



**HAL**  
open science

## 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

Olivier Geffard, J.P. Besse, Arnaud Chaumot, A. Francois, J. Gahou, G. Grisot, C. Lopes, R. Recoura Massaquant, Marina Coquery

### ► To cite this version:

Olivier Geffard, J.P. Besse, Arnaud Chaumot, A. Francois, J. Gahou, et al.. 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. [Rapport de recherche] Irstea. 2014, pp.60. hal-02599952

**HAL Id: hal-02599952**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02599952v1>**

Submitted on 6 Feb 2024

**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.

*Partenariat 2013 - 2015 – Domaine substances polluantes  
Action 36 – Surveillance des substances prioritaires dans le biote*

## 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*

***Rapport final***

*Olivier GEFFARD, Jean-Philippe BESSE, Arnaud CHAUMOT,  
Adeline François, Josiane GAHOU, Ghislaine GRISOT, Christelle LOPES,  
Rémi RECOURA-MASSAQUANT, Marina COQUERY  
(Irstea Lyon)*

***Février 2014***

## Contexte de programmation et de réalisation

Ce rapport a été réalisé dans le cadre d'un partenariat ONEMA-Irstea : Fiche action 2013-2015 « Surveillance des substances prioritaires dans le biote : développement d'une méthodologie pour l'amélioration du suivi chimique des milieux ». Il fait suite aux travaux réalisés sur les années 2011 et 2012 portant sur la « Surveillance des substances prioritaires dans le biote ».

En vue d'atteindre les objectifs de la DCE concernant le suivi des tendances temporelles et spatiales de la concentration des contaminants dans les eaux, et notamment des substances prioritaires présentes à l'état de traces dans la colonne d'eau, ainsi que l'application des normes de qualité environnementale (NQE biote), il convient aujourd'hui de développer des méthodes basées sur l'utilisation du biote, d'en harmoniser et standardiser les méthodologies d'échantillonnage et les critères de choix des organismes sentinelles.

Dans ce contexte, un cadre méthodologique pour la mise en œuvre de la surveillance chimique des milieux d'eau douce à l'aide du biote a été mis en place. La présente action visait à appliquer la méthode développée à l'échelle nationale, afin d'évaluer la faisabilité de la méthode et consolider les résultats déjà acquis au niveau régional.

## Les auteurs

---

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

Olivier GEFFARD - Chargé de Recherche, [olivier.geffard@irstea.fr](mailto:olivier.geffard@irstea.fr)

Jean-Philippe BESSE - Chargé de Recherche, [jean-philippe.besse@irstea.fr](mailto:jean-philippe.besse@irstea.fr)

Arnaud CHAUMOT - Chargé de Recherche, [arnaud.chaumot@irstea.fr](mailto:arnaud.chaumot@irstea.fr)

Adeline FRANÇOIS - Ingénieur d'études, [adeline.francois@irstea.fr](mailto:adeline.francois@irstea.fr)

Rémi RECOURA-MASSAQUANT - Ingénieur d'études, [remi.recoura-massaquant@irstea.fr](mailto:remi.recoura-massaquant@irstea.fr)

Laboratoire Biométrie et Biologie Évolutive, Villeurbanne

Christelle LOPES - Maître de conférences, [christelle.lopes@univ-lyon1.fr](mailto:christelle.lopes@univ-lyon1.fr)

Laboratoire de chimie des milieux aquatiques, UR MALY, Irstea Lyon-Villeurbanne

Josiane GAHOU - Assistante Ingénieur, [josiane.gahou@irstea.fr](mailto:josiane.gahou@irstea.fr)

Ghislaine GRISOT - Assistante Ingénieur, [ghislaine.grisot@irstea.fr](mailto:ghislaine.grisot@irstea.fr)

Marina COQUERY - Directrice de Recherche, [marina.coquery@irstea.fr](mailto:marina.coquery@irstea.fr)

## Les correspondants

---

**Onema** : Olivier PERCEVAL, DAST, [olivier.perceval@onema.fr](mailto:olivier.perceval@onema.fr)

**Irstea** : Marina COQUERY, UR MALY, [marina.coquery@irstea.fr](mailto:marina.coquery@irstea.fr)

**Référence du document** : O. Geffard, Besse, J.P., A. Chaumot, A. François, R. Recoura-Massaquant, C. Lopes, J. Gahou, G. Grisot, M. Coquery (2014). *Rapport de synthèse de l'étude pilote : déploiement de l'outil gammare engagé au niveau national, résultats pour les métaux ciblés. Rapport IRSTEA-ONEMA, 60p.*

<b>Droits d'usage :</b>	<b>Public (après délai 6 mois)</b>
<b>Couverture géographique :</b>	National
<b>Niveau géographique :</b>	National
<b>Niveau de lecture :</b>	Professionnels, experts
<b>Nature de la ressource :</b>	<b>Rapport final</b>

**Rapport de synthèse de l'étude pilote : déploiement de l'outil gammare encagé au  
niveau national, résultats pour les métaux ciblés.**

**Rapport final**

O. Geffard, Besse, J.P., A. Chaumot, A. François, J. Gahou,  
G. Grisot, C. Lopes, R. Recoura-Massaquant, M. Coquery

**Résumé**

---

Ce travail porte sur l'évaluation de la pertinence et de la faisabilité d'une approche de biosurveillance active (basée sur l'utilisation d'organismes encagés) pour le suivi des tendances de la contamination métallique pour les eaux continentales.

L'espèce de crustacé amphipode *Gammarus fossarum* a été choisie comme organisme d'intérêt. L'historique d'exposition des organismes est connu et les facteurs biotiques tels que le sexe, le poids et l'apport en nourriture (tant en quantité qu'en qualité), sont contrôlés dans la méthodologie afin de proposer une approche robuste et des résultats comparables entre stations et dans le temps.

Des gammares encagés ont été déployés sur plus de 130 sites au niveau national entre mai 2012 et juillet 2013. Les sites d'étude ont été choisis pour représenter une large gamme de caractéristiques physico-chimiques ainsi que diverses intensités et types de pressions anthropiques (agricoles, industrielles, urbaines). Après une semaine d'exposition sur site, les concentrations de 11 métaux et métalloïdes (Cd, Pb, Hg, Ni, Se, As, Cr, Co, Cu, Ag et Zn) ont été mesurées dans les gammares.

Sur l'ensemble des stations, de façon générale, tous les métaux ont été quantifiés dans *G. fossarum*, excepté le sélénium. Sur la base des données acquises durant cette campagne de déploiement au niveau national, nous avons validé les « valeurs seuils de contamination biodisponible » ou BBAC (Bioavailable Background Assessment Concentration) déterminées lors de la campagne régionale pour Co, Ni, Cd, Pb et Hg. Nous avons aussi déterminé les BBAC pour d'autres métaux, à savoir Cr, Cu, Zn, As et Ag (BBAC non déterminés lors de la campagne régionale). Conjointement, nous avons déterminé une valeur de référence, appelée « concentration de fond biodisponible » ou BBC (Bioavailable Background Concentration), valeurs indicatrices des concentrations biodisponibles moyennes de fond.

Par ailleurs, la perspective de pouvoir vérifier la conformité aux normes de qualité environnementale (NQE biote) à partir d'organismes encagés implique entre autres que les niveaux de contaminants dans le biote soient en état stationnaire avec les niveaux de contamination du milieu. Dans cette optique, des expositions *in situ* de 3 semaines ont été réalisées pour évaluer l'impact de la durée sur les teneurs accumulées par les gammares (cinétique d'exposition). Les résultats obtenus montrent que pour plus de 80% des stations étudiées, la concentration métallique dans les organismes exposés une, deux ou trois semaines est similaire. Lorsque des variations de concentrations ont été observées, celles-ci peuvent être attribuées à une évolution de la contamination des milieux ou associées à des niveaux très élevés de contaminations des milieux.

**Mots clés (thématique et géographique)**

---

Surveillance chimique ; métaux ; eaux continentales ; biosurveillance active ; gammare ; valeur seuil de contamination biodisponible

**Summary report of the pilot study: deployment of the Gammarus tool, caged at national level, results for the target metals.**

**Final Report**

O. Geffard, Besse, J.P., A. Chaumot, A. François, J. Gahou,  
G. Grisot, C. Lopes, R. Recoura-Massaquant, M. Coquery

**Abstract**

We investigated the suitability of an active biomonitoring approach, using the ecologically relevant species *Gammarus fossarum*, to assess trends of metal contamination in continental waters, over time and between stations.

Caged gammarids were translocated across 130 river sites nationwide from May 2012 to July 2013. Study sites were chosen to represent different physicochemical characteristics and various anthropogenic pressures.

After one week of exposure, concentrations of 11 metals and metalloids (Cd, Pb, Hg, Ni, Se, As, Cr, Co, Cu, Ag and Zn) were measured in gammarids.

Overall, all the metals were quantified in *G. fossarum*, with the notable exception of Se. On the basis of data acquired during this campaign of deployment at the national level, we obtained similar “Bioavailable Background Assessment Concentration” (BBAC) values than those determined in a previous field experiment with fewer, geographically constrained sites, for Co, Ni, Cd, Pb and Hg. We were also able to determine the BBAC for other metals, namely Cr, Cu, Zn, As and Ag, that could not have been derived during the regional campaign.

At the same time, we identified a reference value, called “Bioavailable Background Concentration” (BBC) to determine if the concentrations in *Gammarus* can be considered close to background levels.

Assessment of compliance with environmental quality standards derived in biota (EQS biota) from caged organisms implies that contaminant levels in organisms have reached steady-state. In this context, three-week *in situ* exposures have been conducted to assess the impact of exposure time on the levels of metals accumulated by *Gammarus* (kinetic exposure). The results obtained show that for most sites than 80% of the sites studied, the metal concentration in organisms did not vary significantly with the duration of exposure, from one to three weeks. Where changes in concentrations were observed, they could be attributed to changes in environmental contamination or associated with extremely high levels of contamination.

**Keywords**

Chemical monitoring; metals; continental waters; active biomonitoring; gammarids; bioavailable background assessment concentration

**Rapport de synthèse de l'étude pilote : déploiement de l'outil gammare encagé au niveau national, résultats pour les métaux ciblés.**

**Rapport final**

O. Geffard, Besse, J.P., A. Chaumot, A. François, J. Gahou,  
G. Grisot, C. Lopes, R. Recoura-Massaquant, M. Coquery

## **Synthèse pour l'action opérationnelle**

### **Contexte général**

La présente étude s'inscrit dans le contexte de la Directive cadre sur l'eau (DCE) et notamment dans celui de la surveillance de l'état chimique pour les eaux continentales. La nouvelle directive européenne adoptée en août 2013 (2013/39/CE) généralise l'utilisation du biote en surveillance, notamment pour l'évaluation de la conformité des prélèvements vis-à-vis de NQE définies pour le biote et pour l'évaluation des tendances de la contamination (i.e. objectif de non dégradation de la qualité des milieux aquatiques).

Dans le précédent rapport méthodologique (Besse *et al.* 2012a), nous avons montré que l'encagement de gammare était un outil intéressant pour la surveillance des substances prioritaires et candidates de la DCE pour les eaux continentales. En effet, cette approche permet une totale liberté du choix des sites, mais également un suivi robuste, reproductible et comparable dans le temps des tendances de la contamination. Ainsi cette approche s'inscrit parfaitement pour le suivi des tendances de la contamination chimique, mais également dans la stratégie de l'évaluation de l'état chimique des milieux, via la détection dans le gammare de substances bio-accumulables ou l'utilisation des teneurs en contaminants dans les gammares pour évaluer le risque de dépassement des valeurs de NQE-biote se rapportant au poisson.

Des « valeurs seuils de contamination biodisponible » (BBAC) ont été définies pour les métaux au niveau de la région Rhône-Alpes. Ces valeurs permettent une classification des sites en fonction du niveau de contamination biodisponible pour le gammare (encagé).

### **Objectifs**

L'objectif principal de cette étude était de valider les valeurs seuils (BBAC) pour les métaux pour l'ensemble des systèmes continentaux rencontrés à l'échelle nationale (France métropolitaine). L'étude a porté sur 129 sites répartis au niveau national. Un tel effort est nécessaire afin d'établir si les BBAC peuvent être appliquées à l'échelle nationale.

De plus, il convenait d'évaluer si la méthode de biosurveillance active, basée sur une semaine d'exposition, permet d'obtenir des niveaux de contamination métallique dans les organismes représentatifs des niveaux observés pour des expositions plus longues et si les niveaux de contamination des organismes encagés sont stables dans le temps. Dans cette optique, des cinétiques d'accumulation *in situ* ont été mises en place allant jusqu'à trois semaines d'exposition.

### **Méthodologie**

Des gammares encagés (6 réplicats de 20 individus) ont été déployés sur 129 sites à l'échelle du territoire national sur une période de 7 jours. Les sites d'étude ont été choisis pour représenter une large gamme de caractéristiques physico-chimiques ainsi que diverses



pressions anthropiques. Ce sont en grande partie des sites de l'étude prospective de recherche de micropolluants dans les eaux de surface de métropole. Pour respecter la méthode précédemment développée, seuls des gammars mâles matures de même classe d'âge ont été exposés (Besse *et al.*, 2012a).

Après exposition, les concentrations de 11 métaux (Cd, Pb, Hg, Ni, Se, As, Cr, Cu, Ag, Co et Zn) ont été mesurées dans les gammars.

### **Principaux acquis**

Les résultats de ce travail confirment l'intérêt de l'encagement chez *G. fossarum* pour le suivi de la contamination chimique des milieux aquatiques continentaux. Excepté pour le sélénium, l'ensemble des métaux étudiés sont bioaccumulés par le gammare et présents à des teneurs supérieures aux limites de quantification (LQ). Dans le cadre du suivi des tendances demandé par la DCE, ces travaux montrent une nouvelle fois l'intérêt d'utiliser le biote comme matrice accumulatrice des métaux pour l'étude des niveaux de contamination, mais également son intérêt comme matrice intégratrice au cours du temps, donnant ainsi une meilleure représentation de la contamination des milieux en comparaison aux prélèvements ponctuels d'eau. De plus, la méthodologie proposée, qui permet de contrôler l'ensemble des facteurs biologiques confondants, conduit à comparer de façon fiable les données dans le temps et l'espace, condition indispensable pour le suivi des tendances.

