il existait un lien entre la contamination biodisponible du milieu, mesurée dans des gammars encagés, et l'abondance de gammars dans les milieux. Ainsi, pour 3 éléments métalliques, il a été possible de construire un lien entre la pression chimique et l'abondance de gammars et ceci à l'échelle nationale. Si ces travaux constituent la preuve de concept qu'il est possible d'établir de tel lien, en revanche ils ne constituent pas, en l'état, une sortie opérationnelle pour la gestion des milieux. Il n'est pas envisageable d'établir ce type de relation pour l'ensemble des contaminants présents ou susceptibles d'être présents dans les milieux aquatiques. Dans la même veine, il n'est pas envisageable de piloter ou gérer la problématique de la contamination chimique des milieux à l'aide d'approches élément par élément. En se basant sur l'encagement de gammars, l'objectif de cette étude est de développer un indicateur multi-contaminants permettant d'évaluer et caractériser la contamination chimique biodisponible des milieux aquatiques. Il s'agit de proposer un indicateur intégrant l'ensemble des composés inorganiques et un indicateur pour l'ensemble des composés organiques, recherchés et quantifiés chez le gammare (notamment dans le cadre des suivis DCE). Pour ceci, nous avons exploité les données acquises dans le cadre de projets antérieurs portés par l'équipe d'écotoxicologie de Irstea-lyon et celles issues de programmes de surveillance mandatés par les agences de l'eau et pour lesquels le protocole développé et utilisé par notre équipe a été mis en place, au travers de travaux confiés au bureau d'étude Biomae. Tout d'abord, un travail de bancarisation a été mené pour construire et valider une base de données sur la contamination des gammars encagés. La construction des indicateurs passe par la détermination d'une valeur de BBAC (Bioavailable Background Assessment Concentration) pour le maximum de composés disponibles, *i.e.* teneur en un composé au-dessus de laquelle une contamination supérieure au niveau bas national est avérée. L'indicateur a pour but d'intégrer les teneurs en contaminant pour lesquelles les valeurs seuils associées sont dépassées, pour définir la pression chimique présente sur chaque site, à partir des contaminants recherchés. Dans cette étude, les indicateurs de la multi-contamination biodisponibles ont été utilisés pour réaliser une cartographie à l'échelle nationale de la qualité chimique, inorganique et organique des sites pour lesquels des données de contamination sur gammars encagés est aujourd'hui disponible. Les travaux menés dans cette étude offrent une méthodologie de calcul comme indicateur pour déterminer le niveau de contamination biodisponible d'un milieu, en intégrant l'ensemble des composés mesurés dans les organismes encagés. Cet outil permet de façon originale de déterminer le niveau de contamination des cours d'eau, ceci à une large échelle spatiale (nationale). La force de disposer d'un indicateur, c'est-à-dire de convertir de nombreuses mesures en une « note », est de pouvoir, au travers d'un système gradué, qualifier les sites les uns par rapport aux autres et identifier les milieux les plus soumis à une contamination biodisponible et/ou les plus vulnérables

- **MOTS CLES (PRESSION CHIMIQUE, INORGANIQUE, ORGANIQUE, BIOMONITORING ACTIF, INDICATEUR DE PRESSION, NATIONAL)**



RELATIONSHIP BETWEEN TOXICITY, BIOAVAILABLE METALS CONTAMINATION MEASURED IN CAGED *GAMMARUS FOSSARUM* AND DISTURBANCE OF COMMUNITIES

BIOAVAILABLE CONTAMINATION INDICATORS OF FRESHWATER SYSTEMS

- **ABSTRACT**

Evaluating the effects of contamination in aquatic ecosystems is essential to improve management strategies and requires tools establishing quantitative links between exposure to chemical contaminants and impairments of biological communities. Active biomonitoring (caged organisms transplantation) has been proposed as a relevant approach to both characterize and evaluate the bioavailable contamination levels of aquatic systems and to assess its toxic hazard towards native populations. Recently, the active biomonitoring with caged gammarids has been successfully carried out at the French national scale to disclose the possible link between exposure to three metallic contaminants and native gammarid densities, highlighting the structuring role of a bioavailable chemical contamination towards aquatic populations. Nevertheless, in terms of management, the establishment of such relationships for each contaminant can be inefficient to quantify the link between contamination gradient and ecological degradation as the exposure to multiple contaminants seems to be the rule rather than the exception. In the same vein, the problematic of chemical contamination of aquatic systems should not be conducted using element-by-element approaches. This study aimed at proposing multi-substances indicator, based on the aggregation of concentrations accumulated by caged gammarids biomonitored, to demonstrate their relevance for mapping the contamination level of aquatic systems. This work benefited from caged-gammarid contamination data acquired in the WFD regulatory context by French regional environmental agencies, considering 18 metallic compounds and 43 persistent organic pollutants (POPs) for proposing a metal and an organic multi-substances indicator. For this, bioavailable chemical contamination data (contamination levels in gaged *G. fossarum*) acquired either by French regional environmental agencies in the WFD context, or through additional research programs carried on by our own laboratory have been capitalized. Aiming to represent the global contamination pressure on aquatic ecosystems, indices of integrated bioavailable contamination are proposed, one for metals and one for POPs and calculated for each studied site. Multi-substances indicator takes into account contamination levels observed in caged organisms in regard to a threshold value determined for each compound (BBAC: bioavailable background assessment concentrations), value above which a contamination is significant. Consequently, first the BBACs for all elements considered in the present study were determined with the present national database. From this, the indices computed in a given site consider only compounds whose concentrations recorded in *G. fossarum* exposed in this site significantly exceed their respective BBAC. Thanks to the developed multi-substances indicators, we sought to establish a global snapshot of metallic and POP bioavailable contamination of watercourses at the national scale. This study provides a methodology to propose indicators to assess the bioavailable contamination levels of aquatic systems, at national scale, using all contaminants measured in caged gammarids. An indicator that integrates all contamination data obtained in gammarids caged on one site, through a "score", constitute the opportunity to rank them in regard to their global contamination levels and to identify the most degraded or the most vulnerable of them.

- **KEY WORDS (THEMATIC AND GEOGRAPHICAL AREA)**

- **SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE**

Contexte général

Le rejet de contaminants chimiques dans les milieux aquatiques ces dernières années est devenu une préoccupation forte étant donné leur persistance, leur accumulation dans les organismes et leurs effets toxiques potentiels, pouvant compromettre, dans le futur, les services des écosystèmes rendus à l'homme, voire constituer un danger pour lui. Dans ce contexte, la mesure ou le suivi de la contamination chimique dans les organismes vivants s'est montrée plus informative que l'étude des profils de contamination dans l'eau ou les sédiments, car elle renseigne la fraction biodisponible correspondant à la fraction toxique pour les organismes. Récemment, le biomonitoring actif a été proposé pour la surveillance de la contamination chimique des milieux en réponse aux exigences de la DCE. Cette approche assure i) la présence de l'espèce d'intérêt sur n'importe quelle station à suivre, ii) l'utilisation d'organismes tests calibrés selon leur origine, leur espèce, leur taille, leur sexe et leur statut de reproduction et enfin iii) le contrôle de la durée d'exposition, garantissant ainsi un suivi fiable des tendances spatiale et temporelle.

Le gammaré *Gammarus fossarum*, espèce clé des écosystèmes d'eau douce européens et connue pour sa capacité à accumuler les contaminants chimiques, au travers de son utilisation par encagement, est aujourd'hui reconnu comme un outil pertinent pour évaluer la contamination chimique des milieux. L'encagement de gammarés est aujourd'hui inscrit comme outil disponible pour la biosurveillance¹, et pour lequel une norme est aujourd'hui disponible (XP T 90-721). Toutefois, identifier la contamination chimique comme source/origine de la dégradation et de l'impact observé sur les milieux aquatiques impose de pouvoir établir des liens entre la contamination chimique et les effets écologiques. Plusieurs études ont fait la preuve de concept qu'il était possible d'établir une relation entre le niveau de contamination en un contaminant métallique dans le biote et l'abondance de macroinvertébrés reconnus comme sensibles aux métaux. Ces études se sont intéressées à des bassins hydrographiques précis et des sources de contamination très bien identifiées, comme les rejets miniers. Plus récemment, et à l'aide du biomonitoring actif (encagement de *G. fossarum*), le laboratoire d'écotoxicologie de Irstea-Lyon a montré, pour quelques métaux, qu'il était possible de construire un tel lien entre la pression chimique et l'abondance de gammarés à l'échelle nationale. Si ces travaux mettent clairement en évidence le rôle structurant qu'un contaminant peut avoir sur la diversité / l'abondance d'espèces sensibles, toutefois en terme de gestion et d'évaluation d'impact de la contamination chimique sur les communautés, l'établissement de ce type de relations à partir de contaminants pris individuellement s'avère peu pertinente en terme d'outils d'aide à la gestion des milieux aquatiques.

Objectifs

En se basant sur l'encagement de gammarés, l'objectif de cette étude est de développer un indicateur multi-contaminants permettant d'évaluer et caractériser la pression chimique des milieux aquatiques. Il s'agit de proposer d'une part un indicateur intégrant l'ensemble des composés inorganiques et d'autre part un indicateur pour l'ensemble des composés organiques, recherchés et quantifiés chez le gammaré. Pour ceci, nous avons bénéficié de données acquises dans le cadre de projets antérieurs portés du laboratoire d'écotoxicologie de Irstea-Lyon et de programmes de surveillance mandatés par les agences de l'eau et pour lesquels le protocole développé et utilisé par notre équipe a été mis en place, au travers de travaux confiés au bureau d'étude Biomae. Dans un premier temps, un travail de bancarisation a été mené pour

¹ European Commission 2014. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance Document No. 32 On Biota Monitoring (the implementation of EQS Biota) under the Water Framework Directive. Technical Report - 2014 - 083.

construire et valider une base de données sur la contamination de gammarens encagés. Pour la construction des indicateurs, une valeur de BBAC (Bioavailable Background Assessment Concentration) est déterminée pour un maximum de composés mesurés dans les gammarens, correspondant à la teneur au-dessus de laquelle une contamination est avérée. Enfin, ces indicateurs de la multi-contamination biodisponibles sont utilisés pour réaliser une cartographie, à l'échelle nationale, de la qualité chimique des sites pour lesquels des données de contamination dans des gammarens encagés sont disponibles.

Méthodologie

Construction de la base de donnée :

La base de données repose sur des encagement de gammarens (7 jours) menés entre novembre 2009 et mai 2016 sur 218 stations (à une ou plusieurs dates) réparties au niveau national, donnant lieu à 313 et 196 points d'échantillonnage pour lesquels les teneurs en composés métalliques et/ou organiques ont été mesurées. Ces données proviennent de projets antérieurs portés par l'équipe d'écotoxicologie, Irstea-Lyon, via notamment des financements par l'AFB (fiches actions 25 de 2008 à 2010 et 44 de 2013 à 2015), l'agence de l'eau Seine-Normandie (projet Biomarqu'Indic de 2012 à 2014) et l'ANR (Gamma 2012-2015 et Multistress 2015-2017). Elles proviennent également de programmes de surveillance mis en place par les agences de l'eau (AEAP, AEAG et AERMC) à partir d'encagement de gammarens (contrats réalisés par Biomae) entre 2015 et 2016.

Indicateur multi-contaminants :

Un indicateur a été développé pour les deux grands types de contamination, les métaux et les polluants organiques. Il consiste en l'intégration des teneurs en contaminants observées pour les composés ayant une teneur supérieure à la valeur de BBAC associée.

Par conséquent, la première étape a été de déterminer une valeur de BBAC pour chaque contaminant mesuré dans les gammarens lorsque ceci était possible. Une BBAC peut être déterminée lorsqu'un nombre suffisant de valeurs quantifiées par composé est disponible et que celles-ci représentent des situations contaminées et non contaminées. L'approche utilisée pour calculer la BBAC est celle présentée dans Besse et al. (2013). Elle est basée sur l'hypothèse que, pour une substance donnée, les concentrations observées dans les organismes encagés sont distribuées selon une loi normale si les sites d'exposition sont dépourvus de tout apport de contaminations biodisponibles. Succinctement, pour chaque substance, les stations sont classées par niveaux de concentration croissante dans les organismes encagés afin de tester si l'ensemble des données suit une distribution gaussienne, en utilisant le test de normalité de Shapiro-Wilk. Si ce n'est pas le cas, la station la plus contaminée est retirée du jeu de données et la normalité est testée de nouveau. Ce processus itératif est mené jusqu'à l'obtention d'un jeu de données distribuées normalement. La BBAC pour la substance considérée correspond alors au 95^{ième} percentile de la distribution gaussienne obtenue. A partir de la base de données nationales constituée pour l'étude, une BBAC a ainsi pu être déterminée pour 18 métaux (Annexe 1) et 43 composés organiques (Annexe 2).