L'utilisation d'une méthode contrôlée, aussi bien techniquement que sur les paramètres biologiques des organismes utilisés, a permis de proposer une démarche pour définir une BBC (concentration de fond biodisponible) et une BBAC (valeur seuil de contamination biodisponible). Pour les 5 métaux (Co, Ni, Cd, Pb et Hg) pour lesquels des valeurs seuils (BBAC) avaient été déterminées au niveau régional, les résultats de l'étude nationale ont permis de retrouver des valeurs similaires. Pour les 5 autres métaux (Cr, Cu, Zn, As et Ag), nous avons déterminé de nouvelles valeurs de BBAC, qui confirment les valeurs établies précédemment, mais non validées, au niveau régional. Ainsi, l'utilisation d'une trentaine de sites bien répartis sur l'ensemble de la région Rhône-Alpes constitue un jeu de données représentatif d'une situation nationale pour définir de façon fiable des BBAC.

Au-delà de ce qui est requis par la DCE pour le suivi des tendances, la définition de la BBAC constitue un outil d'aide à la gestion des milieux aquatiques. Ces valeurs permettent d'identifier quel métal, est présent de façon anormale et sous forme biodisponible, par conséquent susceptible de conduire à des effets néfastes. Ainsi l'utilisation de ces BBAC permet d'orienter les actions à mettre en place pour revenir à un état de non contamination biodisponible.

Concernant le deuxième objectif de ce travail, il apparaît que les concentrations en métaux mesurées au bout d'une semaine varient généralement assez peu dans le temps. En effet, les travaux de cinétique menés dans cette étude montrent qu'une exposition d'une semaine est dans plus de 80% des cas représentative de la contamination des milieux étant donné qu'aucune augmentation significative des teneurs en métaux dans les gammars n'a été observée jusqu'à la troisième semaine.

**Tableau :** Détermination des différentes valeurs seuil (BBAC) et valeurs de fond (BBC) pour l'étude nationale (129 sites) et régionale (27 sites). Les BBAC pour les métaux validés de l'étude régionale sont données pour indication. Les concentrations sont exprimées en µg/g de poids sec (ps).

	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Ni</b>	<b>Hg</b>	<b>Co</b>
<b>LQ (µg/g ps)</b>	0,05	0,10	0,48	0,010	0,10
<b>BBC (µg/g ps) étude nationale</b>	0,19	0,37	0,76	0,066	0,39
<b>BBAC (µg/g ps) étude nationale</b>	0,30	0,61	1,03	0,087	0,57
<i>BBAC (µg/g ps) - étude régionale</i>	<i>0,30</i>	<i>0,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,060</i>	<i>0,50</i>

	<b>Ag</b>	<b>As</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>
<b>LQ (µg/g ps)</b>	0,05	0,10	0,96	0,09	0,24
<b>BBC (µg/g ps) étude nationale</b>	0,14	1,16	68,1	0,62	69,6
<b>BBAC (µg/g ps) étude nationale</b>	0,19	1,45	75,5	1,01	83,6

### **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/Onema, 100 p.
- Besse, J.-P., Coquery, M., Lopes, C., Chaumot, A., Geffard, O. (2012a). Développement d'une méthodologie pour l'amélioration du suivi chimique des eaux continentales – Approche de biosurveillance active sur *Gammarus fossarum*. Irstea/Onema, 65 p.
- Besse, J.-P., Geffard, O., Coquery, M. (2012b). Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the Water Framework Directive. *TrAC - 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: Towards the determination of threshold values. *Water Research* 47, 650-660.

### **Remerciements**

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

Lysiane Dherret (LAMA, Irstea Lyon) pour les analyses chimiques ; Alexandre Sapin, Renaud Tutundjian, Patrice Noury, Guillaume Jubeaux et Hervé Quéau (Ecotox, Irstea Lyon) pour leur contribution au travail de pêche, de tri des gammars et de déploiement des systèmes d'encagement sur le terrain.

L'ensemble des membres du comité de pilotage de l'étude : Olivier Perceval et Pierre-François Staub de l'Onema, Jean Prygiel de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie, Thomas Pelte de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse, Xavier Bourrain de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Anne-Sophie Allonier-Fernandes l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, Sandrine Andrés de l'INERIS et Stéphanie Schaan du MEDDE/DGALN/DEB/GR3.



# Sommaire

Résumé.....	3
Abstract.....	4
Synthèse pour l'action opérationnelle .....	5
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTE DES DEFINITIONS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>12</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>14</b>
1.1. Contexte général.....	14
1.2. Objectifs .....	14
<b>2. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Prélèvement et stabulation des organismes .....</b>	<b>16</b>
2.1.1. Site de prélèvement des gammars.....	16
2.1.2. Méthodes de prélèvement et de stabulation des gammars .....	16
<b>2.2. Protocole d'exposition et suivi des paramètres physico-chimiques pour l'étude nationale</b>	<b>17</b>
2.2.1. Conditions d'exposition .....	18
2.2.2. Sites d'exposition.....	18
2.2.3. Détermination des valeurs seuils de contamination biodisponible.....	19
<b>2.3. Cinétique d'accumulation sur 21 jours .....</b>	<b>20</b>
2.3.1. Conditions d'exposition .....	20
2.3.2. Sites d'exposition.....	20
<b>2.4. Analyse des métaux .....</b>	<b>21</b>
<b>3. DETERMINATION DES VALEURS SEUILS DE CONTAMINATION BIODISPONIBLE AU NIVEAU NATIONAL .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. Taux de récupération des systèmes et survie des organismes.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2. Accumulation des métaux dans les gammars .....</b>	<b>22</b>
3.2.1. Teneurs en métaux dans les organismes avant exposition .....	22
3.2.2. Teneurs en métaux dans les gammars encagés .....	23
<b>3.3. Détermination des valeurs seuils de contamination biodisponible (BBAC) et valeurs de fond (BBC).....</b>	<b>23</b>
<b>4. CINETIQUES D'ACCUMULATION .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. Taux de récupération des systèmes et survie des organismes.....</b>	<b>24</b>

<b>4.2. Accumulation des métaux dans les gammars</b> .....	<b>25</b>
<b>5. DISCUSSION GENERALE</b> .....	<b>29</b>
<b>REFERENCES</b> .....	<b>31</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>32</b>
<b>ANNEXE A. Etude de la variabilité de la bioaccumulation</b> .....	<b>33</b>
<b>ANNEXE B. Liste des sites retenus dans l'étude</b> .....	<b>34</b>
<b>ANNEXE C. Caractéristiques physico-chimiques des sites évalués</b> .....	<b>40</b>
<b>ANNEXE D. Taux de survie des gammars</b> .....	<b>43</b>
<b>ANNEXE E. Concentrations mesurées dans les gammars pour la campagne nationale</b> .....	<b>45</b>
<b>ANNEXE F. Détermination des valeurs seuils de contamination biodisponible pour les métaux analysés</b> .....	<b>54</b>
<b>ANNEXE G. Concentration en métaux mesurées dans les gammars à 7, 14 et 21 jours (cinétiques d'exposition sur 9 sites)</b> .....	<b>59</b>

## Liste des abréviations

**BBAC** : Valeur seuil de contamination biodisponible (ou Bioavailable Background Assessment Concentration)

**BBC** : Concentration de fond biodisponible (ou Bioavailable Background Concentration)

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

**ICP-MS** : Plasma à couplage inductif couplé à la spectrométrie de masse

**LQ** : Limite de quantification

**NQE** : Norme de qualité environnementale

## Liste des définitions

**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.

**Concentration de fond biodisponible** (ou Bioavailable Background Concentration, **BBC**) : valeur de concentration de fond biodisponible d'un contaminant définie comme la moyenne des concentrations dans les gammars mesurées au niveau national et qui suivent une distribution normale.

**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 gammars supérieure à cette valeur seuil signe la présence d'une contamination biodisponible significative pour le site étudié.

## Liste des tableaux

Tableau 1. Sites retenus pour la cinétique d'accumulation .....	21
Tableau 2. Concentrations métalliques dans les gammars encagés après 7 jours d'exposition .....	23
Tableau 3. Détermination des différentes valeurs seuil et valeurs de fond pour l'étude nationale (129 sites) et régionale (27 sites). .....	24
Tableau 4. Liste des 41 sites sur lesquels ont été effectués des triplicats. ....	33
Tableau 5. Liste des sites retenus pour l'étude.....	34
Tableau 6. Caractéristiques physicochimiques (pourcentage d'oxygène dissous, dureté et température) des eaux de surface sur les sites d'étude.....	40
Tableau 7. Observations effectuées lors de la récupération des systèmes d'encagement et pour les sites sur lesquels un faible taux de survie des gammars a été observé ( $\leq 75\%$ ). ...	44
Tableau 8. Teneurs en métaux dans les gammars pêchés, triés et stabulés 15 jours en laboratoire et avant exposition sur les sites d'étude.....	45
Tableau 9. Données de concentration pour les métaux (en $\mu\text{g/g}$ de poids sec) mesurées dans les gammars exposés 7 jours, et informations sur les échantillons traités pour chaque site. ....	46
Tableau 10. Données de concentration en mercure (en $\mu\text{g/g}$ de poids sec) mesurées dans les gammars exposés 7 jours, et informations sur le nombre de répliqués traités pour chaque site.....	51
Tableau 11. Teneurs métalliques mesurées dans les gammars encagés (en $\mu\text{g/g}$ de poids sec) aux différents temps d'exposition de la cinétique (7, 14 et 21 jours).....	59

## Liste des figures

Figure 1. Localisation du site de prélèvement de Bourgoin-Jallieu .....	16
Figure 2. Fixation des systèmes d'exposition dans la cage. ....	17
Figure 3. Seau d'exposition en place dans le milieu. ....	17
Figure 4. Localisation géographique des sites retenus. ....	19
Figure 5. Exemple de BBAC et de BBC déterminées pour le cadmium, selon la méthode statistique. ....	20
Figure 6. Concentrations en Ni mesurées dans les gammares encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. ....	26
Figure 7. Concentrations en Cd mesurées dans les gammares encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. ....	26
Figure 8. Concentrations en Pb mesurées dans les gammares encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. ....	27
Figure 9. Concentrations en Co mesurées dans les gammares encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. ....	27
Figure 10. Concentrations en Cr mesurées dans les gammares encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. ....	28
Figure 11. Concentrations en As mesurées dans les gammares encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. ....	28
Figure 12. Taux de survie (%) des gammares après une semaine d'exposition sur les 123 sites évalués. ....	43
Figure 13. Valeur seuil déterminée pour Ag.....	54
Figure 14. Valeur seuil déterminée pour As.....	54
Figure 15. Valeur seuil déterminée pour Cd. ....	55
Figure 17. Valeur seuil déterminée pour Cr. ....	56
Figure 18. Valeur seuil déterminée pour Cu. ....	56
Figure 19. Valeur seuil déterminée pour Ni.....	57
Figure 20. Valeur seuil déterminée pour Pb. ....	57
Figure 21. Valeur seuil déterminée pour Zn.....	58
Figure 22. Valeur seuil déterminée pour Hg. ....	58



# 1. Introduction

## 1.1. Contexte général

La présente étude s'inscrit dans le contexte de la Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE ; DCE). L'objectif de la DCE pour la surveillance de l'état chimique est double :

1. évaluer les tendances temporelles de la contamination dans les différents compartiments des écosystèmes aquatiques ;
2. déterminer si les stations étudiées sont en conformité avec les normes de qualité environnementale (NQE).

Dans ce contexte, un premier travail d'état de l'art sur l'intérêt du caging d'invertébré a été réalisé (Besse *et al.*, 2011), puis une approche de biosurveillance active avec l'amphipode *Gammarus fossarum* a été développée à Irstea et appliquée sur une trentaine de sites au niveau de la région Rhône-Alpes (Besse *et al.*, 2012a). Les résultats de cette étude ont montré que l'encagement de gammare était un outil intéressant pour la surveillance des substances prioritaires et candidates de la DCE pour les eaux continentales : cette approche active facilite le choix des sites, et fournit également un suivi robuste, reproductible et comparable dans l'espace de la contamination (suivi des tendances), car elle permet :

- l'utilisation d'organismes homogènes en termes d'espèce, de taille et de sexe ;
- un contrôle de la qualité et de la quantité de la nourriture fournie ;
- un temps d'exposition connu et identique pour tous les organismes échantillonnés ;
- un protocole identique quel que soit le site d'étude ;
- une optimisation des conditions de survie

Par ailleurs, et à partir de cette approche, des « valeurs seuils de contamination biodisponible » (Bioavailable Background Assessment Concentrations ou BBAC), ont été proposées au niveau régional. Ces valeurs permettent une discrimination des sites d'études, (sites contaminés vs sites non contaminés) en fonction des valeurs de contamination biodisponible mesurées. Ces BBAC permettent donc de dresser des typologies de contamination pour les sites étudiés.

## 1.2. Objectifs

L'objectif principal de cette étude était une application nationale de l'outil de biomonitoring actif proposé avec le gammare et de proposer des valeurs de BBAC pertinentes à cette échelle. Dans ce travail, seuls les mêmes métaux que ceux étudiés lors de notre précédente étude régionale (Co, Ni, Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, As, Ag, Se et Cr ; Besse *et al.*, 2012a) ont été mesurés. De plus, des valeurs de concentration de fond biodisponible (BBC) ont également été estimées. Pour ceci, une étude a été menée sur 129 sites répartis sur l'ensemble du territoire, présentant des caractéristiques différentes et soumis à diverses pressions anthropiques. Pour des questions de coût analytique (notamment pour les organiques), nous avons choisi de travailler sur la démarche méthodologique en utilisant les métaux. Parallèlement, la variabilité de l'outil a été évaluée par la mise en place de triplicats sur quelques sites.