La philosophie pour la construction de l'indicateur est de ne considérer comme contributeurs, pour un site donné, que les composés dont la concentration dépasse significativement la BBAC et de pondérer cette contribution par le niveau de contamination moyen pour le composé considéré, ceci afin d'éviter les effets d'échelle entre composés. L'indicateur multi-contaminant est calculé selon la formule suivante :

$$I = \frac{\sum_{k=1}^n \sqrt{\frac{a_k > BBAC_k}{\varphi_k}}}{n}$$

a_k est la concentration mesurée dans les gammarens encagés pour un composé k et ayant une valeur supérieure à la BBAC. φ_k est la moyenne entre la valeur de BBAC pour ce composé k et le 90^{ième} percentile des concentrations obtenues sur l'ensemble des stations. n est le nombre total de contaminants intégrés.

Principaux résultats acquis

Niveaux de contamination des gammars encagés

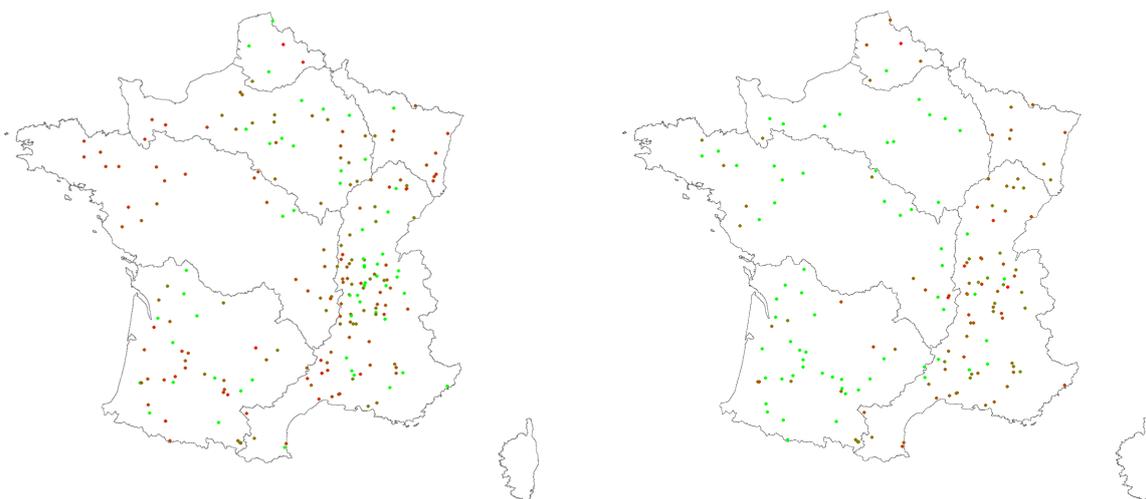
Grace à la mise en place d'une collaboration avec le LDA26, aujourd'hui dix-huit éléments métalliques sont quantifiés dans le gammare. Les limites de quantification proposées aujourd'hui sont similaires à celles obtenues dans nos précédentes études (avec des laboratoires académiques ; Geffard *et al.*, 2014), avec une variabilité inférieure à un facteur 2, excepté pour le Hg où la LQ est 5 fois plus élevée actuellement et pour le Se où à l'inverse elle est de 0.1 µg/g de poids sec contre 2.7 dans nos précédents travaux. Les ratios entre valeurs maximale et minimale sont plus élevés dans cette présente étude montrant que l'enrichissement de notre base de données à partir des travaux récemment mandatés par les agences de l'eau permet de mieux couvrir la diversité de concentrations existantes au niveau national. Enfin, les fréquences de quantification sont comprises entre 90 et 100%, excepté pour le Hg (45 %, en lien avec une LQ élevée).

Pour les polluants organiques, notre expertise / expérience est plus récente que pour les composés métalliques. De façon générale, les LQ de cette présente étude sont 2 à 3 fois supérieures à celles présentées dans nos travaux précédents. Ceci est lié au fait que le laboratoire LDA26 propose pour ces composés organiques des LQ plus élevées que celles proposées par les laboratoires académiques comme le LPTC et le LAMA. Concernant les fréquences de quantification, par rapport à nos travaux antérieurs, une différence est observée seulement pour 2 molécules, le 2,4'-DDT et le 4,4'-DDD ou les fréquences observées sont respectivement de 46% et 14% contre 100% précédemment.

L'indicateur multi-contaminants a été utilisé pour quantifier et qualifier les niveaux de contamination biodisponible en métaux et en composés organiques des diverses stations réparties au niveau national (Figures ci-dessous). Le niveau de contamination est matérialisé à l'aide d'un codage couleur allant du vert au rouge. Ces travaux sont les premiers travaux qui démontrent et proposent l'utilisation d'un indicateur de contamination biodisponible applicable à large échelle et permettant d'intégrer l'ensemble des contaminants mesurés au niveau de la station, ici au travers des gammars encagés. La définition d'un tel indicateur de contamination biodisponible permet de graduer et comparer de façon fiable les niveaux de contamination entre stations et dans le temps, tout en ayant accès à la contribution de chaque contaminant afin de revenir et cibler le ou les éléments problématiques.

Pour les métaux, la représentation cartographique montre une répartition géographique homogène des niveaux de contaminations bas et élevés. Toutefois, pour l'hydro-éco-région (HER) armoricaine (bassin de la Bretagne et le sud du Bassin la Loire de la Maine à la mer), l'ensemble des stations étudiées présente un niveau de contamination métallique biodisponible marqué. Ce résultat peut être mis en regard des caractéristiques physico-chimiques des milieux aquatiques considérés. Cette HER se caractérise par des eaux de surfaces faiblement minéralisées et faiblement calciques. Ainsi, des concentrations métalliques dissoutes mêmes faibles peuvent représenter des contaminations biodisponibles élevées par rapport au niveau bas national. Au travers de cet indicateur, ces travaux mettent en évidence une vulnérabilité de ces milieux à la pression métallique. Des observations similaires peuvent également être faites pour la zone Est de l'HER massif central sud et l'HER des Cévennes. Toutefois, sur le bassin Loire Bretagne, trop peu de stations ont été expérimentées, notamment sur la partie Nord et ouest du massif central, pour conclure sur une empreinte marquée des zones faiblement calciques et donc une vulnérabilité de ces milieux à la contamination métallique.

Pour les composés organiques, les résultats obtenus à l'aide de cet indicateur montrent clairement des niveaux de contamination biodisponibles plus marquées sur l'Est et l'extrême Nord de notre territoire.



Carte des niveaux de contamination biodisponible pour les éléments métalliques évalués à l'aide de l'indicateur multi-contaminants, intégrant les teneurs des 18 métaux mesurés chez les organismes encagés. Le code couleur, gradué du vert au rouge, informe sur l'intensité de la contamination

Carte des niveaux de contamination biodisponible pour les éléments organiques évalués à l'aide de l'indicateur multi-contaminants, intégrant les teneurs des 43 composés organiques mesurés chez les organismes encagés. Le code couleur, gradué du vert au rouge, informe sur l'intensité de la contamination.

Pour en savoir plus

- Besse, J.P., Geffard, O., Coquery, M. 2011. Développement d'une méthodologie pour l'amélioration du suivi chimique des eaux continentales - Etat de l'art sur les approches de biosurveillance et application dans le cadre de la DCE. Cemagref-Irstea, 100 p.
- 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*, 36: 113-127.
- Besse, J.P., Coquery, M., Lopes, C., Chaumot, A., Budzinski, H., Labadie, P., Geffard O. 2013. Caged *Gammarus fossarum* (crustacea) as a robust tool for the characterization of bioavailable contamination levels in continental waters. Toward the determination of threshold values. *Water Research*, 47: 650-660.
- Ciliberti, A., Chaumot, A., Recoura-Massaquant, R., Chandesris, A., François, A., Coquery, M., Ferréol, M., Geffard, O. 2017. Caged *Gammarus* as biomonitors identifying thresholds of toxic metal bioavailability that affect gammarid densities at the French national scale. *Water Research*. 118:131-140.
- Geffard, O., Besse, J.P., Chaumot, A., Francois, A., Gahou, J., Grisot, G., Lopes, C., Recoura-Massaquant, R., 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 encagé au niveau national, résultats pour les métaux ciblés. 60 p.
- Geffard, O., Ciliberti, A., Chandesris, A., François, A., Coquery, M., Ferrel, M., Chaumot, A. 2018. Lien entre la toxicité, la contamination des milieux aquatiques mesurés chez *Gammarus fossarum* et la perturbation des communautés biologiques. 29p.
- Recour-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 encagé au niveau national, résultats pour les substances organiques ciblées. 66 p.

Remerciements

La réalisation de ce travail a bénéficié de la précieuse collaboration de plusieurs personnes, que nous remercions pour leur grande disponibilité :

Patrice Noury, Laura Garnero, Nicolas Delorme et Hervé Quéau (Ecotox, Irstea Lyon)

Les agences de l'eau Artois-Picardie (Jean Prygiel), Rhône-Méditerranée & Corse (Thomas Pelte) et Rhin Meuse (Miguel Nicolaï) pour l'accès aux données acquises à l'aide d'encagement de gammars et leur participation au comité de pilotage avec également Marina Coquery (Irstea), Dorothee Bolzan (AEAP), Maïa Akopian (AESN), Lionel Navarro (AERM&C), Xavier Bourrain (AELB) et Yorick Reyjol et Olivier Perceval de l'AFB.

- **SOMMAIRE**

1. Introduction	12
2. Méthodologie suivie	13
2.1. Construction de la base de données de contamination biodisponible	13
2.2. Indicateur multi-contaminants	14
2.2.1. Calcul de la BBAC	14
2.2.2. Calcul de l'indicateur	15
3. Résultats et discussion	15
3.1. Sites d'étude de la base de données	15
3.2. Niveaux de contamination des gammars engagés	16
3.2.1. Métaux.....	16
3.2.2. Polluants organiques	17
3.3. Indicateur multi-contaminants : carte nationale des niveaux de contamination	19
4. Conclusion	21
5. Glossaire	22
6. Sigles & Abréviations	23
7. Bibliographie	24
8. Table des illustrations	26
9. Annexe 1 : Liste des sites intégrés dans la base de données. Localisation, codes masse d'eau et station et coordonnées	27
10. Annexe 2 : BBAC pour les composés métalliques	33
11. Annexe 3 : BBAC pour les composés organiques	34

- **LIEN ENTRE LA TOXICITE, LA CONTAMINATION DES MILIEUX AQUATIQUES MESURES CHEZ *GAMMARUS FOSSARUM* ET LA PERTURBATION DES COMMUNAUTES BIOLOGIQUES – INDICATEURS DE LA CONTAMINATION BIODISPONIBLE DES EAUX DOUCES.**

1. Introduction

Si les écosystèmes d'eau douce sont l'un des éléments clés au bien-être humain (Vörösmarty *et al.*, 2005; Rockström *et al.*, 2007), ils sont également vulnérables suite à leur utilisation et leur dégradation liées aux activités humaines (Dudgeon *et al.*, 2006). Le rejet de contaminants chimiques dans les milieux aquatiques ces dernières années est devenu une préoccupation forte étant donné leur persistance, leur accumulation dans les organismes et leurs effets toxiques potentiels (Fleeger *et al.* 2003, Beketov *et al.*, 2013, Birch et Apostolatos, 2013), pouvant compromettre, dans le futur, les services des écosystèmes rendus à l'homme (Kremen, 2005, MEA, 2005, Dodds *et al.*, 2013), voire constituer un danger pour lui. L'eau étant l'une des ressources essentielles à l'homme, la mise en place de plan de gestion pour la préserver et limiter l'impact de la pression chimique sur l'état écologique des milieux aquatiques est devenue indispensable. En Europe, la surveillance de l'état chimique et écologique des masses d'eau de surface est réglementée et s'inscrit dans la directive-cadre sur l'eau (DCE, Conseil européen, 2000). Atteindre les objectifs imposés par cette réglementation nécessite de disposer d'outils permettant d'identifier la présence d'une contamination chimique et d'en évaluer ou prédire ses conséquences ou comment elle affecte les communautés (Schwarzenbach *et al.*, 2006; Busch *et al.*, 2016).