Un second objectif de ce travail était d'étudier les cinétiques d'accumulation des métaux par les organismes encagés sur une période allant jusqu'à trois semaines. Le but était de vérifier (1) si la méthode de biomonitoring active, basée sur une semaine d'exposition, permettait d'obtenir des niveaux de contamination dans les organismes représentatifs des niveaux observés pour des expositions plus longues et (2) si les niveaux de contamination des organismes encagés sont stables dans le temps.

Enfin, un troisième objectif de cette étude nationale était la comparaison des concentrations en métaux mesurées dans les gammares encagés avec les concentrations

en métaux labiles mesurées par DGT (Diffusive Gradient in Thin Film ; déployées en même temps sur les mêmes sites). Les résultats de cette comparaison sont présentés dans le rapport : « Etude comparative entre DGT et teneurs métalliques dans les gammars : redondance ou complémentarité ? » (Uher et Lebrun, 2013).

## 2. Matériel et méthodes

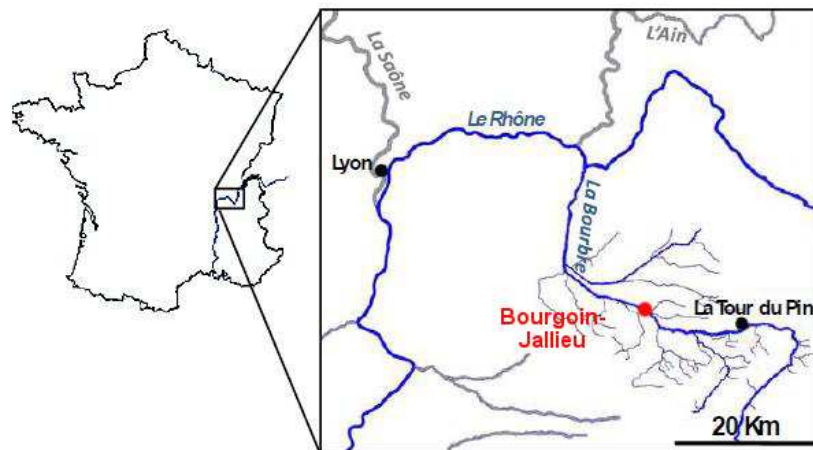
### 2.1. Prélèvement et stabulation des organismes

#### 2.1.1. Site de prélèvement des gammares

Les gammares ont été prélevés en aval de la commune de Bourgoin-Jallieu, un site située sur la Bourbre, Isère (38) (Figure 1) ; les coordonnées GPS de ce site sont E : 5°15'29" et N : 45°36'15". La Bourbre est un affluent du Rhône en amont de Lyon. La station présente une forte densité de gammares.

Lors de la campagne régionale (Besse *et al.*, 2012a), les gammares ont été prélevés en amont de cette station, au site de la Tour du Pin.

Le changement de site de prélèvement est justifié par le fait que sur le site de la Tour du Pin, il n'y aurait pas eu assez de gammares pour l'ensemble des encagements prévus pour la campagne nationale. Or, le site de Bourgoin-Jallieu présente des densités de gammares nettement plus importantes qu'à la Tour du Pin, notamment parce que l'habitat est plus propices à de grandes densités, et montre des niveaux de métaux similaires à ceux observés sur le site de la Tour du Pin.



**Figure 1.** Localisation du site de prélèvement de Bourgoin-Jallieu

#### 2.1.2. Méthodes de prélèvement et de stabulation des gammares

La méthode de prélèvement et de stabulation des gammares est la même que celle utilisée lors de la campagne régionale (Besse *et al.*, 2012a).

Les gammares ont été prélevés à l'aide d'un filet de type troubleau puis tamisés (mailles de 2,0 et de 2,5 mm) afin de séparer les individus adultes des juvéniles. Ils ont ensuite été rapidement transportés dans des glacières au laboratoire.

Les organismes de la taille requise (entre 2,0 et 2,5 mm) ont été maintenus en stabulation au laboratoire pendant 14 jours dans des aquariums de 30 L, sous aération constante, dans une eau maintenue à une température de  $12,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$  et à une photopériode de 16 h de jour / 8 h de nuit.

Les organismes ont été acclimatés à deux conductivités (300 et  $600 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$  soit des duretés respectives de 112 et  $223 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ ). Le choix de la conductivité dépend de la conductivité des sites d'étude.

En pratique, pour les sites dont la conductivité est inférieure ou égale à  $400 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ , des gammares acclimatés à  $300 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$  ont été utilisés ; pour les sites dont la conductivité est supérieure à  $400 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ , des gammares acclimatés à  $600 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$  ont été utilisés.

Les gammares ont été nourris à l'aide de feuilles d'aulne (*Alnus glutinosa*) récoltées sur un site peu anthropisé dans le Beaujolais. Deux fois par semaine, les organismes ont reçu comme supplément protéique des vers lyophilisés de *Tubifex sp.*

## 2.2. Protocole d'exposition et suivi des paramètres physico-chimiques pour l'étude nationale

Le protocole d'exposition est le même que celui décrit dans le rapport méthodologique (Besse *et al.*, 2012a).

L'exposition des gammares est réalisée dans des récipients de 180 mL en polypropylène (longueur 10 cm, diamètre 5,5 cm) dont le bouchon a été percé et le fond remplacé par un tamis (maille : 1 mm). Le système est fermé à l'aide d'un autre tamis (maille :  $500 \mu\text{m}$ ) fixé par le bouchon percé. Grâce aux tamis, les organismes sont en contact permanent avec l'eau ; ceci permet également de maintenir un taux d'oxygène optimal dans le système.

Les systèmes sont fixés à l'intérieur de cages (Figure 2) ou de seaux en plastique rigide (Figure 3) grâce à des colliers en polychlorure de vinyle. Cages et seaux d'exposition peuvent contenir jusqu'à 8 systèmes pour les gammares.



**Figure 2.** Fixation des systèmes d'exposition dans la cage.



**Figure 3.** Seau d'exposition en place dans le milieu.

Seuls des gammares mâles matures ont été exposés (poids moyen compris entre 4,0 à 6,4 mg de poids sec).

Les gammares ont été nourris *ad libitum* : en plaçant dans chaque système des morceaux de feuilles d'aulne (*A. glutinosa*, les mêmes que celles utilisées en laboratoire).

Des sondes température (Tinytag Aquatic 2 Logger®) fixées aux cages ont assuré la mesure de la température toutes les heures, durant toute la durée de l'exposition.

Enfin, la conductivité, la concentration en oxygène et le pH ont été mesurés *in situ* à la pose puis à la récupération des cages. Les ions majeurs ont également été mesurés au début et à la fin de l'exposition (prélèvements d'eau ponctuels ramenés pour analyse en laboratoire à Irstea), ce qui a permis de déterminer la dureté de l'eau au niveau des sites d'étude.

### 2.2.1. Conditions d'exposition

Pour les besoins de l'étude, 6 systèmes de 20 individus ont été exposés sur une période de 7 jours. A la fin du temps d'exposition, les gammares ont été récoltés et comptés pour la détermination du taux de survie puis *poolés*. Sur chaque site, un échantillon (pool) de 5 gammares pour les métaux et un échantillon (pool) de 5 gammares pour le mercure ont été préparés. Les échantillons ont été congelés dans l'azote liquide et/ou de la glace carbonique sur le terrain puis stockés et conservés dans des congélateurs à -80°C après retour au laboratoire. Sur quelques sites (Annexe A), des triplicats de pools de 5 organismes ont été réalisés afin d'étudier la variabilité de cet outil de biomonitoring actif.

Pour chaque campagne d'exposition sur le terrain correspond un prélèvement d'organismes sur notre population naturelle (voir partie 2.1). Ainsi pour chaque campagne, un prélèvement d'organismes (un pool de 5 pour les métaux et un pool de 5 pour le mercure) a été réalisé après stabulation et avant exposition, afin de connaître les niveaux de contamination à T0. Quatorze échantillons ont été réalisés entre mars 2012 et mars 2013. Les teneurs en métaux de ces gammares à T0 sont présentés dans le tableau 8 de l'annexe E.

A chaque fin d'exposition, les gammares n'ayant pas servis pour les mesures métalliques, ont été regroupés en un pool pour la mesure de substances organiques (Cf. rapport organiques).

### 2.2.2. Sites d'exposition

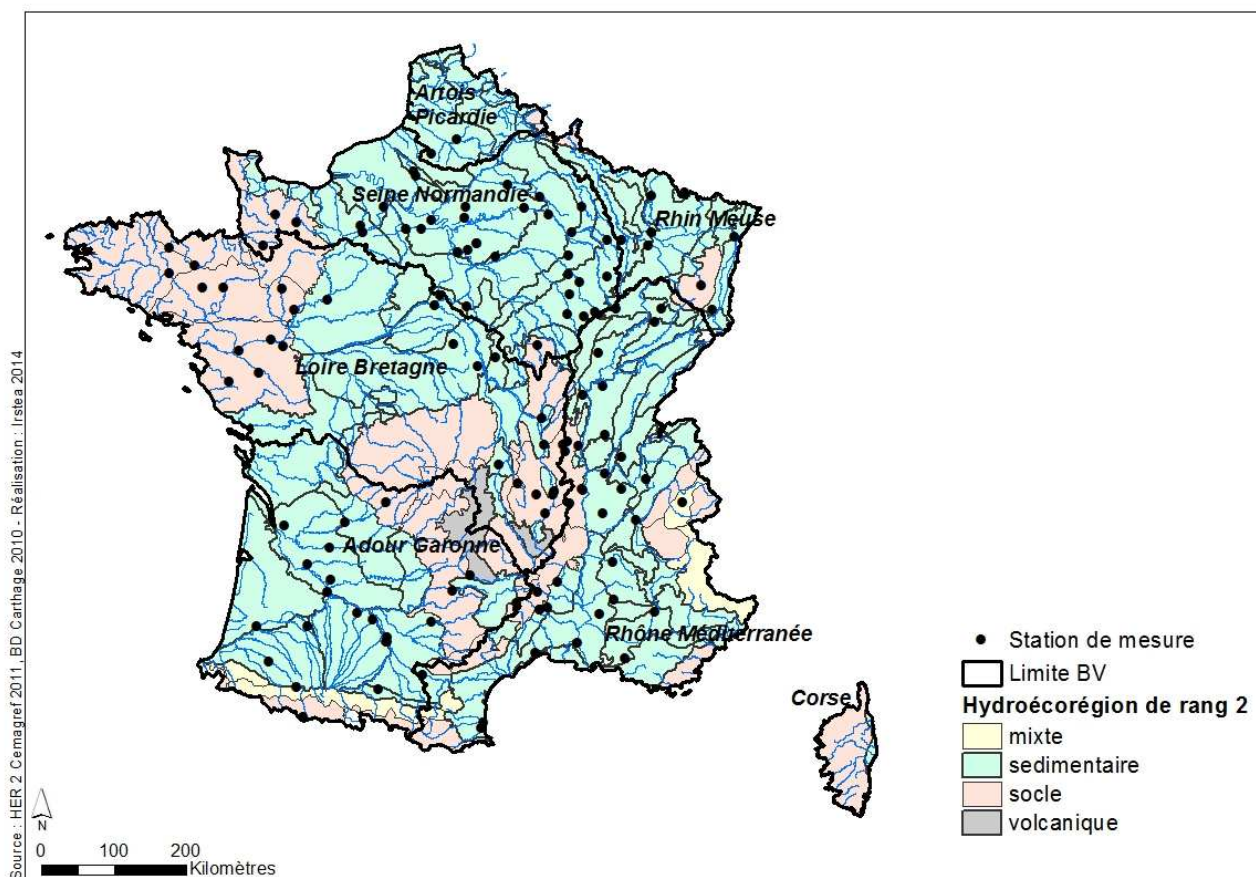
Initialement, 141 sites ont été retenus pour cette campagne nationale (Cf. Figure 4) :

- 110 sites proposés par les agences de l'eau (sur la base de sites retenus dans le cadre de l'étude prospective nationale de recherche des micropolluants dans les eaux de surface<sup>1</sup>) ;
- 20 sites (dont un site commun avec les 110 sites décrits ci-dessus) inclus dans le projet Biomarqu'Indic (« Complémentarité des biomarqueurs et des bioindicateurs pour évaluer l'état écologique des rivières » ; projet financé par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie) ;
- 11 sites additionnels du Sud-Est de la France, faisant partie de l'ANR CESA GAMMA (« Variabilité-adaptation-diversité et écotoxicologie des Gammaridés »).

---

<sup>1</sup> Cette sélection de sites a été établie conformément aux échanges du COPIL du 6 décembre 2011.

La dénomination, la localisation et le type de pression des sites sont synthétisés en Annexe B. Les caractéristiques physico-chimiques principales des eaux de surface (température, dureté et taux d'oxygène) sont présentées en annexe C.



**Figure 4.** Localisation géographique des sites retenus.

La campagne d'exposition a démarré en mai 2012 et s'est achevée en juillet 2013.

Sur l'ensemble des 141 sites retenus, 129 ont été finalement évalués. Ces sites font partie, pour la plupart, des réseaux de contrôle de surveillance (RCS) ou des réseaux de contrôle opérationnel (RCO). Quatorze des 110 sites proposés par les Agences n'ont pas été évalués, soit pour cause de mauvaises conditions météorologiques soit parce que ces sites étaient trop éloignés des autres et des circuits prévus (Cf. annexe B).

### 2.2.3. Détermination des valeurs seuils de contamination biodisponible

L'approche utilisée est basée sur l'hypothèse que les niveaux de concentration dans les organismes sont distribués selon une loi normale uniquement sur des sites dépourvus de toute contamination biodisponible. La méthode a été décrite dans le rapport méthodologique (Besse *et al.*, 2012a).

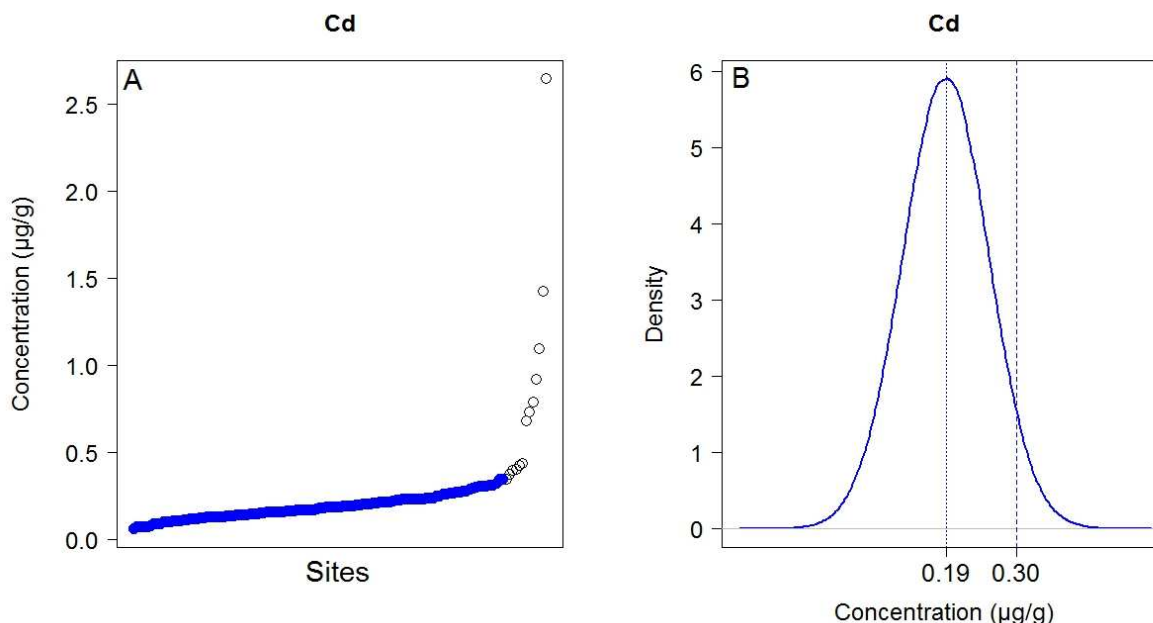
Pour calculer les BBAC et les BBC, les sites ont été classés par niveaux de concentration croissante dans les organismes. Puis, pour chaque substance, nous avons testé si l'ensemble des données suivait une distribution gaussienne, en utilisant le test de normalité de Shapiro-Wilk. Dans le cas contraire, le site le plus contaminé a été retiré du jeu de données, et la normalité a été testée à nouveau. Ce processus itératif (suppression du site le



plus contaminé, puis test de normalité) a été mené jusqu'à l'obtention d'un jeu de données distribuées normalement.

La BBC pour chaque contaminant a été ensuite déterminée comme la moyenne de la distribution gaussienne obtenue (Figure 5).

La BBAC pour chaque contaminant correspond au 95<sup>ème</sup> percentile de la distribution gaussienne obtenue (Figure 5). Cette procédure a été réalisée en utilisant le programme de calcul statistique R (R Development Core Team, 2007).



**Figure 5.** Exemple de BBAC et de BBC déterminées pour le cadmium, selon la méthode statistique. 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 pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile).

## 2.3. Cinétique d'accumulation sur 21 jours

### 2.3.1. Conditions d'exposition

Le protocole de pêche, d'exposition, et le suivi des paramètres physico-chimiques sont les mêmes que ceux de la campagne d'encagement de 7 jours au niveau national (partie 2.3) avec les différences suivantes :

- La durée d'exposition s'est étalée sur 21 jours. Tous les 7 jours, 2 systèmes d'exposition ont été prélevés dans les caisses, les gammars sont poolés et comptés pour la survie.
- Des triplicats de pool de 5 gammars ont été réalisés pour l'analyse des métaux. Les échantillons ont ensuite été stockés dans de la glace carbonique et conservés au congélateur à -80°C après retour au laboratoire.
- Les ions majeurs ont été mesurés à 0 et 21 jours (prélèvements d'eau ponctuels ramenés pour analyse en laboratoire à Irstea), ce qui a permis de déterminer la dureté de l'eau pour chaque site d'étude.

### 2.3.2. Sites d'exposition

Les cinétiques ont été réalisées sur un nombre limité de sites connus pour présenter soit une contamination avérée pour certains métaux (déterminée sur la base des premiers

résultats obtenus lors des campagnes de l'étude nationale), soit un fond géochimique ; ces sites ont des conditions contrastées vis à vis des paramètres physico-chimiques (dureté et température). Les 9 sites retenus sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Sites retenus pour la cinétique d'accumulation (les numéros de site correspondent à la classification donnée en Annexe B).

Site	N° du site	Bassin-versant
Landion à Argançon	89	Seine-Normandie
Mésangueville à Dampierre	93	Seine-Normandie
Auchy à Ferrières en Bray	94	Seine-Normandie
Beuvronne à Gressy	98	Seine-Normandie
Furan à Andrézieux-Bouthéon	21	Loire-Bretagne
Ardières aux Ardillats	7	Rhône-Méditerranée Corse
Gier à la Valla en Gier	8	Rhône-Méditerranée Corse
Affluent Amous à Le Temple	10	Rhône-Méditerranée Corse
Amous à Campeyrigoux	11	Rhône-Méditerranée Corse

## 2.4. Analyse des métaux

Pour compléter les résultats de l'étude régionale (Besse *et al.*, 2012a), les métaux et métalloïde suivants ont été analysés : cadmium (Cd), plomb (Pb), nickel (Ni), arsenic (As), cobalt (Co), chrome (Cr), cuivre (Cu), zinc (Zn), sélénium (Se), argent (Ag) et mercure (Hg).

Toutes les analyses chimiques sur les métaux ont été menées au LAMA (Laboratoire de chimie des milieux aquatiques), Irstea de Lyon, comme cela avait été le cas pour l'étude régionale.

Les échantillons d'une masse moyenne de 150 mg de poids frais (environ 30 mg de poids sec) ont été soumis à analyse après lyophilisation.

Le Cd, Pb, Ni, As, Co, Cr, Cu, Zn, Se et Ag, ont été analysés par plasma à couplage inductif couplé à la spectrométrie de masse (ICP-MS, Thermo série X7 II) après minéralisation des échantillons par micro-ondes avec de l'acide nitrique (Cf. fiche méthode MA3 Aquaref<sup>2</sup>).

Le mercure total a été analysé par spectrométrie d'absorption atomique à vapeur froide. L'analyse automatique des concentrations en Hg est réalisée après incinération de l'échantillon sous flux d'O<sub>2</sub> directement dans l'appareil (MILESTONE, Direct Mercury Analyser 80) (Cf. fiche méthode MA2 Aquaref<sup>2</sup>).

Pour le contrôle qualité, des essais à blanc (« blancs méthode ») ont systématiquement été effectués lors de l'analyse des échantillons afin de contrôler la contamination possible le long de la chaîne d'analyse. De plus, des matériaux de référence certifiés ont été inclus dans chaque série d'analyse (CRM, TORT-2, hépatopancreas de homard et IAEA-407, poisson pour les métaux ; (NIST) SRM-2976 et CRM278R moule, pour le Hg).

Les limites de quantification (LQ) (exprimées en  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de poids sec) varient de 0,010  $\mu\text{g.g}^{-1}$  pour Hg à 0,96  $\mu\text{g.g}^{-1}$  pour Zn (Cf. tableau 2).

<sup>2</sup> www.aquaref.fr

## 3. Détermination des valeurs seuils de contamination biodisponible au niveau national

### 3.1. Taux de récupération des systèmes et survie des organismes

Dans l'ensemble, la campagne nationale affiche un excellent taux de récupération des systèmes d'encagement. En effet les systèmes ont pu être récupérés sur 123 des 129 sites étudiés. Les 6 sites pour lesquels les gammars n'ont pu être récupérés sont : la Dordogne à Saint Pierre d'Eyraud, l'Iton à Chaise-Dieu du Theil, le Chavanges à Lentilles (systèmes non retrouvés) ; la Loire à Montjean (décrue, caisse émergée) ; la Garonne à Aiguillon et le Rhône à Arles (crue).

Après les 7 jours d'exposition, le taux de survie des gammars est élevé, avec des valeurs supérieures ou égales à 75% pour 112 des 123 sites (Cf. Annexe D). Pour ces 112 sites, ceci valide les conditions de l'exposition. Pour les 17 sites présentant des taux de survie inférieurs à 75%, les concentrations en métaux mesurées sont à considérer avec plus de précaution ; il faut toutefois considérer que l'on n'a pas encore de recul sur une valeur limite de survie en dessous de laquelle les résultats de bioaccumulation seraient effectivement biaisés.

Les raisons associées à ces plus faibles survies (e.g. crue importante...) sont détaillées en annexe D.

### 3.2. Accumulation des métaux dans les gammars

#### 3.2.1. Teneurs en métaux dans les organismes avant exposition

Afin d'évaluer le niveau de contamination des gammars utilisés pour l'encagement, plusieurs analyses sur des gammars à T0 (gammars triés, stabulés 15 jours au laboratoire mais non exposés sur le terrain) ont été réalisées tout au long de la campagne nationale. Les résultats des analyses sont présentés en annexe E.

La variabilité (écart type relatif, RSD, n=14) est faible pour le Cu, Zn, As, Ag, Cd et Hg car inférieure à 30%. Ceci indique que cette population de gammars de Bourgoin-Jallieu est une population dont les concentrations en métaux varient peu dans le temps. En ce qui concerne Cr, Co et Pb, on observe une variabilité comprise entre 40% et 60%. Cependant, les concentrations de ces 3 métaux retrouvées dans les gammars sont très proches des LQ (2 x LQ), ce qui peut expliquer une telle variabilité.

Il est important de noter que pour tous les métaux étudiés, à l'exception de Cu, Zn et As, les teneurs mesurées dans les gammars à T0 sont très proches de la LQ (entre 2 et 5 fois la LQ). Le cas du Cu et du Zn est différent car il s'agit de métaux régulés par l'organisme, d'où des concentrations mesurées largement supérieures à la LQ.

Pour As, on observe des concentrations supérieures à 10 fois la LQ et constantes sur l'ensemble des prélèvements (RSD = 14%).

En ce qui concerne Ni et Se, les concentrations mesurées dans les gammars avant exposition sont en grande majorité inférieures à la LQ.

Par ailleurs, les valeurs de concentrations métalliques mesurées dans les gammars à T0 sont bien inférieures aux valeurs seuil déterminées pour les métaux (Co, Ni, Cd, Pb et Hg) dont une BBAC avait été validée durant la campagne régionale.

### 3.2.2. Teneurs en métaux dans les gammars encagés

Les niveaux de concentration en métaux et mercure dans *G. fossarum* sont présentés dans le Tableau 2. Globalement, 98% des valeurs mesurées sont supérieures à la LQ. Seuls le Pb, le Ni et le Se n'ont pas été quantifiés sur 1, 23 et 118 sites respectivement.

**Tableau 2.** Concentrations métalliques (en  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de poids sec) dans les gammars encagés après 7 jours d'exposition

Métaux	Concentration ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ps)					
	Med	Min	Max	Max/Min	Freq	LQ
Cr	0.65	0.17	3.00	17.6	100%	0.09
Co	0.42	0.13	4.81	37.3	100%	0.09
Ni	0.86	< LQ	13.8	29.0 *	81.3%	0.48
Cu	68.7	46.1	92.7	2.0	100%	0.24
Zn	68.2	50.7	110	2.2	100%	0.96
As	1.29	0.71	3.74	5.3	100%	0.09
Ag	0.14	0.08	0.43	5.4	100%	0.05
Cd	0.19	0.06	2.65	44.3	100%	0.05
Pb	0.48	< LQ	7.43	78.2 *	99.2%	0.09
Hg	0.063	0.021	0.112	5.5	100%	0.010
Se	< LQ	< LQ	3.32	1.2 *	4.1%	2.67

Med, Min et Max sont respectivement la médiane, le minimum, et le maximum des concentrations mesurées sur l'ensemble des sites d'étude (n=123). (min pour les valeurs  $\geq$  LQ).

\* en considérant la LQ comme valeur minimale.

Freq : fréquence de quantification (pourcentage de valeurs mesurées  $\geq$  LQ) pour chacune des substances sur les 123 sites d'étude.

LQ : Limite de quantification.

Pour chaque élément, nous avons déterminé le ratio de la concentration maximale (Max) mesurée sur la concentration minimale (Min) mesurée ( $\geq$  LQ). Les résultats montrent que ces ratios varient de 7.6 à 78.2 pour Cr, Co, Ni, Cd et Pb. Pour les autres métaux et Hg, ces ratios sont plus faibles et varient entre 2.0 et 5.5 (Tableau 2). Ces résultats confirment que le gammare encagé est un outil pertinent pour le dosage des métaux. L'ensemble des données d'accumulation pour chaque site est présentée en annexe E.

### 3.3. Détermination des valeurs seuils de contamination biodisponible (BBAC) et valeurs de fond (BBC)

Le tableau 3 présente les valeurs seuil de contamination biodisponible (BBAC) obtenues à l'aide de l'approche statistique, à la fois pour l'étude régionale et pour l'étude nationale (Besse *et al.*, 2012a), ainsi que les valeurs de concentrations de fond biodisponible (BBC).