Dans ce contexte, la mesure ou le suivi de la contamination chimique dans les organismes vivants s'est montrée plus informative que l'étude des profils de contamination dans l'eau ou les sédiments (Van Ael *et al.*, 2014). La mesure des contaminants dans la colonne d'eau et/ou les sédiments informe sur le niveau de contamination du système et les sources potentielles en contaminants (Kördel *et al.*, 2013; Roots et Roose, 2013; Vu *et al.*, 2017), mais ne renseigne pas de la fraction biodisponible et bioaccumulable de cette contamination, correspondant à la fraction toxique pour les organismes (Hare, 1992). De plus, l'utilisation du compartiment biologique pour la surveillance (biosurveillance) fournit des mesures d'exposition intégrées dans le temps, favorisant ainsi le suivi des tendances spatiales et temporelles de la contamination des milieux (Andral *et al.*, 2004, Oikari, 2006). Ainsi et comme inscrite aujourd'hui dans la DCE, l'utilisation des organismes vivants pour la surveillance de la contamination chimique des milieux est de plus en plus recommandée et mise en place (Salazar et Salazar, 1997, Solà *et al.*, 2004, Bourgeault *et al.*, 2010, Caçador *et al.*, 2012, Bervoets *et al.*, 2016, Liu *et al.*, 2016, Simpson et Spadaro, 2016). La biosurveillance passive (échantillonnage d'organismes natifs) a été la première approche utilisée, pour la simplicité et la facilité de sa mise en place et le suivi des ressources exploitées par l'homme (Goldberg, 1975, Amiard-Triquet *et al.*, 1999, Belpaire *et al.*, 2008). L'approche active (organismes engagés) a été introduite plus récemment pour répondre à certaines limites de l'approche passive, comme l'effet de facteurs biotiques sur l'accumulation et le niveau de contamination dans les organismes (Besse *et al.*, 2012, Lebrun *et al.*, 2015). L'approche active assure *i*) la présence de l'espèce d'intérêt sur n'importe quelle station à suivre, *ii*) l'utilisation d'organismes tests calibrés selon leur origine, leur espèce, leur taille, leur sexe et leur statut de reproduction et enfin *iii*) le contrôle de la durée d'exposition, garantissant ainsi un suivi fiable des tendances spatiale et temporelle (Besse *et al.*, 2012). Ainsi, le gammare *Gammarus fossarum*, espèce clé des écosystèmes d'eau douces européens (Weiss et Leese, 2016) et connue pour sa capacité à accumuler les contaminants chimiques (Hare, 1992, Rainbow, 2007, Bizzotto *et al.*, 2009), devient au travers de son utilisation par encagement un outil pertinent pour évaluer la contamination chimique des milieux. L'encagement de gammares est aujourd'hui inscrit comme outil disponible pour la biosurveillance², et pour lequel une norme est en cours d'instruction.

Identifier les sources/origines de dégradations des milieux aquatiques est un point crucial pour leur gestion et leur restauration. L'évaluation des effets liés à la contamination impose de proposer des outils permettant d'établir des liens entre la contamination chimique et les effets écologiques (Luoma & Rainbow, 2011, Bervoets *et al.*, 2016). Plusieurs études ont décrit des

² European Commission 2014. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance Document No. 32 On Biota Monitoring (the implementation of EQS Biota) under the Water Framework Directive. Technical Report - 2014 - 083.

relations entre le niveau de contamination en métaux dans le biote et l'abondance de macroinvertébrés reconnus comme sensibles aux métaux (De Jonge *et al.*, 2013; Luoma *et al.*, 2009; Rainbow *et al.*, 2012; Solà & Prat, 2006). Ces travaux ont été menés à l'aide de biomonitoring passif et à l'échelle d'un même bassin hydrographique, garantissant des paramètres physico-chimiques similaires entre les sites d'étude. Les études de Luoma *et al.* (2009) et Rainbow *et al.* (2012) se sont intéressées à des bassins hydrographiques particuliers, caractérisés par un rejet minier ponctuel et local, permettant d'expérimenter facilement le long d'un gradient de contamination dans le milieu. Plus récemment et à l'aide du biomonitoring actif (encagement de *G. fossarum*), Geffard *et al.* (2018) et Ciliberti *et al.* (2017) ont montré, pour quelques métaux, qu'il était possible de construire un tel lien entre la pression chimique et l'abondance de gammare à l'échelle nationale. Si ces travaux mettent clairement en évidence le rôle structurant qu'un contaminant peut avoir sur la diversité / l'abondance d'espèces sensibles, toutefois en terme de gestion et d'évaluation d'impact de la contamination chimique sur les communautés, l'établissement de ce type de relations à partir de contaminants pris individuellement peut s'avérer peu pertinent. Les milieux aquatiques se caractérisent par la présence de nombreuses sources de contamination, ainsi la prise en compte et l'intégration des contaminants présents est une étape essentielle pour mieux évaluer/prédire à terme l'impact de cette pression chimique.

En se basant sur l'encagement de gammare, dont la pertinence et l'intérêt ont été démontrés dans nos précédents travaux (Geffard *et al.*, 2014, Recoura-Massaquant *et al.*, 2014, Ciliberti *et al.*, 2017), l'objectif de cette étude est de développer un indicateur multi-contaminants permettant d'évaluer et caractériser la pression chimique des milieux aquatiques. Il s'agit de proposer d'une part un indicateur intégrant l'ensemble des composés inorganiques et d'autre part un indicateur pour l'ensemble des composés organiques, recherchés et quantifiés chez le gammare (notamment dans le cadre des suivis DCE). Pour ceci, nous avons bénéficié de données acquises dans le cadre de projets antérieurs portés par l'équipe (Geffard *et al.*, 2014, Recoura-Massaquant *et al.*, 2014) et de programmes de surveillance mandatés par les agences de l'eau et pour lesquels le protocole développé et utilisé par notre équipe a été mis en place, au travers de travaux confiés au bureau d'étude Biomae. Dans un premier temps, un travail de bancarisation a été mené pour construire et valider une base de données sur la contamination de gammare encagés. Ensuite, pour la construction des indicateurs, nous confirmerons ou proposerons pour l'ensemble des composés disponibles, une valeur de BBAC (Bioavailable Background Assessment Concentration = valeur seuil de contamination), teneur en un composé au-dessus de laquelle une contamination supérieure au niveau bas national est avérée. Pour finir, ces indicateurs de la multi-contamination biodisponibles sont utilisés pour réaliser une cartographie à l'échelle nationale la qualité chimique, inorganique et organique des sites pour lesquels de la donnée de contamination sur gammare encagé est disponible.

2. Méthodologie suivie

2.1. Construction de la base de données de contamination biodisponible

La base de données repose sur un travail expérimental de terrain (encagement de gammare, 7 jours d'exposition) mené entre novembre 2009 et mai 2016 sur 218 stations (à une ou plusieurs dates) et réparties au niveau national (*Figure 1*), donnant lieu à 313 et 196 points d'échantillonnage pour lesquels les teneurs en composés métalliques et/ou organiques ont été respectivement mesurées. La grande majorité de ces sites font partie des sites sélectionnés par Botta & Dullio (2014) pour la campagne exceptionnelle d'identification des micropolluants présents dans les masses d'eaux nationales. Ces données proviennent de projets antérieurs portés par l'équipe d'écotoxicologie, Irstea-Lyon, via notamment des financements par l'AFB (fiches actions 25 de 2008 à 2010 et 44 de 2013 à 2015), l'agence de l'eau Seine-Normandie (projet Biomarqu'Indic de 2012 à 2014) et l'ANR (Gamma 2012-2015 et Multistress 2015-2017). Enfin, elles proviennent aussi de programmes de surveillance mis en place par les agences de l'eau (AEAP, AEAG et AERMC) à partir d'encagement de gammare (contrats réalisés par Biomae) entre 2015 et 2016.

Figure 1 : Localisation des 218 sites sur lesquels des gammares, *G. fossarum*, ont été encagés sur une durée de 7 jours entre 2009 et 2016 et sur lesquels les teneurs en métaux et/ou composés organiques ont été déterminées.

2.2. Indicateur multi-contaminants

Un indicateur multicontaminants a été développé pour les deux grands types de contamination, les métaux et les polluants organiques. L'indicateur consiste en l'intégration des teneurs en contaminants observées dans les gammares encagés, en considérant leur dépassement de la valeur de BBAC associée à chaque contaminant. Par conséquent et pour chacun des composés mesurés dans les gammares, la possibilité de déterminer une valeur de BBAC est une étape indispensable pour son intégration dans l'indice multicontaminants considéré.

2.2.1. Calcul de la BBAC

Pour chaque substance, la BBAC correspond à la valeur au-dessus de laquelle une contamination différente du niveau bas national est avérée pour cette substance. L'approche utilisée pour calculer cette valeur de BBAC est basée sur l'hypothèse que pour une substance donnée, les concentrations observées dans les organismes encagés sont distribuées selon une loi normale sur des sites dépourvus de tout apport de contaminations biodisponibles. La méthode est présentée et décrite dans les travaux de Besse *et al.* (2013). Succinctement, pour chaque substance, les stations sont classées par niveaux de concentration croissante dans les organismes encagés afin de tester si l'ensemble des données suit une distribution gaussienne, en utilisant le test de normalité de Shapiro-Wilk. Si ce n'est pas le cas, la station la plus contaminée est retirée du jeu de données et la normalité est testée de nouveau. Ce processus itératif (suppression de la station la plus contaminée, suivi d'un test de normalité) est mené jusqu'à l'obtention d'un jeu de données distribuées normalement. La BBAC pour chaque contaminant correspond alors au 95^{ième} percentile de la distribution gaussienne obtenue (*Figure 2*). Cette procédure a été réalisée en utilisant le programme de calcul statistique R. A partir de la base de données nationales constituée pour l'étude, une BBAC a ainsi pu être déterminée pour 18 métaux (Annexe 1) et 43 composés organiques (Annexe 2).

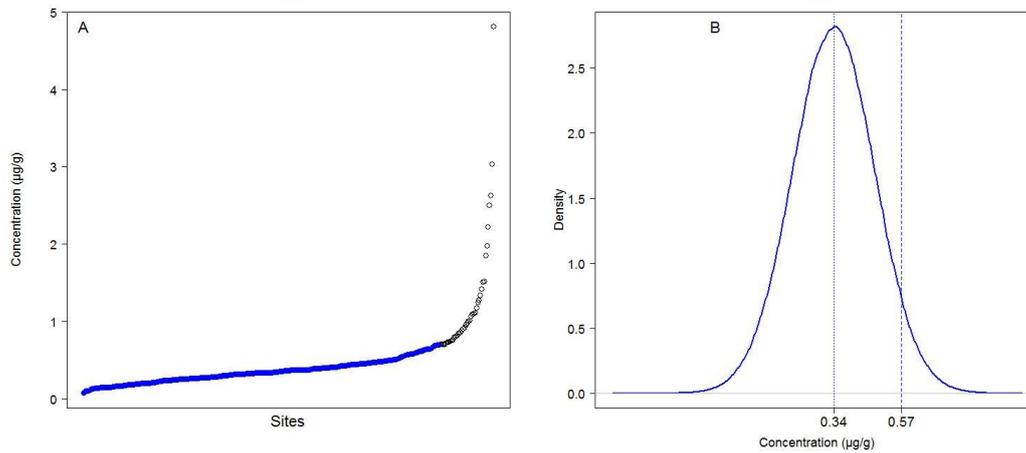


Figure 2 : Exemple de BBAC déterminée pour le cobalt. Sur le schéma de gauche (A) sont présentées les concentrations mesurées pour chaque site, triées par ordre croissant. Les points bleus correspondent au plus grand ensemble de données qui suit une distribution Gaussienne, représentée sur le schéma de droite (B). En tiret : BBAC (95^{ième} percentile).