**Tableau 3.** Détermination des différentes valeurs seuil et valeurs de fond biodisponibles pour l'étude nationale (123 sites) et régionale (27 sites). Les BBAC pour les métaux validés de l'étude régionale sont données pour indication. Les valeurs de concentrations sont exprimées en µg/g de poids sec (ps).

	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Ni</b>	<b>Hg</b>	<b>Co</b>
<b>LQ</b> (µg/g ps)	0,05	0,10	0,48	0,010	0,10
<b>BBC</b> (µg/g ps) <b>étude nationale</b>	0,19	0,37	0,76	0,066	0,39
<b>BBAC</b> (µg/g ps) <b>étude nationale</b>	0,30	0,61	1,03	0,087	0,57
<i>BBAC</i> (µg/g ps) - <i>étude régionale</i>	0,30	0,40	0,70	0,060	0,50

	<b>Ag</b>	<b>As</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>
<b>LQ</b> (µg/g ps)	0,05	0,10	0,96	0,09	0,24
<b>BBC</b> (µg/g ps) <b>étude nationale</b>	0,14	1,16	68,1	0,62	69,6
<b>BBAC</b> (µg/g ps) <b>étude nationale</b>	0,19	1,45	75,5	1,01	83,6

Pour les 5 métaux pour lesquels une valeur de BBAC avait été définie lors de l'étude régionale, le tableau 3 montre que des valeurs très proches ont été obtenues à la suite de l'étude nationale. Cela consolide les résultats obtenus pour la campagne régionale, et surtout permet de montrer que l'utilisation d'une trentaine de sites bien répartis sur l'ensemble de la région Rhône-Alpes est représentative d'une situation nationale en termes de concentration de fonds. De plus, les résultats du tableau 3 montrent le premier intérêt d'une approche sur un plus grand nombre de sites et au niveau national, qui est d'obtenir un jeu de données suffisant et permettant de définir également une BBAC pour le Ag, As, Zn, Cr et Cu. En revanche, pour Se, il a été impossible de déterminer une valeur de BBAC car l'ensemble des sites étudiés présentaient des concentrations inférieures ou égales à la LQ.

En utilisant l'approche statistique décrite précédemment, il a été possible de déterminer des valeurs de BBAC et de BBC pour l'ensemble des métaux étudiés lors de cette étude nationale (sauf Se). La détermination des différentes valeurs seuils et valeurs de fond est présentée pour chaque métal en Annexe F.

## 4. Cinétiques d'accumulation

La vérification de la conformité aux NQE biote à partir d'organismes encagés est envisageable via l'utilisation de modèles permettant de traduire les teneurs accumulées dans les gammars en teneurs dissoutes dans les milieux et/ou en teneurs dans les niveaux trophiques supérieurs (poissons). Toutefois, cette démarche implique que les niveaux de contaminants dans le gammare soient en équilibre avec les niveaux de contamination du milieu.

### 4.1. Taux de récupération des systèmes et survie des organismes

L'ensemble des caisses a pu être récupéré sur les 9 sites étudiés. Concernant les taux de survie à 7 jours, ils sont tous supérieurs ou égal à 75%, validant ainsi les résultats de la cinétique. Néanmoins, une survie faible des gammars à 21 jours est observée sur le site « Gier à la Valla en Gier » (taux de survie de 30%). Ceci donne un argument en faveur d'un temps d'exposition court afin de maximiser le taux de survie des gammars et d'avoir un nombre insuffisant d'individus pour les analyses.

## 4.2. Accumulation des métaux dans les gammares

L'ensemble des concentrations mesurées dans les gammares et les variabilités associées (RSD) sont présentées en annexe G. L'étude de l'évolution des concentrations métalliques entre 7, 14 et 21 jours a été effectuée pour le Ni, Cd, Pb, Co, Cr et As. Les figures 6 à 11 présentent l'évolution des concentrations des métaux au cours du temps sur chacun des sites.

Sur les 10 métaux analysés lors de cette étude, 4 n'ont pas été traités. En effet, pour Se, les concentrations mesurées étaient inférieures à la LQ. Concernant Cu et Zn, il n'a pas semblé pertinent de suivre l'évolution des concentrations métalliques au cours du temps car ce sont deux métaux qui sont régulés chez le gammare. Par ailleurs, pour Ag, les concentrations mesurées étaient très proches de la LQ (2 fois supérieures à la LQ) et variaient peu, avec une concentration moyenne de 0,15 µg/g.

En général, on n'observe pas de différence entre une semaine et trois semaines d'exposition (vrai pour 80% des sites et pour tous les métaux). De ce fait, on peut conclure qu'une exposition d'une semaine est représentative d'une exposition plus longue, à condition que les concentrations du milieu restent constantes.

Pour Ni, on observe une augmentation des concentrations au cours du temps sur les sites de Landion et de Mésangueville, soit 2 sites sur 10. Cependant, sur les autres sites, on n'observe pas d'augmentation, suggérant ainsi que celle-ci peut être due à une variabilité de la contamination dans le milieu. De plus, sur le site d'Auchy, on observe une diminution des concentrations après 3 semaines, pouvant être attribuée à une dépuración due à une diminution de la contamination du milieu.

Pour Cd, on observe une augmentation des concentrations au cours du temps sur le site du Gier, (à la Valla en Gier), et sur le site de l'Ardières aux Ardillats. Sur les 7 autres sites, cette augmentation n'est pas observée. Pour le site du Gier, où la tendance est la plus marquée, les survies des gammares sont respectivement de 75%, 65% et 30%. Il est donc possible que l'on ait un impact de l'état de santé sur l'accumulation des organismes. Pour les autres sites, les concentrations sont équivalentes quelle que soit la durée d'exposition.

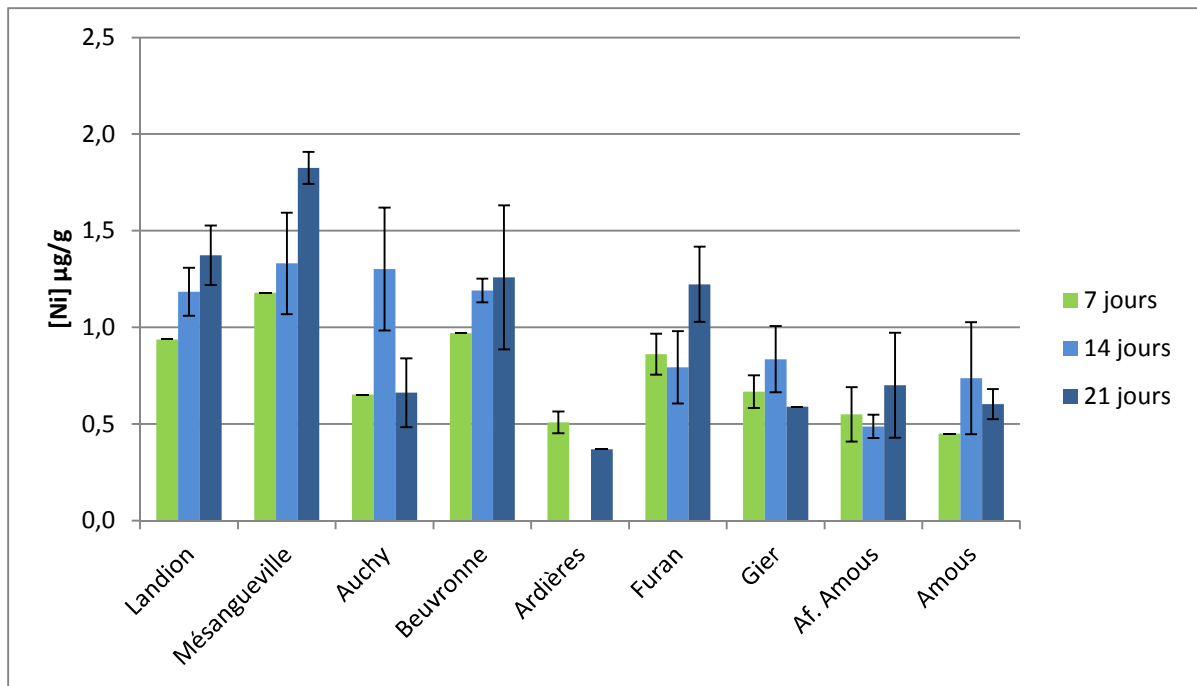
Pour Pb, on observe une forte variabilité dans les résultats sur plusieurs sites, avec des écart-types parfois importants (RSD entre 8% et 68%), il est donc difficile de se prononcer sur une stabilité ou une évolution des concentrations dans les gammares entre 7 et 21 jours. Cependant, on n'observe aucune tendance systématique à l'augmentation au cours des 3 semaines d'exposition. Comme pour le Ni, des diminutions des teneurs en Pb dans les organismes ont également été observées, pouvant souligner une variation de l'exposition et ainsi une réponse rapide des teneurs dans les organismes à ces modulations de contamination du milieu.

Pour Co, il est également difficile de conclure, car on ne dispose pas de réplicats sur l'ensemble des temps d'une part, et que l'on observe une forte variabilité des concentrations mesurées à 14 et 21 jours d'autre part.

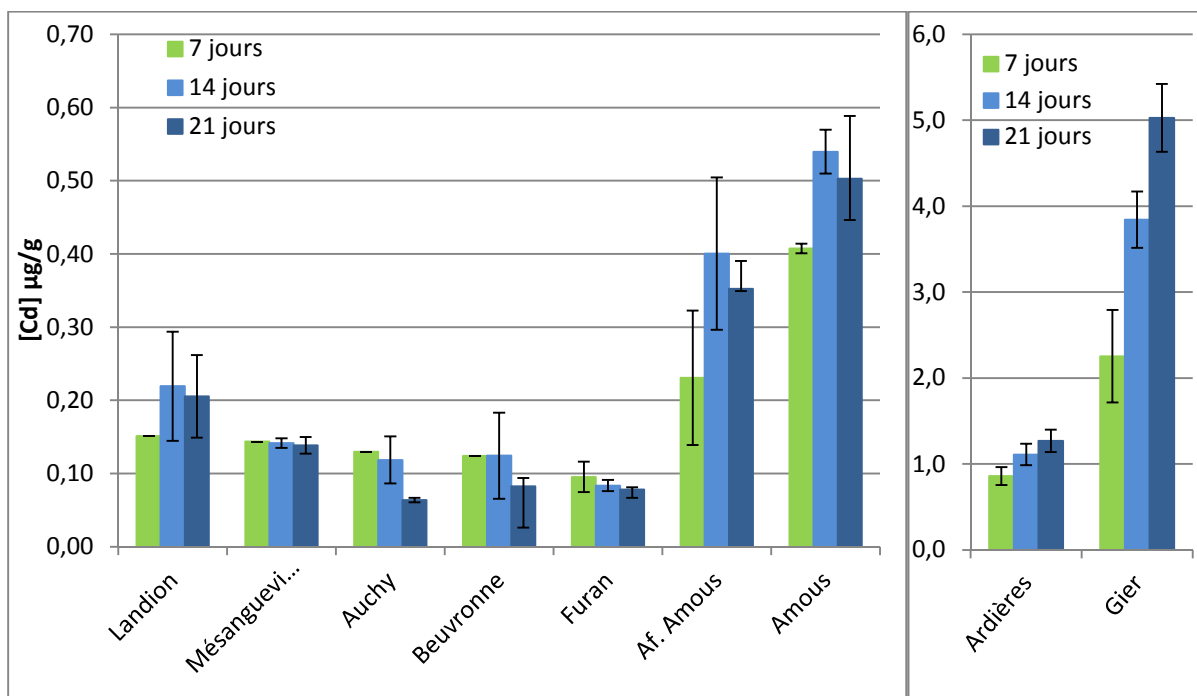
Pour Cr, malgré les variabilités observées sur différents sites, les résultats montrent qu'il n'existe aucune tendance à l'augmentation des concentrations dans les organismes au cours des 3 semaines d'exposition.

Pour As, on observe une augmentation des concentrations au cours du temps uniquement sur le site du Furan, à Andrézieu. Sur les 8 autres sites, cette augmentation n'est pas observée, suggérant ainsi que celle-ci peut être due à une variabilité de la contamination dans le milieu. De plus, sur le site du Gier, à la Valla en Gier, on observe une diminution des concentrations dès la deuxième semaine, pouvant être attribuée à une dépuración due à une diminution de la contamination du milieu.

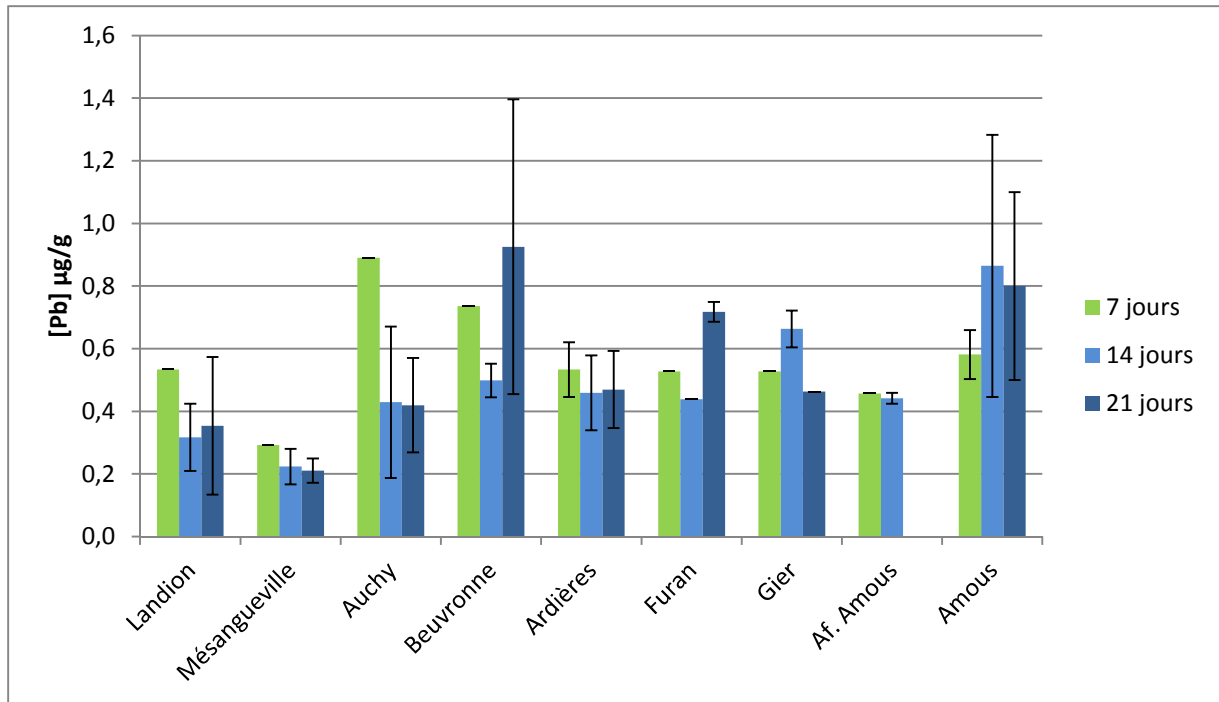




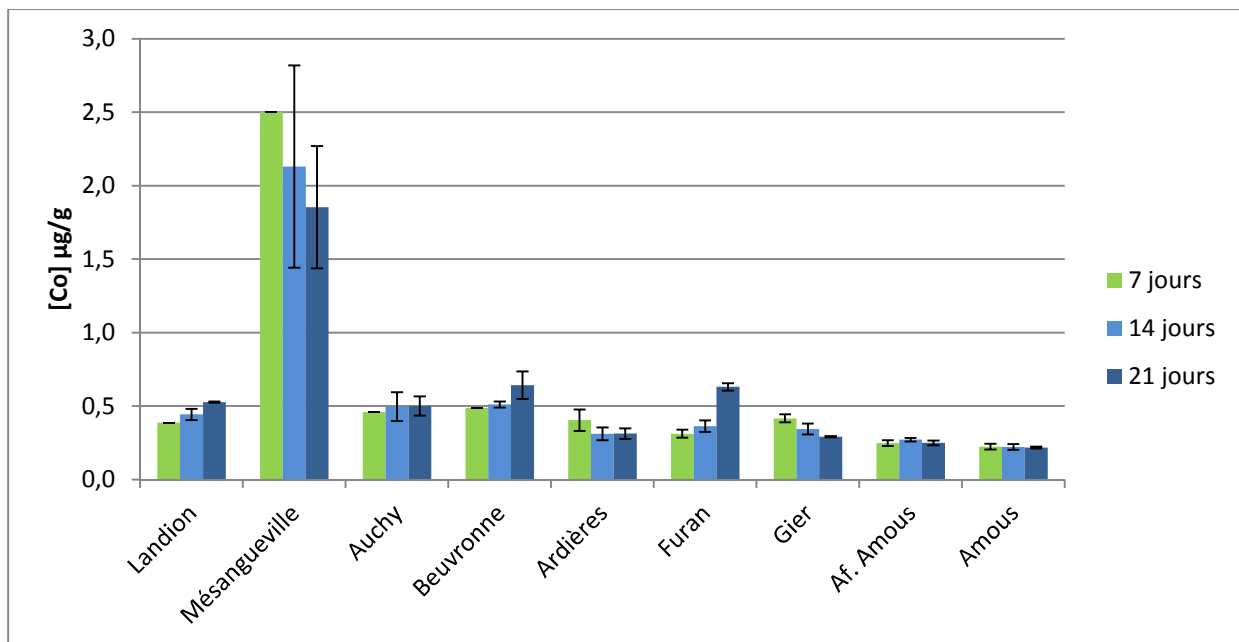
**Figure 6.** Concentrations en Ni mesurées dans les gammares encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. Concentrations exprimées en µg/g de poids sec.



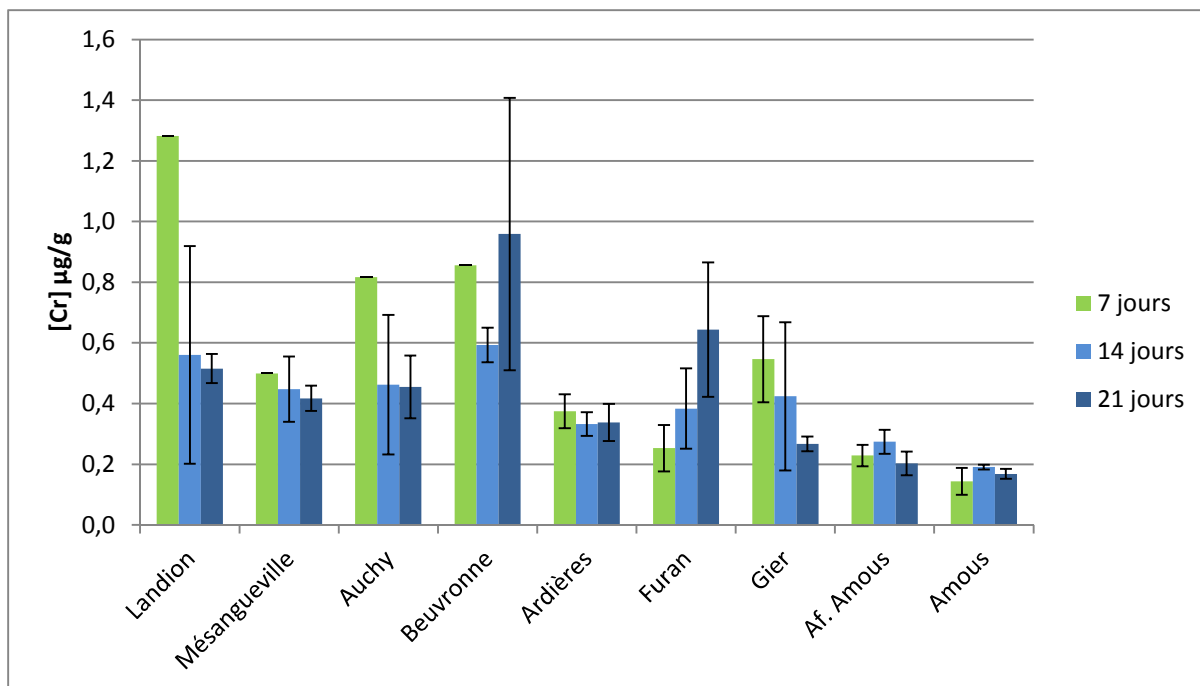
**Figure 7.** Concentrations en Cd mesurées dans les gammares encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. Concentrations exprimées en µg/g de poids sec.



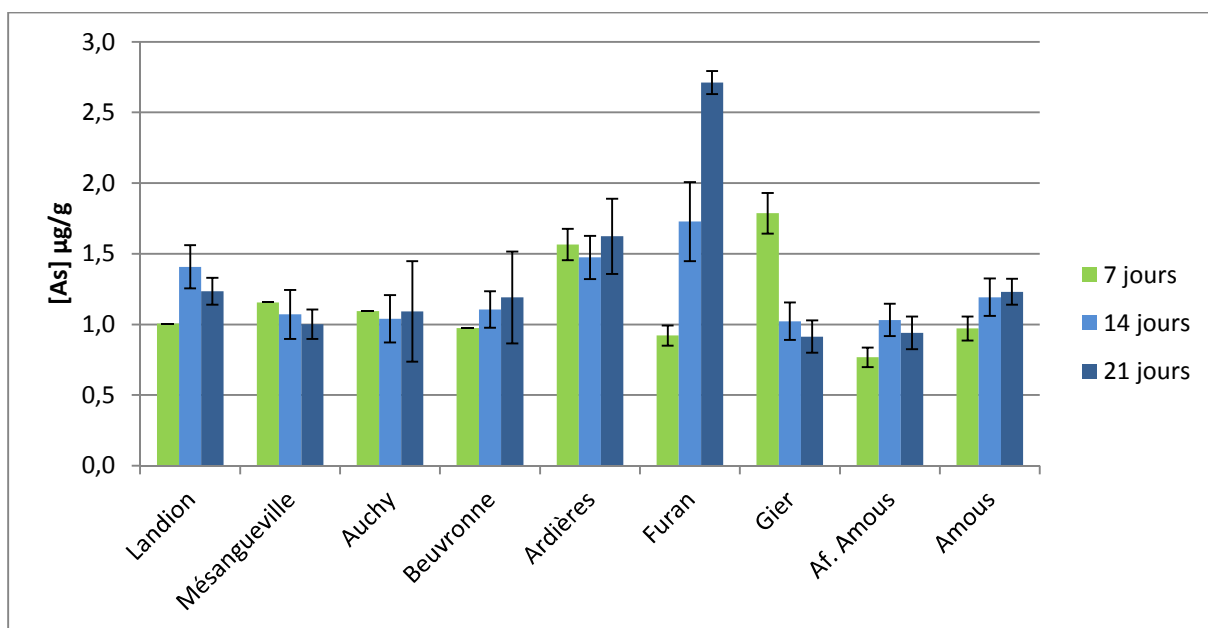
**Figure 8.** Concentrations en Pb mesurées dans les gammars encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. Concentrations exprimées en µg/g de poids sec.



**Figure 9.** Concentrations en Co mesurées dans les gammars encagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. Concentrations exprimées en µg/g de poids sec.



**Figure 10.** Concentrations en Cr mesurées dans les gammars engagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. Concentrations exprimées en µg/g de poids sec.



**Figure 11.** Concentrations en As mesurées dans les gammars engagés sur 9 sites à 7, 14 et 21 jours. Concentrations exprimées en µg/g de poids sec.

## 5. Discussion générale

Les résultats de ce travail confirment l'intérêt de l'encagement chez *G. fossarum* pour le suivi de la contamination chimique des milieux aquatiques continentaux. Excepté pour le Se, l'ensemble des métaux étudiés sont bioaccumulés par le gammare et présents à des teneurs supérieures aux LQ. Dans le cadre du suivi des tendances demandé par la DCE, ces travaux montrent une nouvelle fois l'intérêt d'utiliser le biote comme matrice accumulatrice des métaux pour l'étude des niveaux de contamination, mais également son intérêt comme matrice intégratrice au cours du temps, donnant ainsi une meilleure représentation de la contamination des milieux en comparaison aux prélèvements ponctuels d'eau. De plus, la méthodologie proposée, qui permet de contrôler l'ensemble des facteurs biologiques confondants, conduit à comparer de façon fiable les données dans le temps et l'espace, condition indispensable pour le suivi des tendances. Enfin, ces travaux montrent la faisabilité technique d'utiliser cette approche à l'échelle du territoire national (métropole), sur la base de sites du RCS et RCO, et de pouvoir fournir une donnée de la contamination chimique de n'importe quel site des réseaux de surveillance.

L'utilisation d'une méthode contrôlée, aussi bien techniquement que sur les paramètres biologiques des organismes utilisés, a permis de proposer une démarche pour définir une BBC (concentration de fond biodisponible) et une BBAC (valeur seuil de contamination biodisponible). Lors de notre étude régionale, deux approches avaient été utilisées pour les calculs des seuils, l'une statistique (loi normale) et une seconde par la modélisation de type « cinétique ». Pour cette étude nationale, seule la méthode statistique a été utilisée pour la définition des valeurs BBC et BBAC. Le jeu de données disponible au cours de cette étude a en effet permis de tester la robustesse de ces deux méthodes. Ainsi il a été possible de montrer que la méthode basée sur la modélisation est fortement dépendante de la taille du jeu de données. A l'inverse, l'approche statistique s'est montrée très robuste à la taille du jeu de données. C'est pourquoi nous avons choisi de définir les BBC et BBAC à l'aide de cette méthode statistique, c'est à dire de décrire la loi normale pour le jeu de données correspondant à une contamination de fond et à partir de laquelle la BBC (moyenne) et la BBAC (95<sup>ème</sup> percentile) ont été proposées.

Au-delà de ce qui est requis par la DCE pour le suivi des tendances, la définition de la BBC, mais surtout de la BBAC constitue un outil d'aide à la gestion des milieux aquatiques. Ces valeurs permettent d'identifier quel contaminant, ici quel métal, est présent de façon anormale et sous forme biodisponible, par conséquent susceptible de conduire à des effets néfastes. Ainsi l'utilisation de ces BBAC permet d'orienter les actions à mettre en place pour revenir à un état de non contamination biodisponible.

Les BBAC obtenues au niveau national pour le Cd, Co, Pb, Ni et Hg sont similaires aux valeurs définies au niveau de la région Rhône-Alpes. Ces travaux montrent que l'étude menée au niveau Rhône-Alpes est représentative des systèmes aquatiques continentaux nationaux.

En ce qui concerne les valeurs de BBAC définies par l'approche statistique mais non « validées » au niveau de la région Rhône-Alpes (Zn, Cu, Cr et As), du fait que l'approche basée sur la modélisation n'avait pas pu être utilisée, l'étude nationale permet d'obtenir des valeurs similaires pour chacun des métaux, confirmant les observations précédentes et ces valeurs de BBAC.

Aujourd'hui, ces travaux donnent donc accès à des BBC et BBAC pour 10 métaux (Cd, Co, Pb, Ni, Hg, Zn, Cu, Ag, Cr et As), devant aider à une meilleure gestion des milieux contaminés par ces contaminants. Toutefois, il est important de noter que pour le Zn et surtout le Cu, les BBAC proposées sont peu discriminantes étant donné que le gammare, comme d'autres espèces, régule très fortement ces deux métaux essentiels. Pour le Cu, l'ensemble du jeu de données suit une loi normale, par conséquent la BBAC déterminée ne

permet pas de faire ressortir un seul des sites étudiés. Les crustacés, dont fait partie *Gammarus fossarum*, ne sont pas des espèces de choix pour étudier les contaminations par le Cu.