2.2.2. Calcul de l'indicateur

La philosophie pour la construction de cet indicateur est de ne considérer comme contributeurs à l'indicateur de contamination pour un site donné que les composés dont la concentration dépasse significativement leur niveau bas national (*i.e.* concentration supérieure à la BBAC), et pour éviter les effets d'échelle entre composés, de pondérer cette contribution par les niveaux de contamination moyens nationaux de chaque composé. Pour cette étude, les composés ont été organisés en deux groupes, les métaux et les polluants organiques. L'indicateur multi-contaminant est calculé selon la formule suivante :

$$I = \frac{\sum_{k=1}^n \sqrt{\frac{a_k > BBAC_k}{\varphi_k}}}{n}$$

a_k est la concentration mesurée dans les gammarets encagés pour un composé k et ayant une valeur supérieure à la BBAC. φ_k est la moyenne entre la valeur de BBAC pour ce composé k et le 90^{ième} percentile des concentrations obtenues sur l'ensemble des stations. n est le nombre de contaminants intégrés.

3. Résultats et discussion

3.1. Sites d'étude de la base de données

Sur les 218 stations échantillonnées et répertoriées dans la base de données, une typologie physico-chimique a pu être attribuée à seulement 215 stations (H1 : $n = 24$, H2 : $n = 71$, H3 : $n = 47$, S1 : $n = 8$, S2 : $n = 23$, S3 : $n = 39$). Ces 215 stations ont été caractérisées selon leur rang de strahler, la nature géologique ainsi que l'occupation du sol de leur bassin versant respectif. La Figure 3 montre la proportion de stations distribuées dans chacune des classes considérées. La proportion des stations étudiées réparties dans les différentes classes de terres agricoles et de taille des cours d'eau sont conformes à celles calculées sur les sites formants le réseau de contrôle de surveillance (rcs) (taille des cours d'eau : $\chi^2 = 3.88$, p -value = 0.42 ; territoires agricoles : $\chi^2 = 0.56$, p -value = 0.76). Pour les territoires artificialisés, la différence entre les proportions des classes d'intensité d'urbanisation dans les stations étudiées et les sites du RCS

était significativement différente ($\chi^2 = 7.30$, p-value = 0.03). Les territoires fortement artificialisés sont surreprésentés dans notre base de données (43%) par rapport aux sites du rcs (28%) et à l'inverse les territoires moyennement artificialisés sont sous représentés dans notre base de données (43%) comparer aux sites du rcs (62%). La plus grande divergence a été observée pour la géologie ($\chi^2 = 18.76$, p-value = 8.42×10^{-5}) avec une sous-représentation de la classe mixte dans notre base de données (2%) contre 18% pour les sites rcs, et une surreprésentation de la classe sédimentaire dans notre base de données (80%) par rapport aux sites du rcs (56%). Les résultats montrent que les stations d'étude étaient diverses et étaient représentatives du réseau hydrographique à l'échelle nationale.

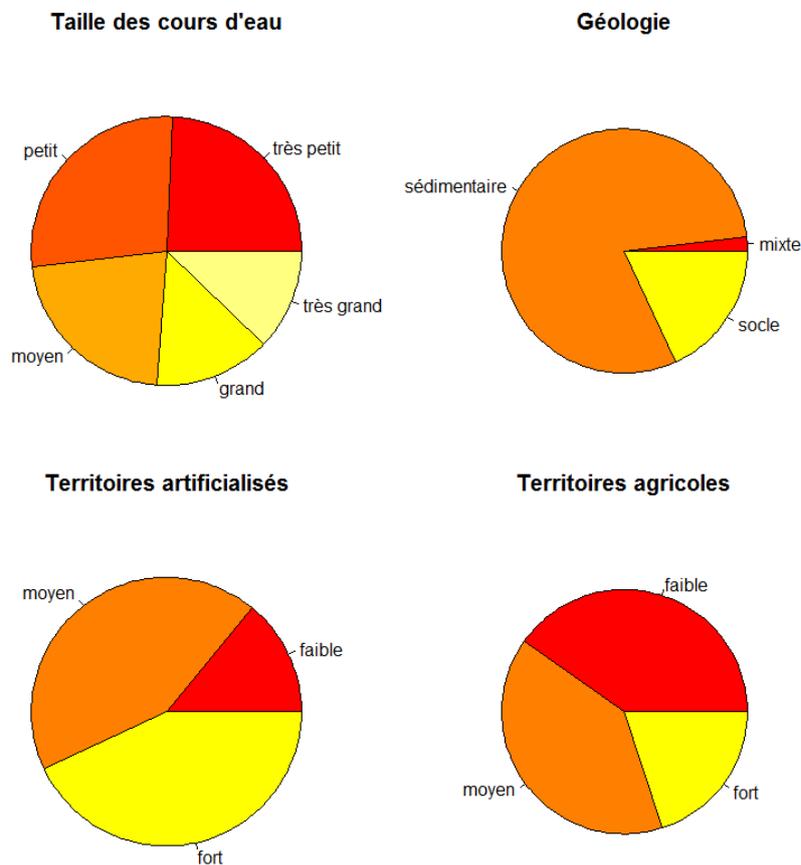


Figure 3 : Distribution des 215 stations de la base de données selon leur rang de strahler, la géologie de leur bassin versant ainsi que quatre types d'occupation du sol répertoriés sur leur bassin versant.

3.2. Niveaux de contamination des gammars encagés

Sur les 218 stations échantillonnées, 78% d'entre elles présentaient une survie des gammars encagés > 75%, 17% une survie comprise entre 50% et 75 % et seulement 5% de stations présentaient une survie < 50%.

3.2.1. Métaux

Le *Tableau 1* présente une synthèse des concentrations observées chez les organismes encagés sur les 218 stations étudiées. Il présente la médiane, les valeurs minimale et maximale observées, ainsi que la fréquence de quantification pour chacun des métaux. En comparaison à nos précédents travaux menés au niveau national (Geffard *et al.*, 2014) où 11 éléments métalliques étaient recherchés dans les gammars, aujourd'hui ce sont 18 éléments qui sont mesurés. Cette différence est liée au fait que la majorité des données de contamination dans les gammars encagés ont été acquises au travers d'études mandatées par les agences de l'eau et réalisées par Biomae. Dans le cadre de leur développement, Biomae a engagé il y a plusieurs

années et en collaboration avec La Drome laboratoire (LDA 26), un travail de développement de méthodes analytiques dans le but d'analyser un maximum d'éléments. Pour les substances pour lesquelles la comparaison est possible (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Pb, Hg et Se), les limites de quantification proposées aujourd'hui sont similaires à celles obtenues précédemment (Geffard *et al.*, 2014), avec une variabilité inférieure à un facteur 2, excepté pour le Hg où la LQ est 5 fois plus élevée actuellement et pour le Se où à l'inverse elle est de 0.1 µg/g de poids sec contre 2.7 dans nos précédents travaux. Pour ces mêmes éléments, les ratios entre valeurs maximale et minimale sont plus élevés dans cette présente étude montrant que l'enrichissement de notre base de données, à l'aide des études récemment mandatées par les agences de l'eau, permet de mieux couvrir la diversité de concentrations existantes au niveau national. Des ratios supérieurs à 10 ont été observés pour 14 des 18 éléments, à 50 pour 7 d'entre eux et à 1000 pour deux d'entre eux. Des ratios faibles (valeur de 5) ont été obtenus pour le B, le Cu et le Hg. Ces valeurs s'expliquent en partie par une LQ trop élevée pour le Hg et par une forte capacité du gammare à réguler le Cu. Enfin, les fréquences de quantification sont comprises entre 90 et 100%, excepté pour le Hg (45 %, en lien avec une LQ élevée) et sont similaires à celles observées précédemment.

Tableau 1 : Concentrations en métaux (µg/g de poids sec) et fréquence de quantification (% de données > à la LQ) observées chez *Gammarus fossarum* après 7 jours d'exposition *in situ* sur les 218 sites d'étude (313 données). Les limites de Quantification (LQ) sont présentées. Les concentrations et les LQ sont exprimées en µg/g de poids sec. Med, Min et Max sont respectivement les valeurs médiane, maximale et minimale pour chaque élément. * en considérant la LQ comme valeur minimale.

Composés	Concentration (µg g ⁻¹ poids sec)				LQ	Occurrence (%)
	Med	Min	Max	Max/Min		
Ag	0.14	0.04	1.02	25	0.02	90
Al	463	36.1	2311	64	2.00	100
B	3.54	<LQ	11.5	5*	2.00	92
Ba	56.3	10.7	227	21	1.00	100
Cd	0.14	<LQ	34.9	1 800*	0.02	98
Co	0.36	0.07	4.81	68	0.05	100
Cr	0.67	0.15	66.1	452	0.10	100
Cu	67.9	25.1	139	5	0.10	100
Fe	284	48.6	17740	36	1.00	100
Hg	0.06	<LQ	0.24	5*	0.05	45
Li	0.60	0.16	4.55	28	0.10	99
Mn	42.1	8.10	550	68	0.20	100
Mo	0.33	0.19	6.29	33	0.10	100
Ni	0.74	0.12	13.8	115	0.10	90
Pb	0.46	<LQ	55.8	1 100*	0.05	100
Se	1.89	0.70	5.56	8	0.10	99
U	0.08	<LQ	0.80	40*	0.02	98
Zn	67.5	44.6	618	14	1.00	100

3.2.2. Polluants organiques

Le *Tableau 2* présente la médiane, les valeurs minimale et maximale observées, ainsi que la fréquence de quantification pour chacun des composés organiques recherchés dans le gammare. Pour ces composés, notre expertise / expérience est moins élevée que pour les composés métalliques. Au cours de nos travaux antérieurs, il existe des différences dans les composés recherchés / analysés dans les gammares. Une première étude, réalisée au niveau du bassin RMC sur 27 stations, a été menée en 2009, pour laquelle les substances recherchées étaient principalement des HAPs et des PCBs, analysées par le laboratoire LPTC de l'université de Bordeaux. Une seconde étude, menée au niveau national et sur 120 stations, a ensuite été menée entre 2012 et 2013, étudiant uniquement des PCB, analysés par la laboratoire LAMA de Irstea Lyon. La plus grande partie des données provient des études menées par les agences de l'eau lors d'études et contractualisées avec Biomae. Comme pour les métaux, un programme de

développement a été mené entre Biomae et le LDA 26 dans le but d'élargir le nombre de molécules recherchées chez le gammare, offrant une plus large gamme de molécules recherchées. Le *Tableau 2* présente une synthèse des données utilisées pour construire la base sur laquelle repose ce travail. Seules les substances pour lesquelles une valeur de BBAC (voir 2.2.1) a pu être calculée ont été retenues. De façon générale, les LQ de cette présente étude sont 2 à 3 fois supérieures à celles présentées dans nos travaux précédents. Ceci est lié au fait que le laboratoire LDA26 propose pour ces composés organiques des LQ plus élevées que celles proposées par les laboratoires académiques comme le LPTC et le LAMA. Concernant les fréquences de quantification, pour les 21 substances communes avec l'étude de Besse et al. (2013) en 2009, une différence est observée seulement pour 2 molécules, le 2,4'-DDT et le 4,4'-DDD où les fréquences observées sont respectivement de 46% et 14% contre 100% précédemment. De la même façon pour les 10 substances communes avec l'étude menée en 2012 (Recoura-Massaquant et al., 2014 ; uniquement des PCB), des fréquences de quantification similaires ont été obtenues.

Tableau 2 : Concentrations en polluants organiques (ng/g de poids sec) et fréquence de quantification (% de données > à la LQ) observées chez *Gammarus fossarum* après 7 jours d'exposition *in situ* sur les 196 sites d'étude. Les limites de Quantification (LQ) sont présentées. Les concentrations et les LQ sont exprimées en ng/g de poids sec. Med, Min et Max sont respectivement les valeurs médiane, maximale et minimale pour chaque élément.

Composés	Concentration (ng g ⁻¹ poids sec)					Occurrence (%)
	Med	Min	Max	Max/Min	LQ	
1,2,3,4,6,7,8,9 Octachlorodiben-zodioxine	12.74	5.58	359.30	64.4	1	56
2,3,7,8 Tetrachlorodiben-zofurane	6.41	5.21	14.71	2.8	1	22
2,4'-DDT	2.37	1.11	40.92	39.3	1	14
4,4'-DDD	2.56	<LQ	43.93	–	1	46
4-4'-DDE	4.67	1.06	200.28	188.9	1	93
4-4'-DDT	7.61	1.55	114.00	73.5	1	51
Anthracene	3.86	1.98	40.60	20.5	1	80
Anthraquinone	5.02	1.21	23.90	19.8	1	54
Benzo(a)anthracene	3.23	1.04	28.99	27.8	1	80
Benzo(a)pyrene	2.11	1.01	112.77	111.6	1	42
Benzo(b+j) fluoranthene	3.56	<LQ	262.41	–	2	60
Benzo(e)pyrene	3.46	1.02	149.49	146.6	1	68
Benzo(g,h,i)perylene	2.95	1.10	68.61	62.3	1	90
Benzo(k) fluoranthene	1.65	1.01	91.61	90.7	1	41
Benzyl Butyl Phtalate	7.56	2.80	26.19	9.3	1	62
Chrysene	1.85	1.03	670.75	651.2	1	29
Dicofol	3.98	1.03	22.41	21.7	1	37
Fluoranthene	8.43	2.01	53.82	26.6	1	96
Fluorene	13.29	6.88	50.22	7.3	1	95
HCH gamma(Lindane)	1.44	1.01	12.67	12.5	1	30
Hexachlorobenzene	1.37	<LQ	7.46	–	1	52
Hexachlorobutadiene	1.71	1.00	21.50	21.5	1	45
Indeno(1,2,3-cd) pyrene	2.00	1.00	53.43	53.4	1	34
Methyl-2 fluoranthene	1.61	1.09	8.18	7.5	1	61
Methyl-2 naphthalene	25.17	9.00	92.75	10.2	1	68
Naphthalene	39.76	29.06	118.12	4.0	1	67
PCB 101	21.01	1.03	519.69	504.5	1	92
PCB 118	12.22	1.09	93.15	85.4	1	88
PCB 123	1.38	1.01	7.97	7.8	1	24
PCB 138	18.54	1.11	156.60	141.0	1	91
PCB 149	2.84	1.01	15.37	15.2	1	81
PCB 153	20.60	1.16	322.57	278.0	1	97

PCB 156	2.41	1.07	40.72	38.0	1	33
PCB 167	1.60	<LQ	14.67	–	1	38
PCB 180	6.19	1.04	219.82	211.3	1	62
PCB 28	3.18	1.06	45.81	43.2	1	91
PCB 44	2.07	1.01	12.95	12.8	1	74
Pendimethaline	4.02	1.61	39.35	24.4	1	81
Perylene	2.33	1.05	118.46	112.8	1	30
Phenanthrene	33.02	1.44	103.88	72.1	1	94
Pyrene	8.57	1.59	47.81	30.0	1	99
Trichlorobenzene 1,2,4	3.11	1.81	29.85	16.5	1	68
Trichlorobezene 1,2,3	1.78	1.11	7.57	6.8	1	62

3.3. Indicateur multi-contaminants : carte nationale des niveaux de contamination

A partir des jeux de données construits, l'indicateur multi-contaminants a été utilisé pour quantifier et qualifier les niveaux de contamination biodisponible en métaux (*Figure 45*) et en composés organiques (*Figure 56*) des diverses stations réparties au niveau national. Le niveau de contamination est matérialisé à l'aide d'un codage couleur allant du vert au rouge. Ces travaux sont les premiers travaux qui démontrent et proposent l'utilisation d'un indicateur de contamination biodisponible applicable à large échelle et permettant d'intégrer l'ensemble des contaminants mesurés au niveau de la station, ici au travers des gammames encagés. La définition d'un tel indicateur de contamination biodisponible, basé sur l'écart observé entre la teneur mesurée et la valeur seuil associée (BBAC), permet de graduer et comparer de façon fiable les niveaux de contamination entre stations et dans le temps, tout en ayant accès à la contribution de chaque contaminant afin de revenir et cibler le ou les éléments problématiques.

Pour les métaux (*Figure 45*), la représentation cartographique des niveaux de contamination montrent une répartition géographique homogène des niveaux de contaminations bas et élevés. Toutefois, pour l'hydroécocorégion (HER) armoricaine (bassin de la Bretagne et le sud du Bassin la Loire de la Maine à la mer), l'ensemble des stations étudiées présente un niveau de contamination métallique biodisponible marqué. Contrairement au reste du territoire, on observe une pression / contamination métallique biodisponible généralisée sur cette zone géographique. Ce résultat peut être mis en regard des caractéristiques physico-chimiques des milieux aquatiques considérés. En effet cette HER se caractérise par des eaux de surfaces faiblement minéralisées et faiblement calciques. Ainsi, des concentrations métalliques dissoutes mêmes faibles peuvent représenter des contaminations biodisponibles élevées par rapport au niveau bas national. Au travers de cet indicateur, ces travaux mettent en évidence une vulnérabilité de ces milieux à la pression métallique, avec une contamination métallique biodisponible « généralisée », supérieure au niveau bas national. Des observations similaires peuvent également être faites pour la zone Est de l'HER massif central sud et l'HER des Cévennes. Toutefois, sur le bassin Loire Bretagne, trop peu de stations ont été expérimentées, notamment sur la partie Nord et ouest du massif central, pour conclure sur une empreinte marquée des zones faiblement calciques et donc une vulnérabilité de ces milieux à la contamination métallique.

Pour les composés organiques (*Figure 56*), les premiers résultats obtenus à l'aide de cet indicateur montrent clairement des niveaux de contamination biodisponibles plus marquées sur l'Est et l'extrême Nord de notre territoire.

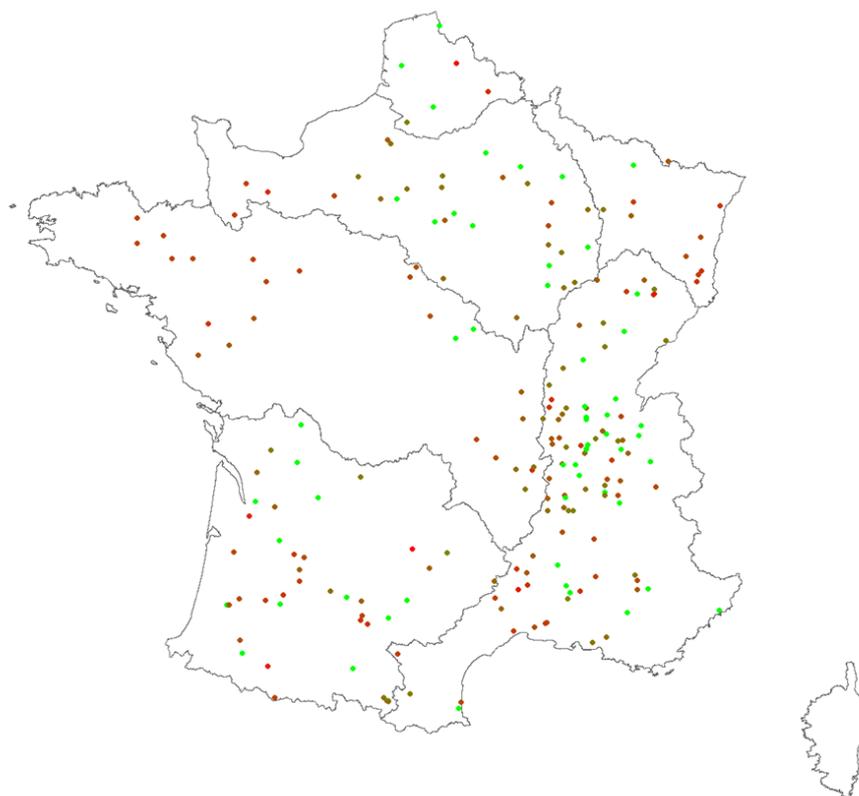


Figure 4 : Carte des niveaux de contamination biodisponible pour les éléments métalliques évalués à l'aide de l'indicateur multi-contaminants, intégrant les teneurs des 18 métaux mesurés chez les organismes encagés. Le code couleur, gradué du vert au rouge, informe sur l'intensité de la contamination.

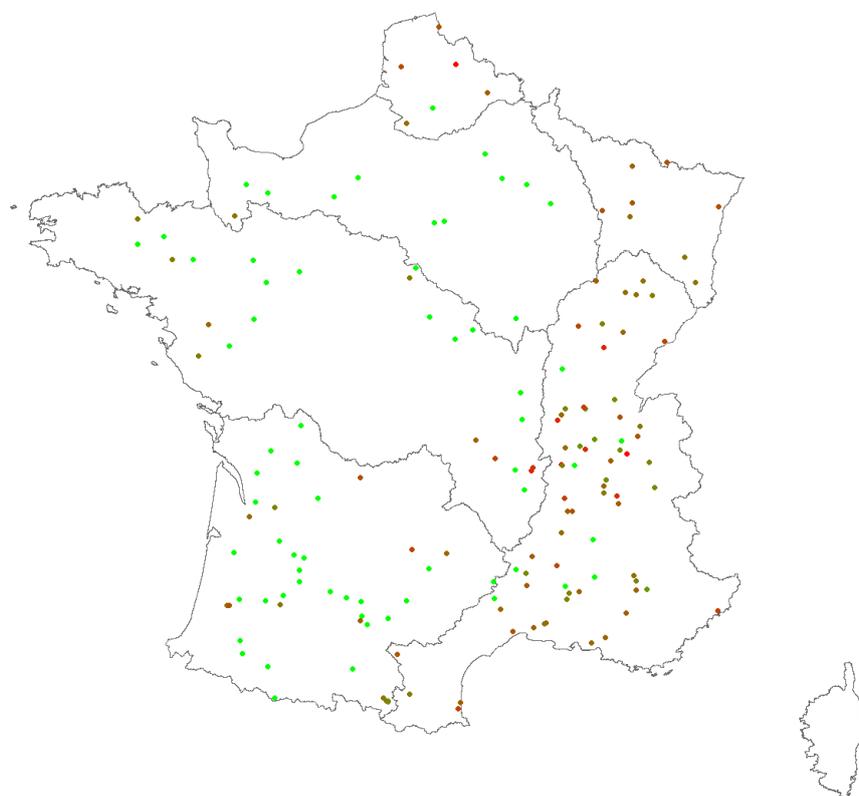


Figure 5 : Carte des niveaux de contamination biodisponible pour les éléments organiques évalués à l'aide de l'indicateur multi-contaminants, intégrant les teneurs des 43 composés organiques mesurés chez
20/35

les organismes encagés. Le code couleur, gradué du vert au rouge, informe sur l'intensité de la contamination.

4. Conclusion

Les résultats de ce travail montrent une nouvelle fois l'intérêt de l'encagement de *G. fossarum* pour la surveillance de la contamination chimique des milieux. Le transfert de cette méthodologie et son développement par un prestataire ont permis d'élargir le nombre de molécules mesurées dans les gammars. Son utilisation, par les agences de l'eau notamment, offre aujourd'hui d'une part la possibilité de mettre à disposition des données sur la contamination biodisponible des eaux de surface et d'autre part, constitue une opportunité unique pour ouvrir de nouvelles questions en écotoxicologie, comme comprendre et prédire l'impact sur les communautés des niveaux de contamination et de toxicité observés à l'aide d'espèces sentinelles comme le gammare.

Les travaux menés dans cette étude offrent une méthodologie de calcul comme indicateur pour déterminer le niveau de contamination biodisponible d'un milieu, en intégrant l'ensemble des composés mesurés dans les organismes encagés. Cet outil permet de façon originale de déterminer le niveau de contamination des cours d'eau, ceci à une large échelle spatiale. Enfin, la force de disposer d'un indicateur, c'est-à-dire de convertir de nombreuses mesures en une « note », est de pouvoir, au travers d'un système gradué, qualifier les sites les uns par rapport aux autres et identifier les milieux les plus soumis à une contamination biodisponible et/ou les plus vulnérables. Enfin, la proposition d'un tel indicateur était une étape indispensable pour ouvrir de nouvelles questions sur les liens entre la pression chimique et les réponses des communautés. Pour aborder de telle question la contamination ne peut pas être abordée contaminant par contaminant, la proposition d'un indicateur intégrant l'ensemble des composés mesurés était incontournable.

5. Glossaire

Bioaccumulation: accumulation nette d'un contaminant dans les tissus ou le corps entier d'un organisme, à partir de l'ensemble des voies d'exposition incluant l'eau, les phases solides (sédiment), ainsi que la nourriture, et qui est la résultante des processus de prise en charge et d'élimination du contaminant

Biosurveillance (*biomonitoring*): le terme de biosurveillance recouvre l'ensemble des méthodes utilisées pour détecter et mesurer la concentration des contaminants dans des organismes biologiques, afin de renseigner sur l'état de contamination dans les eaux continentales.