La surveillance chimique des milieux aquatiques exigée par la DCE ne concerne pas seulement le suivi des tendances, mais également la conformité des milieux aux NQE. Cette conformité aux NQE se fait sur la base soit de mesures dans l'eau ou dans les organismes, invertébrés ou poissons autochtones, selon les composés considérés. Les travaux menés sur l'encagement de gammare lors de ces dernières années ont conduit à la proposition d'une méthode contrôlée de biomonitoring actif comme discuté ci-dessus. Suite à notre étude régionale, en plus d'une étude pilote au niveau national pour évaluer la faisabilité de cette approche de biomonitoring actif dans le cadre du suivi des tendances, une seconde perspective questionnait l'état d'équilibre des niveaux de contamination des organismes après seulement une semaine d'exposition.

Aujourd'hui des travaux sont menés sur le développement de modèles biodynamiques qui permettraient à terme de convertir les teneurs observées dans les gammares en concentrations équivalentes dissoutes en métaux dans les milieux. Une des premières étapes pour ouvrir cette nouvelle perspective était d'évaluer et comprendre ce que représente l'exposition d'une semaine proposée dans la méthodologie développée chez le gammare. Les travaux de cinétique menés dans cette étude montrent qu'une exposition d'une semaine est dans plus de 80% des cas représentative de la contamination des milieux étant donné qu'aucune augmentation des teneurs en métaux dans les gammares n'a été observée jusqu'à la troisième semaine. Dans les cas où des modulations ont été observées, les augmentations ont été observées uniquement pour des sites très fortement contaminés. De la même façon, sur certains sites, des diminutions ont été observées au cours du temps, signifiant des concentrations d'expositions décroissantes, montrant également qu'une semaine d'exposition est un temps suffisant pour être représentatif de la contamination du milieu.

## REFERENCES

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/Onema, 100 p.

Besse, J.-P., Coquery, M., Lopes, C., Chaumot, A., Geffard, O. (2012a). Développement d'une méthodologie pour l'amélioration du suivi chimique des eaux continentales – Approche de biosurveillance active sur *Gammarus fossarum*. Irstea/Onema, 65 p.

Besse, J.P., Geffard, O., Coquery, M. (2012b). Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the Water Framework Directive. *TrAC - 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: Towards the determination of threshold values. *Water Research* 47, 650-660.

Besse, J.-P., Geffard, O., Chaumot, A., François, A., Gahou, J., Grisot, G., Lopes, C., Recoura-Massaquant, R., Coquery, M. (2014). Rapport de synthèse de l'étude pilote : déploiement de l'outil gammare encagé au niveau national, résultats pour les substances organiques ciblées. Rapport d'étape. Irstea, 34 p.

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

Dedourge-Geffard, O., Palais, F., Biagianti-Risbourg, S., Geffard, O., Geffard, A. (2009). Effects of metals on feeding rate and digestive enzymes in *Gammarus fossarum*: An in situ experiment. *Chemosphere* 77 (11), 1569-1576.

ICES (2004). OSPAR/ICES Workshop on the evaluation and update of background reference concentrations (BRCs) and ecotoxicological assessment criteria (EACs) and how these assessment tools should be used in assessing contaminants in water, sediment and biota. 9 – 13 February, La Hague. Final report. (disponible sur [www.ospar.org](http://www.ospar.org)).

Lacaze, E., Devaux, A., Mons, R., Bony, S., Garric, J., Geffard, A., Geffard, O. (2011). DNA damage in caged *Gammarus fossarum* amphipods: A tool for freshwater genotoxicity assessment. *Environmental Pollution* 159 (6), 1682-1691.

Rainbow, P.S. (2002) Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so what? *Environmental Pollution* 120(3), 497-507.

Uher, E., Lebrun, J. (2013). Etude comparative entre DGT et teneurs métalliques dans les gammares : redondance ou complémentarité ? Irstea/Onema, 28 p.

# ANNEXES



## ANNEXE A. Etude de la variabilité de la bioaccumulation

**Tableau 4.** Liste des 41 sites sur lesquels ont été effectués des triplicats.

Site	N° site	Pression / Etat	Campagne 7 jours / Cinétique
Ru de Courbière à Bois-Blanc	1	Référence	Campagne 7 jours
Galaveyson à Grand-Serre	2	Référence	Campagne 7 jours
Bourbre à la Tour du Pin	3	Référence	Campagne 7 jours
Mandorne à Oncieux	4	Référence	Campagne 7 jours
Ru de Pramenoux à Baculy	5	Référence	Campagne 7 jours
Ergues à Poule les Echarmeaux	6	Référence	Campagne 7 jours
Ardières aux Ardillats	7	Fonds géochimique (Cd)	Campagne 7 jours
Gier à la Valla en Gier	8	Fonds géochimique (Cd)	Campagne 7 jours
Ru de Bastide à Bastide	9	Fonds géochimique (Pb)	Campagne 7 jours
Affluent Amous à Le Temple	10	Fonds géochimique (Pb)	Campagne 7 jours / Cinétique
Amous à Campeyrigoux	11	Industrielle	Campagne 7 jours / Cinétique
Aveyron à Rodez	13	Urbaine	Campagne 7 jours
Aussonelle à Seilh	15	Mauvais état écologique	Campagne 7 jours
Gier à Givors	19	Industrielle	Campagne 7 jours / Cinétique
Furan à Andrézieux-Bouthéon	21	Urbaine	Campagne 7 jours / Cinétique
Bourbre à Chavanoz	25	Mauvais état écologique	Campagne 7 jours
Tolzac à Varés	30	Agricole	Campagne 7 jours
Montbrun à Montbrun-Bocage	35	Référence	Campagne 7 jours
Gave du Pau à Rieulhès	37	Urbaine	Campagne 7 jours
Gave du Pau à Abidos	38	Industrielle	Campagne 7 jours
Gave du Pau à Gavarnie	40	Référence	Campagne 7 jours
Nièvre à Dompierre sur Nièvre	44	Référence	Campagne 7 jours
Ardières à St Jean d'Ardières	49	Agricole	Campagne 7 jours / Cinétique
Corne à St Rémy	50	Agricole	Campagne 7 jours
Mare à Gumières	53	Référence	Campagne 7 jours
Iton à Normanville	57	Urbaine	Campagne 7 jours
Risle à Ambenay	59	Industrielle	Campagne 7 jours
Roanne à St Benoît en Diois	71	Référence	Campagne 7 jours
Toulourenc à St Léger du Ventoux	72	Référence	Campagne 7 jours
Luyens à Aix en Provence	74	Mauvais état écologique	Campagne 7 jours
Auzon à Montoux	75	Agricole	Campagne 7 jours
Avène à St Privat des Vieux	77	Industrielle	Campagne 7 jours
La Rosselle à Petite Rosselle	104	Industrielle	Campagne 7 jours
Lez à Lattes	111	Urbaine	Campagne 7 jours
Layon à St Lambert	114	Agricole	Campagne 7 jours
Rance à Ereac	121	Industrielle	Campagne 7 jours
Gouet à St Julien	123	Agricole	Campagne 7 jours
Landion à Argançon	89	Mauvais état chimique	Cinétique
Mesangueville à Dampierre	93	Bon état chimique	Cinétique
Auchy à Ferrières en Bray	94	Bon état chimique	Cinétique
Beuvronne à Gressy	98	Mauvais état chimique	Cinétique

## ANNEXE B. Liste des sites retenus dans l'étude

**Tableau 5.** Liste des sites retenus pour l'étude. Localisation, codes masse d'eau et station, coordonnées et information sur les types de pression. Les sites sont présentés par bassin. Les numéros de site correspondent à l'ordre chronologique dans lequel les sites ont été évalués.

Site	N° site *	Bassin-versant	Code masse d'eau	Code station	Coordonnées (WGS 84)		Pression / Etat	Date de pose
					N	E		
Boralde Flaujaguèse à St Côme d'Olt	12	Adour-Garonne	FRFR127	99170	44°32'01"	2°47'32"	Référence	14/05/2012
Aveyron à Rodez	13	Adour-Garonne	FRFR201	127000	44°20'16"	2°29'35"	Urbaine	14/05/2012
Garonne à Gagnac sur Garonne	14	Adour-Garonne	FRFR296B	161000	43°42'01"	1°22'05"	Urbaine	15/05/2012
Aussonelle à Seilh	15	Adour-Garonne	FRFR154	158700	43°41'47"	1°21'30"	Mauvais état écologique	15/05/ 2012
Hers-mort à Saint-Sauveur	16	Adour-Garonne	FRFR164	156950	43°45'01"	1°22'49"	Mauvais état écologique	15/05/2012
Isle à Razac	17	Adour-Garonne	FRFR288C	39000	45°10' 18"	0°35'34"	Urbaine	15/05/2012
Auvézère à Sagur le château	26	Adour-Garonne	FRFR46B	42080	45°25'43"	1°18'28"	Agricole	26/06/2012
Dordogne à Saint Pierre d'Eyraud	27	Adour-Garonne	FRFR41	47000	44°50'22"	0°19'55"	Urbaine	26/06/2012
Colinet à Cézac	28	Adour-Garonne	FRFR557A	25830	45°05'28"	-0°28'00"	Mauvais état écologique	26/06/20 12
Dropt à Loubens	29	Adour-Garonne	FRFR61A	79100	44°3 7'54"	-0°02'00"	Agricole	26/06/2012
Tolzac à Varés	30	Adour-Garonne	FRFR58	83585	44°26' 26"	0°23'16"	Agricole	27/06/2012
Garonne à Aiguillon	31	Adour-Garonne	FRFR300A	104000	44°17'19"	0°19'13"	Agricole	27/06/2012
Arrats à Saint-Antoine	32	Adour-Garonne	FRFR213A	118000	44°02'28"	0°51'07"	Agricole	27/06/2012
Gimone à Lafitte	33	Adour-Garonne	FRFR211	153000	43°58'21"	1°07'14' '	Agricole	27/06/2012
Tarn à Albi	34	Adour-Garonne	FRFR314B	142100	43°56' 52"	2°07'30"	Urbaine	17/07/2012
Montbrun à Montbrun-bocage	35	Adour-Garonne	FRFR186_5	176100	43°06'17"	1°14'49"	Référence	17/07/2012
Bergon à Réans	36	Adour-Garonne	FRFR227_2	228500	44°37'54"	-0°02'00"	Mauvais état écologiqu e	18/07/2012
Luzou à Bégaar	37	Adour-Garonne	FRFR233	223210	43°4 9'42"	-0°51'38"	Industrielle	18/07/2012
Gave du Pau à Abidos	38	Adour-Garonne	FRFR277B	212000	43°24'13"	-0°37'26"	Industrielle	18/07/2012
Gave du Pau à Rieulhès	39	Adour-Garonne	FRFR247A	216210	43°06'09"	-0°08'32"	Urbaine	18/07/2012
Gave du Pau à Gavarnie	40	Adour-Garonne	FRFR246	218700	42°43'47"	-0°00'28"	Référence	18/07/2012
Tarnon à Rousses	78	Adour-Garonne	FRFR305	151100	44°10'57"	3°35'25"	Référence	26/09/2012
Légère à Saint Faziol	-	Adour-Garonne	FRFR475_2	5610	46°12'09"	-0°08'49"	Industrielle	Annulée 1

**Tableau 5.** Liste des sites retenus pour l'étude. Localisation, codes masse d'eau et station, coordonnées et information sur les types de pression. (suite)

Site	N° site *	Bassin-versant	Code masse d'eau	Code station	Coordonnées (WGS 84)		Pression / Etat	Date de pose
					N	E		
Bramerit à Taillebourg	-	Adour-Garonne	FRFR476	6880	45°51'51"	-0°38'39"	Industrielle	Annulée 1
Eaux claires à Saint-Michel	-	Adour-Garonne	FRFR687	15300	45°38'38"	0°06'32"	Industrielle	Annulée 1
Isle à Guitres	-	Adour-Garonne	FRFT31	29800	45°02' 13"	-0°11'31"	Agricole	Annulée 2
Les Evoissons à Bergicourt	65	Artois-Picardie	FRAR51	1138300	49°45'00"	2°01'22"	Référence	17/09/2012
Ancre à Bonnay	66	Artois-Picardie	FRAR16	1133000	49°56'00"	2°30'49"	Mauvais état écologique	17/09/20 12
Escaut à Fresnes sur Escaut	-	Artois-Picardie	FRAR20	1016000	50°25'33"	3°34'51"	Urbaine	Annulée 3
Yser à Bambecque	-	Artois-Picardie	FRAR63	1809000	50°55'12"	2°37'22"	Agricole	Annulée 3
Loire à Bas en Basset	20	Loire-Bretagne	FRGR0003a	4004000	45°17'44"	4°07'04"	Agricole	07/06/2012
Furan à Andrézieux-Bouthéon	21	Loire-Bretagne	FRGR0168	4008000	45°31'29"	4°15'00"	Urbaine	07/06/2012
Loire à Veauchette	22	Loire-Bretagne	FRGR0004a	4009000	45°33'46"	4°16'17"	Urbaine	07/06/2012
Nièvre à Dompierre sur Nièvre	44	Loire-Bretagne	FRGR0227	4025040	47°14'12"	3°15'01"	Référence	01/08/ 2012
Layon à Ivoy le Pré	45	Loire-Bretagne	FRGR2210	4068483	47°24'09"	2°28'43"	Référence	01/08/2012
Vauvise à Jussy le Chaudrier	46	Loire-Bretagne	FRGR0290	4046545	47°07'45"	2°55'50"	Industrielle	01/0 8/2012
Bourbince à Vitry en Charolais	47	Loire-Bretagne	FRGR0200	4019700	46°28'18"	4°04'44"	Industrielle	02 /08/2012
Loire à Briennon	48	Loire-Bretagne	FRGR0004c	4015000	46°08'48"	4°05'50"	Urbaine	02/08/2012
Mare à Gumières	53	Loire-Bretagne	FRGR1496	4009250	45°32'06"	3°58'00"	Référence	16/08/2012
Dore à Olliergues	54	Loire-Bretagne	FRGR0230b	4037900	45°40'30"	3°37'48"	Industrielle	16/08/201 2
Bedat à Saint Laure	55	Loire-Bretagne	FRGR0264	4034650	45°54'00"	3°17'42"	Urbaine	16/08/2012
Oussance à Ingrannes	63	Loire-Bretagne	FRGR0298	4050100	47°59'46"	2°13'38"	Urbaine	05/09/2012
Loire à Jargeau	64	Loire-Bretagne	FRGR0007b	4050000	47°52'11"	2°07'22"	Agricole	05/09/2012
Layon à Saint Lambert du Lattey	114	Loire-Bretagne	FRGR0527	4134000	47°18'58"	-0°37'54"	Agricole	01/ 04/2013
Loire à Montjean sur Loire	115	Loire-Bretagne	FRGR0007f	4134700	47°23'36"	-0°51'46"	Nd	01/04/2013
Rau Vrignon à St Aubin des Ormeaux	116	Loire-Bretagne	FRGR1482	4140020	46°58'41"	-1°03'04"	Mauvais é tat écologique	01/04/2013
Petite Boulogne à Saint Etienne du Bois	117	Loire-Bretagne	FRGR0565	4150865	46°50'16"	-1°3 5'02"	Référence	01/04/2013