Biosurveillance active (*caging*): méthode de biosurveillance reposant sur la transplantation (ou encagement) sur le site d'étude d'organismes provenant d'un site de référence ou d'un élevage

Valeur seuil de contamination biodisponible (ou Bioavailable Background Assessment Concentration, **BBAC):** concentration en contaminant en dessous de laquelle il n'est pas possible de conclure à une différence significative avec la concentration de fond définie pour ce même contaminant. Une concentration dans les gammes supérieure à cette valeur seuil signe la présence d'une contamination biodisponible significative pour le site étudié

6. Sigles & Abréviations

BBAC: Bioavailable Background Assessment Concentration

DCE: Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE)

HAP: Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

HER: Hydro-écorégions

LQ: Limite de quantification

NQE: Norme de Qualité Environnementale

PCB: Polychlorobiphényles

7. Bibliographie

- Amiard-Triquet, C., Burgeot, T., & Claisse, D. (1999). Biomonitoring of the marine environment quality: experiences of the French National Observation Network (RNO) and the development of biomarkers. *Oceanis*, 25, 651–684.
- Andral, B., Stanisiere, J. Y., Sauzade, D., Damier, E., Thebault, H., Galgani, F., & Boissery, P. (2004). Monitoring chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussel caging. *Marine Pollution Bulletin*, 49, 704–712. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.05.008>.
- Beketov, M. A., Kefford, B. J., Schäfer, R. B., & Liess, M. (2013). Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 11039–11043. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305618110>.
- Belpaire, C., Goemans, G., Geeraerts, C., Quataert, P., & Parmentier, K. (2008). Pollution fingerprints in eels as models for the chemical status of rivers. *ICES Journal of Marine Science*, 65, 1483–1491. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn112>.
- Bervoets, L., De Jonge, M., & Blust, R. (2016). Identification of threshold body burdens of metals for the protection of the aquatic ecological status using two benthic invertebrates. *Environmental Pollution*, 210, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.12.005>.
- Besse, J. P., Coquery, M., Lopez, C., Chaumot, A., Budzinski, H., Labadie, P., & Geffard, O. (2013). Caged *Gammarus fossarum* (Crustacea) as a robust tool for the characterization of bioavailable contamination levels in continental waters: towards the determination of threshold values. *Water Research*, 47, 650–660. <https://doi.org/10.1016/j.waters.2012.10.024>.
- 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*, 36, 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2012.04.004>.
- Birch, G., & Apostolatos, C. (2013). Use of sedimentary metals to predict metal concentrations in black mussel (*Mytilus galloprovincialis*) tissue and risk to human health (Sydney estuary, Australia). *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 5481–5491. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1538-8>.
- Bizzotto, E. C., Villa, S., & Vighi, M. (2009). POP bioaccumulation in macroinvertebrates of alpine freshwater systems. *Environmental Pollution*, 157, 3192 – 3198. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.06.001>.
- Bourgeault, A., Gourlay-Francé, C., Vincent-Hubert, F., Palais, F., Geffard, A., Biagiante-Risbourg, S., ... Tusseau-Vuillemin, M.H. (2010). Lessons from a transplantation of zebra mussels into a small urban river: an integrates ecotoxicological assessment. *Environmental Toxicology*, 25, 468–478. <https://doi.org/10.1002/tox.20591>.
- Busch, W., Schmidt, S., Kühne, R., Schulze, T., Krauss, M., & Altenburger, R. (2016). Micropollutants in European rivers: a mode of action survey to support the development of effect-based tools for water monitoring. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35, 1887–1899. <https://doi.org/10.1002/etc.3460>.
- Caçador, I., Costa, J. L., Duarte, B., Silva, G., Medeiros, J. P., Azeda, ... Costa, M. J. (2012). Macroinvertebrates and fishes as biomonitors of heavy metal concentration in the Seixal Bay (Tagus estuary): which species perform better? *Ecological Indicators*, 19, 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.007>.
- Ciliberti, A., Chaumot, A., Recoura-Massaquant, R., Chandesris, A., François A., ... Geffard, O. (2017). Caged *Gammarus* as biomonitors identifying thresholds of toxic metal bioavailability that affect gammarid densities at the French national scale. *Water Research*, 118, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.waters.2017.04.031>.
- Dodds, W. K., Perkin, J. S., & Gerken, J. E. (2013). Human impact on freshwater ecosystem services: a global perspectives. *Environmental Science and Technology*, 47, 9061–9068. <https://doi.org/10.1021/es4021052>.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C.,... Stiansny, L. J. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81, 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>.
- Fleeger, J. W., Carman, K. R., & Nisbet, R. M. (2003). Indirect effects of contaminants in aquatic ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 317, 207–233. <https://doi.org/10.1016/S0048-9697>.
- Geffard, O., Besse, J.P., Chaumot, A., Francois, A., Gahou, J., Grisot, G., Lopes, C., Recoura-Massaquant, R., 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 métaux ciblés. Accord-cadre Irstea-Onema - Action n°36 60 p.
- Geffard, O., Ciliberti, A., Chandesris, A., François, A., Coquery, M., Ferréol, M., Chaumot A. 2018. Lien entre la toxicité, la contamination des milieux aquatiques mesurés chez *Gammarus fossarum* et la perturbation des communautés biologiques. Accord-cadre Irstea-AFB - Action n°48 30p.
- Goldberg, E. D. (1975). The mussel watch. A first step in global marine monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 6, 111–114. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(75\)90271-4](https://doi.org/10.1016/0025-326X(75)90271-4).

- Hare, L. (1992). Aquatic insects and trace metals: bioavailability, bioaccumulation, and toxicity. *Critical Reviews in Toxicology*, 22, 327–369. <https://doi.org/10.3109/10408449209146312>.
- Kördel, W., Garelick, H., Gawlik, B. M., Kandile, N. G., Peijnenburg, W. J. G. M., & Rüdell, H. (2013). Substance-related environmental monitoring strategies regarding soil, groundwater and surface water – an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 2810–2827. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1531-2>.
- Kremen, C. (2005). Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8, 468–479. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x>.
- Lebrun, J., Geffard, O., Urien, N., François, A., Uher, E., & Fechner, L. C. (2015). Seasonal variability and inter-species comparison of metal bioaccumulation in caged gammarids under urban diffuse contamination gradient: implications for biomonitoring investigations. *Science of the Total Environment*, 511, 501–508. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.078>.
- Liu, W. X., Wang, Y., He, W., Qin, N., Kong, X. Z., He, Q. S., ... Xu, F. L. (2016). Aquatic biota as potential biological indicators of the contamination, bioaccumulation and health risks caused by organochlorine pesticides in a large, shallow Chinese lake (Lake Chaohu). *Ecological Indicators*, 60, 335–345. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.026>.
- Luoma, S. N., Cain, D. J., & Rainbow, P. S. (2010). Calibrating biomonitors to ecological disturbance : a new technique for explaining metal effects in natural waters. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 6, 199–209.
- MEA. (2005). Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Weill-Being: Synthesis. Island Press, Washigton, DC.
- Oikari, A. (2006). Caging techniques for field exposures of fish to chemical contaminants. *Aquatic Toxicology*, 78, 370–381. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.03.010>.
- Recour-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.
- Rockström, J., Lannerstad, M., & Falkenmark, M. (2007). Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 6253–6260. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605739104>.
- Roots, O., & Roose, A. (2013). Hazardous substances in the aquatic environment of Estonia. *Chemosphere*, 93, 196–200. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.05.036>.
- Salazar, M. H., & Salazar, S. M. (1997). Using caged bivalves to characterize exposure and effects associated with pulp and paper mill effluents. *Water Science and Technology*, 35, 213–220. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(96\)00933-X](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(96)00933-X).
- Schwarzenbarch, R. P., Escher, B. I., Fenner, K., Hofstetter, T. B., Johnson, C. A., von Gunten, U., & Wehrli, B. (2006). The challenge of microplutants in aquatic systems. *Science*, 313, 1072 – 1077. <https://doi.org/10.1126/science.1127291>.
- Simpson, S. L., & Spadaro, D. A. (2016). Bioavailability and chronic toxicity of metal sulfide minerals to benthic marine invertebrates: implications for deep sea exploration, mining and tailings disposal. *Environmental Science and Technology*, 50, 4061–4070. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00203>.
- Solà, C., Burgos, M., Plazuelo, Á, Toja, J., Plans, M., & Prat, N. (2004). Heavy metal bioaccumulation and macroinvertebrate community changes in a Mediterranean stream affected by acid mine drainage and an accidental spill (Guadamar River, SW Spain). *Science of the Total Environment*, 333, 109–126. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv;2004.05.011>.
- Van Ael, E., Belpaire, C., Breine, J., Geeraerts, C., Van Thuyne, G., Eulaers, R. ... Bervoets, L. (2014). Are persistent organic pollutants and metals in eel muscle predictive for the ecological water quality? *Environmental Pollution*, 186, 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.006>.
- Vörösmarty, C.J., Lévêque, C., & Revenga, C. (2005). Fresh water. In Bos R. et al. (Eds.), *Ecosystems and Human Weill-Being: Current States and Trends, Millenium Ecosystem Assessment Report*. (pp 165 – 207), USA: Washigton, DC, Island Press.
- Weiss, M., & Leese, F. (2016). Widely distributed and regionally isolated! Drivers of genetic structure in *Gammarus fossarum* in a human-impacted landscape. *BMC Evolutionary Biology*, 16, 153. <https://doi.org/10.1186/s12862-016-0723-z>.

8. Table des illustrations

Figure 1 : Localisation des 218 sites sur lesquels des gammares, <i>G. fossarum</i> , ont été engagés sur une durée de 7 jours entre 2009 et 2016 et sur lesquels les teneurs en métaux et/ou composés organiques ont été déterminées.	14
Figure 2 : Exemple de BBAC déterminée pour le cobalt. Sur le schéma de gauche (A) sont présentées les concentrations mesurées pour chaque site, triées par ordre croissant. Les points bleus correspondent au plus grand ensemble de données qui suit une distribution Gaussienne, représentée sur le schéma de droite (B). En tiret : BBAC (95 ^{ème} percentile).....	15
Figure 3 : Distribution des 215 stations de la base de données selon leur rang de strahler, la géologie de leur bassin versant ainsi que quatre types d'occupation du sol répertoriés sur leur bassin versant.....	16
Figure 5 : Carte des niveaux de contamination biodisponible pour les éléments métalliques évalués à l'aide de l'indicateur multi-contaminants, intégrant les teneurs des 18 métaux mesurés chez les organismes engagés. Le code couleur, gradué du vert au rouge, informe sur l'intensité de la contamination.....	20
Figure 6 : Carte des niveaux de contamination biodisponible pour les éléments organiques évalués à l'aide de l'indicateur multi-contaminants, intégrant les teneurs des 43 composés organiques mesurés chez les organismes engagés. Le code couleur, gradué du vert au rouge, informe sur l'intensité de la contamination.....	20
Tableau 1 : Concentrations en métaux ($\mu\text{g/g}$ de poids sec) et fréquences de quantification (% de données > à la LQ) observées chez <i>Gammarus fossarum</i> après 7 jours d'exposition <i>in situ</i> sur les 218 sites d'étude (313 données). Les limites de Quantification (LQ) sont présentées. Les concentrations et les LQ sont exprimées en $\mu\text{g/g}$ de poids sec. Med, Min et Max sont respectivement les valeurs médiane, maximale et minimale pour chaque élément. * en considérant la LQ comme valeur minimale.....	17
Tableau 2 : Concentrations en polluants organiques (ng/g de poids sec) et fréquences de quantification (% de données > à la LQ) observées chez <i>Gammarus fossarum</i> après 7 jours d'exposition <i>in situ</i> sur les 196 sites d'étude. Les limites de Quantification (LQ) sont présentées. Les concentrations et les LQ sont exprimées en ng/g de poids sec. Med, Min et Max sont respectivement les valeurs médiane, maximale et minimale pour chaque élément.	18

9. Annexe 1 : Liste des sites intégrés dans la base de données. Localisation, codes masse d'eau et station et coordonnées

Site	Bassin-versant	Code masse d'eau	Code station	Coordonnées (Lambert 93)	
				X	Y
La Selle à Montay	Artois-Picardie	FRAR50	1025000	738811,34	7002574,48
La Deule Canal à Courrière	Artois-Picardie	FRAR17	1078000	695879,68	7041227,75
L'ysér à Bambecque	Artois-Picardie	FRAR63	1089000	673463,36	7091737,91
La Créquoise à Beaurainville	Artois-Picardie	FRAR13	1097500	622202,51	7037533,78
Ancre à Bonnay	Artois-Picardie	FRAR16	1133000	665071,10	6981743,60
Les Evoissons à Bergicourt	Artois-Picardie	FRAR51	1138300	629546,31	6961690,49
Doller à Reiningue	Rhin-Meuse	FRCR57	2005700	1017040,27	6746858,19
Thur à Staffelfelden	Rhin-Meuse	FRCR69	2010000	1018957,00	6756045,99
Thur à Ensisheim	Rhin-Meuse	FRCR69	2011000	1024026,00	6760841,99
Petite Fecht à Stosswihr	Rhin-Meuse	FRCR95	2018780	1002464,67	6780411,97
Liepvrette à Hurst	Rhin-Meuse	FRCR117	2024000	1022148,00	6806414,99
Souffel à Mundolsheim	Rhin-Meuse	FRCR151	2037500	1048030,10	6848205,38
Madon à Xeulley	Rhin-Meuse	FRCR249	2058000	929200,52	6835115,52
Meurthe à Bouxières	Rhin-Meuse	FRCR283	2074000	932758,16	6854239,74
Moselle à Hauconcourt	Rhin-Meuse	FRCR213	2084000	932564,02	6903674,46
Rosselle à Petite-Roselle	Rhin-Meuse	FRCR457	2103800	979432,11	6908069,06
Méholle à Void	Rhin-Meuse	FRB1R507	2107900	892257,54	6843657,19
Seine à Nod-sur-Seine	Seine-Normandie	FRHR2A	3001000	817631,93	6741630,01
Groème à Terrefondrée	Seine-Normandie	FRHR4	3006271	839784,82	6738179,07
Ource à Autricourt	Seine-Normandie	FRHR6	3006590	820438,48	6767709,30
Méances à Chalmaison	Seine-Normandie	FRHR39	3013345	717792,87	6821519,76
Aube à Auberive	Seine-Normandie	FRHR14	3014130	853980,31	6745471,61
Landion à Argançon	Seine-Normandie	FRHR18	3016840	819116,04	6795901,73
Aujon à Longchamp-sur-Aujon	Seine-Normandie	FRHR15	3022000	836317,15	6785129,81
Chavanges à Lentilles	Seine-Normandie	FRHR21	3022718	818679,92	6821621,93
Trinquelin à Saint-Léger-Vauban	Seine-Normandie	FRHR52D	3032240	777033,00	6698065,00
Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry	Seine-Normandie	FRHR73A	3048000	666622,00	6826460,00
Ru d'Ancoeuil à Moisenay	Seine-Normandie	FRHR91	3051500	680887,00	6828771,00
Puiseaux à Nogent-sur-Vernisson	Seine-Normandie	FRHR80	3052338	678557,95	6750732,51
Yerres à Courtomer	Seine-Normandie	FRHR101	3078110	692714,92	6838698,17
Rognon à Bourdon-sur-Rognon	Seine-Normandie	FRHR109	3093900	872019,44	6792444,13
Chée à Merlaut	Seine-Normandie	FRHR125	3096650	823504,00	6853255,00
Ornain à Girauval	Seine-Normandie	FRHR122B	3099490	871434,10	6843696,16
Marne à Matougues	Seine-Normandie	FRHR130A	3104000	790859,00	6878119,00
Marne à Reuil	Seine-Normandie	FRHR130B	3105500	758250,00	6887129,00
Beuvronne à Gressy	Seine-Normandie	FRHR152	3120800	676075,21	6873406,28
Seine à Poissy	Seine-Normandie	FRHR230A	3125000	629586,00	6871185,00
Auve à Sainte-Menehould	Seine-Normandie	FRHR192	3145880	837823,19	6888339,11
Vesle à Taissy	Seine-Normandie	FRHR208B	3160000	781816,31	6901312,06
Vesle à Chassemy	Seine-Normandie	FRHR209	3162000	734852,00	6919445,99
Launette à Ver-sur-Launette	Seine-Normandie	FRHR226	3167350	677226,08	6889334,13

Lieutel à Neauphle-le-Vieux	Seine-Normandie	FRHR232A	3168690	616359,00	6857613,00
Mesangueville à Dampierre	Seine-Normandie	FRHR234	3174695	603720,44	6936994,43
Auchy à Ferrières-en-Bray	Seine-Normandie	FRHR234	3174825	608148,56	6932017,34
Vesgre à Saint-Lubin-de-la-Haye	Seine-Normandie	FRHR257	3190735	594460,53	6858345,58
Iton à Normanville	Seine-Normandie	FRHR259	3199200	564990,00	6888284,00
Risle à Ambenay	Seine-Normandie	FRHR266	3219780	532911,00	6862280,00
Noireau à Berjou	Seine-Normandie	FRHR304	3241957	444091,00	6867577,00
Souleuvre à Carville	Seine-Normandie	FRHR315	3250430	415263,00	6878911,00
Airon à Loges-Marchis	Seine-Normandie	FRHR347	3271965	399261,00	6835758,00
Loire à Bas-en-Basset	Loire-Bretagne	FRGR0003a	4004000	787624,38	6466874,98
Furan à Andrézieux-Bouthéon	Loire-Bretagne	FRGR0168	4008000	797573,60	6492480,00
Loire à Veauchette	Loire-Bretagne	FRGR0004a	4009000	799176,50	6496720,00
Mare à Gumières	Loire-Bretagne	FRGR1496	4009250	775447,49	6493314,08
Loire à Briennon	Loire-Bretagne	FRGR0004c	4015000	784705,10	6561350,00
Bourbince à Vitry-en-Charolais	Loire-Bretagne	FRGR0200	4019700	782782,10	6597430,00
Nièvre à Dompierre-sur-Nièvre	Loire-Bretagne	FRGR0227	4025040	718939,00	6681860,00
Bedat à Saint-Laure	Loire-Bretagne	FRGR0264	4034650	722875,10	6533430,00
Dore à Olliergues	Loire-Bretagne	FRGR0230b	4037900	749056,10	6508590,00
Vauvise à Jussy-le-Chaudrier	Loire-Bretagne	FRGR0290	4046545	694744,10	6669900,00
Loire à Jargeau	Loire-Bretagne	FRGR0007b	4050000	634433,90	6752518,00
Oussance à Ingrannes	Loire-Bretagne	FRGR0298	4050100	642369,10	6766496,00
Layon à Ivoy-le-Pré	Loire-Bretagne	FRGR2210	4068483	660697,51	6700369,66
Sarthe à Arnage	Loire-Bretagne	FRGR0456	4119000	486718,60	6760810,00
Jouanne à Forcé	Loire-Bretagne	FRGR0516	4127000	423939,60	6776832,00
Layon à Saint-Lambert-du-Lattey	Loire-Bretagne	FRGR0527	4134000	425754,20	6696966,00
Boire de la Roche à Saint-Julien-de-Concelles	Loire-Bretagne	FRGR2243	4137050	364328,90	6690074,00
Rau Vrignon à Saint-Aubin-des-Ormeaux	Loire-Bretagne	FRGR1482	4140020	392166,10	6661022,00
Petite boulogne à Saint-Etienne-du-Bois	Loire-Bretagne	FRGR0565	4150865	350827,52	6647659,79
Rance à Eréac	Loire-Bretagne	FRGR0014a	4164758	304456,40	6807992,00
Gouet à Saint-Julien	Loire-Bretagne	FRGR0041a	4170500	268937,11	6832115,98
Oust à l'aval de Loudéac	Loire-Bretagne	FRGR0126c	4195690	269139,63	6797553,54
Aff à Paimpont	Loire-Bretagne	FRGR0128	4199370	315429,70	6777126,00
Vilaine à Guichen	Loire-Bretagne	FRGR0010	4209990	344193,00	6777680,00
Baraize à Saint-Denis-d'Anjou	Loire-Bretagne	FRGR1131	4607001	441555,00	6746734,00
La Seugne à St-Germain de Lusignan	Adour-Garonne	FR14	5008000	429841,39	6489327,49
Le Tourtrat au niveau de Reparsac	Adour-Garonne	FRR9_2	5013150	447883,45	6518696,17
Les Eaux-Claires à Puymerle	Adour-Garonne	FR687	5015320	483083,06	6502504,35
La Lizonne en aval de Bioussac	Adour-Garonne	FRR21_1	5023100	488328,50	6553074,39
Colinet (Soptier) en aval de Cézac	Adour-Garonne	FRFR557A	5025830	427348,50	6449524,59
La Dronne à Coutras	Adour-Garonne	FR289B	5030000	452996,64	6442604,05
Isle à Razac	Adour-Garonne	FRFR288C	5039000	510934,84	6455394,83
Auvézère à Ségur-le-Chateau	Adour-Garonne	FRFR46B	5042080	567693,37	6482460,35
La Jalle de Blanquefort à Bordeaux	Adour-Garonne	FRFR51	5073800	419179,26	6430186,69
Dropt à Loubens	Adour-Garonne	FRFR61A	5079100	459458,91	6397156,28
Le Trec à Longueville	Adour-Garonne	FR632	5083300	479122,90	6378723,26
Tolzac à Varès	Adour-Garonne	FRFR58	5083585	492143,40	6374724,75

Le Riou Mort en aval de Viviez	Adour-Garonne	FR130	5093550	637362,29	6385544,84
La Boralde Flaujaguèse en amont d'Espalion	Adour-Garonne	FR127	5099170	683487,44	6381143,66
La Gélise en amont du Rimbez	Adour-Garonne	FR221	5106850	464841,10	6323918,60
La Grande Baise à Bapaume	Adour-Garonne	FR223	5107000	486844,59	6342357,78
Arrats à Saint-Antoine	Adour-Garonne	FRFR213A	5118000	527865,70	6329248,49
Aveyron à Rodez	Adour-Garonne	FRFR201	5127000	659597,22	6360008,53
Le Rieu Tort à Labastide St Pierre	Adour-Garonne	FRFR315B_13	5129150	568562,50	6315306,22
L'Agout à Ambrès	Adour-Garonne	FR152A	5134000	604737,10	6292432,24
Tarn à l'aval d'Albi	Adour-Garonne	FRFR314B	5142100	629763,63	6316922,25
Tarnon en amont de Rousses	Adour-Garonne	FRFR305	5151100	747195,81	6342811,13
Gimone à Lafitte	Adour-Garonne	FRFR211	5153000	549220,08	6321073,06
L'Hers mort au niveau de St-Sauveur	Adour-Garonne	FRFR164	5156950	569604,00	6295908,17
La Sausse à Toulouse	Adour-Garonne	FR598	5157100	577589,36	6284059,84
L'Aussonnelle à Seilh	Adour-Garonne	FR154	5158700	567681,71	6290109,15
Garonne en aval de Toulouse	Adour-Garonne	FRFR296B	5161000	486212,14	6358047,37
Ariège à Savignac les Ormeaux	Adour-Garonne	FR166	5173380	603131,50	6181593,77
Ariège à Luzenac	Adour-Garonne	FR166	5173395	598821,35	6185486,04
Lauze à Ax-les-Thermes (amont rue de Sorgeat)	Adour-Garonne	FR577	5173410	604654,86	6180903,76
Témoin amont Sarignier	Adour-Garonne	FR166	5173500	604648,65	6179925,01
Montbrun en amont de Montbrun-Bocage	Adour-Garonne	FRFR186_5	5176100	557215,88	6224434,17
La Leyre à Belin Beliet	Adour-Garonne	FR286	5191900	398305,98	6382146,13
Le Luzoué à Monein	Adour-Garonne	FRR431_1	5211550	409963,75	6245762,72
Gave du Pau à Abidos	Adour-Garonne	FRFR277B	5212000	406382,88	6262814,00
Gave du Pau à Rieulhès	Adour-Garonne	FRFR247A	5216210	444054,88	6227685,25
Gave du Pau à Gavarnie	Adour-Garonne	FRFR246	5218700	453435,77	6185820,72
Luzou à Bégaar	Adour-Garonne	FRFR233	5223210	389539,50	6310858,50
Le Retjon à Tartas	Adour-Garonne	FR232	5224100	392078,12	6310392,32
La Midouze à Campagne	Adour-Garonne	FR330B	5226000	406221,96	6318897,95
Bergon au niveau de Réans	Adour-Garonne	FRFR227_2	5228500	460058,35	6311741,49
Le Midour à Lannemaignan	Adour-Garonne	FR228	5229100	441237,98	6316651,96
la Saône à Scey-sur-Saône-et-St-Albin	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR1806a	6003600	923180,98	6733241,92
l'Ognon à Les-Aynans	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR662	6007000	959486,41	6729316,28
Au val de Gouhenans (Rahin)	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR661	6008000	960839,00	6730350,00
l'Ognon à Pesmes	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR656	6010000	892715,39	6690611,71
Ouche à Crimolois	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR646	6016000	860089,00	6687250,00
Le Doubs à Morteau	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR638	6018500	976317,78	6667178,66
le Doubs à Thoraise	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR625	6029100	919956,84	6679085,97
Guyotte à Saint-Bonnet	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR613	6035330	865948,00	6641525,00
Corne à Saint-Rémy	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR607	6038300	839108,00	6629175,00
Grosne occidentale à Trades	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR606	6039840	819997,00	6577455,00
Grosne à Sainte Cécile	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR606	6039960	823419,00	6587437,00
Guye à Angoin	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR604	6040400	820086,00	6606769,00
Reyssouze à Viriat	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR593a	6046000	869134,00	6575436,00
Veyle à Lent	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR587a	6048570	869769,00	6560119,00

la Petite Veyle à Grieges	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR580	6049010	842595,15	6575989,41
Veyle à Servas	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR587b	6049550	869164,00	6563689,00
	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR576	6051550	832172,72	6560109,16
Ardières à Saint-Jean- d'Ardières	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR576	6051550	832479,00	6560005,00
Ardières à Saint-Jean- d'Ardières	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR572	6053500	811607,61	6560976,20
Ergues à Poule-les- Echarmeaux	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR569a	6057200	824332,00	6527692,00
Turdine à l'Arbresle	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR1807b	6059500	842306,74	6523577,56
La Saône à Lyon	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2023	6067845	916062,33	6564950,59
La Semine à Châtillon en Michaille	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR541a	6068900	943398,24	6551660,13
les Usses à Cruseilles	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2001b	6069550	916441,71	6520643,24
le Rhône à Massignieu-De- Rives	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR11552	6069650	891477,04	6544924,44
Mandorne à Oncieu	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2001a	6072400	917721,43	6532071,95
le Rhône à Ruffieux	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR1491	6074500	925025,00	6514593,00
Tillet à Aix-les-Bains	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR517a	6078200	915573,00	6477559,00
Guiers-Mort à Saint-Laurent- du-Pont	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2001c	6079050	903878,15	6506129,26
le Rhône à Bregnier-Cordon	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2004	6080000	882021,34	6534207,47
le Rhône à St-Sorlin-en- Bugey	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR506b	6082500	867965,39	6515181,32
Bourbre à Jamezieu	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR506c	6082850	869567,00	6519822,00
Bourbre à Pont-Cheruy	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR506c	6083000	869892,00	6521561,00
Bourbre à Chavanoz	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR498	6085500	908417,40	6588795,44
la Bienne à Jeurre	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR1414	6086100	897067,00	6566834,00
Ange à Brion	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR484	6092000	871773,00	6526506,00
Ain à Saint-Maurice-de- Gourdans	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2005a	6092500	862358,56	6525799,37
le Rhône à Jons	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR474	6097000	837314,00	6500197,00
Gier à Givors	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2006	6098000	838861,00	6499536,00
Rhône à Chasse-sur-Rhône	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2017	6098700	855033,97	6499829,63
la Sevenne à St-Just- Chaleyssin	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR461a	6101905	817898,00	6453856,00
Cance à Saint-Julien- Vocance	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR460	6103500	840264,00	6457878,00
Cance à Sarras	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2006	6104000	842195,18	6455497,01
le Rhône à St-Vallier	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR11300	6104900	868463,00	6466262,00
Galaveyson à Saint-Clair- sur-Galaure	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR455	6105568	817646,00	6437780,00
Doux à Labathie d'Andorre	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR452	6106030	839966,00	6441598,00
Doux à Saint-Jean-de- Muzols	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2007	6106100	845732,59	6437271,10
le Rhône à La-Roche-de- Gluon	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR441	6107980	880001,00	6399472,00
Roanne à Saint-Benoît-en- Diois	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2007e	6113500	831255,74	6364276,39
le Rhône à Pierrelatte	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR1251	6118000	842961,15	6336034,16
Meyne à Orange	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR400c	6118550	776630,00	6358800,00
Luech à Genholac	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR398	6118600	789885,47	6354306,55
la Cèze à Robiac- Rochessadoule	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR387b	6123250	861242,00	6328780,00
Auzon à Monteux	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2008a	6125500	844381,20	6318516,44
le Rhône à Avignon	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR11390	6127900	790700,37	6337317,63
l'Avène à St Privas des	Rhône-Méditerranée				

Vieux	Corse				
Amous à Générargues	Rhône-Méditerranée	FRDR10277	6128860	778722,00	6330924,00
le Petit Rhône à St-Gilles	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR2009	6131900	817224,68	6286216,52
	Corse				
le Canal du Rhône à Sète à St-Gilles	Rhône-Méditerranée	FRDR3108a	6131910	815067,63	6285512,48
Isère à Gresy-sur-Isère	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR354b	6137200	954911,41	6503611,14
	Corse				
l'Arvan à St-Jean-de-Maurienne	Rhône-Méditerranée	FRDR361c	6138870	962956,41	6469546,44
Canal de la Romanche à Jarrie	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR3054	6144950	914171,03	6447650,86
	Corse				
Drac à Fontaine	Rhône-Méditerranée	FRDR325	6146500		
Canal de la Fure Morge à Polienas	Corse			912113,00	6458377,00
	Rhône-Méditerranée	FRDR322c	6147160	894919,44	6461924,01
	Corse				
Drevenne à Rovon	Rhône-Méditerranée	FRDR10217	6147220	894287,00	6458073,00
l'isère à Châteauneuf-sur-Isère	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR312	6149500	852443,77	6437329,79
la Duance à Sisteron	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR289	6153900	934479,35	6350598,30
	Corse				
la Durance à Salignac	Rhône-Méditerranée	FRDR278	6156505	937396,58	6343361,82
	Corse				
la Bléone à Mallemoisson	Rhône-Méditerranée	FRDR276a	6158000	951793,19	6331712,75
	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR275	6159000		
Durance à Les Mées	Corse			937563,00	6330720,00
la Durance à Vinon-sur-Verdon	Rhône-Méditerranée	FRDR267	6159800	924721,53	6299954,81
	Corse				
Agula à Alenya	Rhône-Méditerranée	FRDR233	6169050	699338,00	6170903,00
	Corse				
Têt à Sainte-Marie-la-Mer	Rhône-Méditerranée	FRDR223	6172100	701920,00	6179025,00
Rebenty à Cailla	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR202	6175645	634529,38	6191111,30
	Corse				
Tréboul à Castelnaudary	Rhône-Méditerranée	FRDR196	6177910	617123,00	6244433,00
la Glèpe à Avezé	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR11732	6181210	748045,41	6319241,89
	Corse				
l'Hérault à Brissac	Rhône-Méditerranée	FRDR171	6182050	756446,44	6305296,37
	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR142	6189500	772548,00	6275019,00
Lez à Lattes	Corse				
le Vieux Vistre à le Cailar	Rhône-Méditerranée	FRDR132	6193800	800260,63	6280238,19
	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR11804	6194000		
Luynes à Aix-en-Provence	Corse			896064,00	6267461,00
La Cadière à Marignane	Rhône-Méditerranée	FRDR126b	6196950	878390,89	6259411,32
	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR522b	6300000	912411,86	6531006,70
Séran à Béon	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR486	6300001	896133,00	6540654,00
Albarine à Chaley	Corse				
Lanterne à Sainte-Marie-en-Chaux	Rhône-Méditerranée	FRDR690	6404500	947397,00	6748490,00
	Corse				
Durgeon à Vesoul	Rhône-Méditerranée	FRDR682	6416300	937751,00	6729704,00
	Corse				
Salon à Chalindrey	Rhône-Méditerranée	FRDR674	6416550	884079,00	6747955,00
la Cuisance à Souvans	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR618	6468450	894505,50	6658531,21
	Corse				
Valserine à Montanges	Rhône-Méditerranée	FRDR545	6580130	916383,44	6564994,33
	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR417b	6580238	798544,00	6376728,00
Baume à Rosières	Corse				
le Reyssozue à Attignat	Rhône-Méditerranée	FRDR593a	6580602	867903,70	6577698,90
	Corse				
le Paillon à Drap	Rhône-Méditerranée	FRDR76b	6700415	1047477,53	6303606,97
	Corse				
Toulourenc à Saint-Léger-du-Ventoux	Rhône-Méditerranée	FRDR391	6710039	882069,00	6348202,00
Bras des Armeniers à Sorgues	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR2007f	6710043	847799,19	6326505,31
	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR568a	6800009	822646,00	6534789,00
Azergues à Legny	Corse				
la Saône à St-Symphorien-d'Ancelles	Rhône-Méditerranée	FRDR1807a	6810010	837552,49	6567344,50
l'Ouvèze à Rompon	Corse				
	Rhône-Méditerranée	FRDR1320c	6820013	837258,41	6408158,99
	Corse				

Varèze à Cour-et-Buis	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR471	6820073	859976,00	6484614,00
Gier à La-Valla-en-Gier	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2019	6820138	820194,67	6480468,19
Gier à La-Valla-en-Gier	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2019	6820138	820194,67	6480468,19
la Fure à Apprieu	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR323a	6830038	897712,76	6480121,96
Fure à Tullins - Hurtieres	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR323b	6830055	894839,12	6471311,95
le Thiou à Cran-Gevrier	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR536	6850166	940144,97	6539144,94

10. Annexe 2 : BBAC pour les composés métalliques

Compounds	BBAC ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Ag	0.21
Al	920
B	5.80
Ba	106
Cd	0.21
Co	0.57
Cr	1.10
Cu	84.0
Fe	486
Hg	0.10
Li	1.10
Mn	81.8
Mo	0.50
Ni	1.20
Pb	0.70
Se	2.60
U	0.12
Zn	78.9

11. Annexe 3 : BBAC pour les composés organiques

Compounds	BBAC (ng g ⁻¹)
1,2,3,4,6,7,8,9 Octachlorodiben-zodioxine	28.4
2,3,7,8 Tetrachlorodiben- zofurane	8.90
2,4'-DDT	5.40
4,4'-DDD	4.90
4-4'-DDE	3.50
4-4'-DDT	14.7
Anthracene	7.30
Anthraquinone	8.50
Benzo(a)anthracene	6.40
Benzo(a)pyrene	3.20
Benzo(b+j) fluoranthene	4.50
Benzo(e)pyrene	5.50
Benzo(g,h,i)perylene	5.00
Benzo(k) fluoranthene	1.70
Benzyl Butyl Phtalate	11.9
Chrysene	2.10
Dicofol	7.29
Fluoranthene	18.9
Fluorene	21.4
HCH gamma(Lindane)	1.80
Hexachlorobenzene	2.00
Hexachlorobutadiene	2.80
Indeno(1,2,3-cd) pyrene	3.10
Methyl-2 fluoranthene	2.60
Methyl-2 naphtalene	40.1
Naphthalene	57.9
PCB 101	6.10
PCB 118	4.20
PCB 123	1.90
PCB 138	5.90
PCB 149	5.30
PCB 153	7.60
PCB 156	3.40
PCB 167	2.50
PCB 180	3.20
PCB 28	3.00
PCB 44	3.30
Pendimethaline	7.70
Perylene	3.20
Phenanthrene	57.7
Pyrene	17.2
Trichlorobenzene 1,2,3	2.40
Trichlorobezene 1,2,4	4.90

Irstea

1, rue Pierre-Gilles de Gennes
CS 10030
92761 Antony Cedex

01 40 96 61 21

www.irstea.fr

Agence Française pour la Biodiversité

Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes

01 45 14 36 00

www.afbiodiversite.fr