**Tableau 5.** Liste des sites retenus pour l'étude. Localisation, codes masse d'eau et station, coordonnées et information sur les types de pression. (suite)

Site	N° site *	Bassin-versant	Code masse d'eau	Code station	Coordonnées (WGS 84)		Pression / Etat	Date de pose
					N	E		
Boire de Roche à St Julien de concelles	118	Loire-Bretagne	FRGR2243	4137050	47°13'33"	-1°26'18"	Mauv ais état écologique	02/04/2013
Vilaine à Guichen	119	Loire-Bretagne	FRGR0010	4209990	48°00'09"	-1°46'26"	Agricole	02/04/2013
Aff à Paimpont	120	Loire-Bretagne	FRGR0128	4199370	47°58'53"	-2°09'30"	Référence	02/04/2013
Rance à Eréac	121	Loire-Bretagne	FRGR0014a	4164758	48°15'07"	-2°19'58"	Industrielle	02/04/20 13
Oust à Loudéac	122	Loire-Bretagne	FRGR0126c	4195690	48°08'09"	-2°47'50"	Industrielle	02/04/20 13
Gouet à Saint-Julien	123	Loire-Bretagne	FRGR0041a	4170500	48°26'45"	-2°50'03"	Agricole	03/04/2013
Jouanne à Forcé	127	Loire-Bretagne	FRGR0516	4127000	48°02'00"	-0°42'18"	Industrielle	04/04/2013
Baraize à Saint Denis d'Anjou	128	Loire-Bretagne	FRGR1131	4607001	47°46'12"	-0°27'05"	Mauvais état é cologique	04/04/2013
Sarthe à Arnage	129	Loire-Bretagne	FRGR0456	4119000	47°54'46"	0°08'39"	Nd	04/04/2013
Ru de la Grosse planche à St-Lactencin	-	Loire-Bretagne	FRGR2015	4074140	46°53'02"	1°27'22"	Mauvais état écologique	Annulée 1
Clain à Naintré	-	Loire-Bretagne	FRGR0392b	4085500	46°45'07"	0°29'54"	Urbaine	Annulée 1
Clain à Anché	-	Loire-Bretagne	FRGR0392a	4082550	46°19'24"	0°16'17"	Référence	Annulée 1
Fossé Neuf à Prin-Deyrançon	-	Loire-Bretagne	FRGR1760	4160235	46°13'37"	-0°40'00"	Mauvais état écolo gique	Annulée 1
Méholle à Void	100	Rhin-Meuse	FRB1R507	2107900	48°3 9'52"	5°36'39"	Référence	26/11/2012
Madon à Xeuilley	101	Rhin-Meuse	FRCR249	2058000	48°34'32"	6°06'28"	Agricole	26/11/2012
Meurthe à Bouxières	102	Rhin-Meuse	FRCR283	2074000	48°44'46"	6°09'58"	Urbaine	26/11/2012
Rosselle à Petite Roselle	103	Rhin-Meuse	FRCR457	2103800	49°12'40"	6°50'09"	Industrielle	27/11/2012
Moselle à Hauconcourt	104	Rhin-Meuse	FRCR213	2084000	49°11'25"	6°11'27"	Mauvais état écologique	27/1 1/2012
Souffel à Mundlosheim	105	Rhin-Meuse	FRCR151	2037500	48°38'24"	7°43'35"	Agricole	27/11/2012
Petite Fecht à Stosswihr	106	Rhin-Meuse	FRCR95	2018780	48°03'14"	7°03'41"	Référence	27/11/2012
Doller à Reiningue	107	Rhin-Meuse	FRCR57	2005700	47°44'44"	7°13'57"	Mauvais état écologique	27/11/20 12
Lanterne à Sainte-Marie en Chaux	108	Rhin-Meuse	FRDR690	6404500	47°47'24"	6°18'18"	Mauvais état écol ogique	28/11/2012
Durgeon à Vesoul	109	Rhin-Meuse	FRDR682	6416300	47°37'29"	6°09'58"	Urbaine	28/11/2012
Salon à Chalindrey	110	Rhin-Meuse	FRDR674	6416550	47°48'22"	5°27'34"	Mauvais état écologique	28/11/2 012

**Tableau 5.** Liste des sites retenus pour l'étude. Localisation, codes masse d'eau et station, coordonnées et information sur les types de pression. (suite)

Site	N° site *	Bassin-versant	Code masse d'eau	Code station	Coordonnées (WGS 84)		Pression / Etat	Date de pose
					N	E		
Ru de Courbière à Bois-Blanc	1	Rhône-Méditerranée Corse	N.a.	N.a.	45°24'06"	5°45'31"	Référence	10/04 /2012
Galaveyson à Grand Serre	2	Rhône-Méditerranée Corse	N.a.	N.a.	45°16'26"	5°07'10"	Référence	10/04/2012
Bourbre à la Tour du Pin	3	Rhône-Méditerranée Corse	N.a.	N.a.	45°34'10"	5°27'33"	Référence	10/04/2012
Mandorne à Oncieu	4	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR11552	6069650	45°58'37"	5°28'24"	Référence	12/04/2012
Ru de Pramenoux à Baculy	5	Rhône-Méditerranée Corse	N.a.	N.a.	46°03'24"	4°28'42"	Référence	12/04/2012
Ergues à Poule les Echarmeaux	6	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR572	6053500	46°08 ' 21"	04°26 ' 45"	Référence	12/04/2012
Ardières aux Ardillats	7	Rhône-Méditerranée Corse	N.a.	N.a.	46°11'12"	4°31'18"	Fonds géochimique (C d)	12/04/2012
Gier à La Valla en Gier	8	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2019	6820138	45°24'47"	4°32'12"	Fonds géochim ique (Cd)	10/04/2012
Ru de Bastide à Bastide	9	Rhône-Méditerranée Corse	N.a.	N.a.	44°05'60"	3°58'55"	Fonds géochimique (P b)	18/04/2012
Affluent Amous à Le Temple	10	Rhône-Méditerranée Corse	N.a.	N.a.	44°06'13"	3°59'51"	Fonds géochimique (P b)	18/04/2012
Amous à Campeyrigoux	11	Rhône-Méditerranée Corse	N.a.	N.a.	44°06'33"	3°59'13"	Industrielle	18/04/2 012
Rhône à Chasse sur Rhône	18	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2006	6098000	45°34'52"	4°46'50"	Urbaine	07/06 /2012
Gier à Givors	19	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR474	6097000	45°35'15"	4°45'40"	Industrielle	0 7/06/2012
Bourbre à Chavanoz	23	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR506c	6083000	45°46'20"	5°11'11"	Mauvais état écologique	08/06/2012
Drac à Fontaine	24	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR325	6146500	45°11'31"	5°42'05"	Industrielle	0 8/06/2012
Tillet à Aix les bains	25	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR1491	6074500	45°41'37"	5°53'31"	Industrielle	08/06/2012
Tréboul à Castelnaudary	41	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR196	6177910	43°17'39"	1°58'45"	Agricole	19/07 /2012
Ouche à Crimolois	42	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR646	6016000	47°15'58"	5°07'02"	Urbaine	01/08/ 2012
Ardières à Saint-Jean d'Ardières	49	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR576	6051550	46°07'36"	4°42'57"	Agricole	17/08 /2012
Corne à Saint-Rémy	50	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR607	6038300	46°44'53"	4°49'20"	Agricole	17/08 /2012
Guyotte à Saint Bonnet	51	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR613	6035330	46°51'11"	5°10'41"	Agricole	17/08 /2012
Reyssouze à Viriat	52	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR593a	6046000	46°15'27"	5°11'45"	Urbaine	17/08 /2012
Roanne à Saint Benoît en Diois	71	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR441	6107980	44°40'15"	5°16'16"	Référence	25/0 9/2012
Toulourenc à Saint Léger du Ventoux	72	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR391	6710039	44°12'33"	5°16'43"	Référence	25/0 9/2012
Durance à Les Mées	73	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR275	6159000	44°02'07"	5°57'51"	Industrielle	2 5/09/2012
Luyens à Aix-en-Provence	74	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR11804	6194000	43°28'45"	5°25'21"	Mauvais état écologiqu e	25/09/2012

**Tableau 5.** Liste des sites retenus pour l'étude. Localisation, codes masse d'eau et station, coordonnées et information sur les types de pression. (suite)

Site	N° site *	Bassin-versant	Code masse d'eau	Code station	Coordonnées (WGS 84)		Pression / Etat	Date de pose
					N	E		
Auzon à Monteux	75	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR387b	6123250	44°02'22"	5°00'43"	Agricultural	25/09/2012
Rhône à Arles	76	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR2009	6131550	43°40'44"	4°37'22"	Urbaine	26/09 /2012
Avène à Saint Privat des Vieux	77	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR11390	6127900	44°07'45"	4°08'00"	Industrielle	26/09/201 2
Luech à Genholac	79	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR400c	6118550	44°19'26"	3°57'39"	Référence	26/ 09/2012
Beaumes à Rosières	80	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR417b	6580238	44°28'95"	4°14'35"	Référence	26/ 09/2012
Lez à Lattes	111	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR142	6189500	43°34'13"	3°53'51"	Urbaine	27/03/ 2013
Têt à Sainte Marie la Mer	112	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR223	6172100	42°42'38"	3°01'24"	Mauvais état é cologique	27/03/2013
Agula à Alenya	113	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR233	6169050	42°38'16"	2°59'30"	Agricole	27/03 /2013
Vénéon à St Christophe en Oisans	-	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR335a	6143650	44°58'63"	6°09'17"	Référence	Ann ulée 3
Ain à Sirod	-	Rhône-Méditerranée Corse	FRDR505	6083590	46°44'35"	5°59'26"	Référence	Annu lée 3
Trinquelin à Saint Léger Vauban	43	Seine-Normandie	FRHR52d	3032240	47°22'42"	4°01'15"	Référence	01/0 8/2012
Seine à Poissy	56	Seine-Normandie	FRHR230A	3125000	48°56'12"	2°02'19"	Urbaine	04/09/2012
Iton à Normanville	57	Seine-Normandie	FRHR259	3199200	49°04'49"	1°09'06"	Urbaine	04/09/2012
Puiseaux à Nogent sur Vernisson	58	Seine-Normandie	FRHR80	3052338	47°51'24"	2°42'47"	Bon état chim ique	23/10/2012
Risle à Ambenay	59	Seine-Normandie	FRHR266	3219780	48°50'19"	0°43'23"	Industrielle	04/09/2012
Iton à Chaise-Dieu du Theil	60	Seine-Normandie	FRHR258	3197000	48°45'53"	0°45'42"	Urbaine	04/09/2012
Ru d'ancoueil à Moisenay	61	Seine-Normandie	FRHR91	3051500	48°33'31"	2°44'27"	Industrielle	05/09/201 2
Seine à St Fargeau-Ponthierry	62	Seine-Normandie	FRHR73A	3048000	48°32'15"	2°32'52"	Mauvais état éco logique	05/09/2012
Vesle à Chassemy	67	Seine-Normandie	FRHR209	3162000	49°22'24"	3°28'47"	Urbaine	17/09/2012
Marne à Reuil	68	Seine-Normandie	FRHR130B	3105500	49°04'52"	3°47'50"	Industrielle	17/09/2012
Marne à Matougues	69	Seine-Normandie	FRHR130A	3104000	48°59'47"	4°14'30"	Urbaine	18/09/2012
Chée à Merlaut	70	Seine-Normandie	FRHR125	3096650	48°46'03"	4°40'49"	Nd	18/09/2012
Ource à Autricourt	81	Seine-Normandie	FRHR6	3006590	47°59'55"	4°36'54"	Bon état chimique	23/10/2012
Seine à Nod sur Seine	82	Seine-Normandie	FRHR2A	3001000	47°45'52"	4°34'13"	Bon état chimique	23/10/2 012
Groème à Terrefondrée	83	Seine-Normandie	FRHR4-	3006271	47°43'45"	4°51'54"	Référence	23/10/2012

**Tableau 5.** Liste des sites retenus pour l'étude. Localisation, codes masse d'eau et station, coordonnées et information sur les types de pression. (suite)

Site	N° site *	Bassin-versant	Code masse d'eau	Code station	Coordonnées (WGS 84)		Pression / Etat	Date de pose
					N	E		
Aube à Auberive	84	Seine-Normandie	FRHR14	3014130	47°46'39"	5°04'50"	Mauvais état chimique	23/10/20 12
Méances à Chalmaison	85	Seine-Normandie	FRHR39	3013345	48°29'11"	3°14'19"	Mauvais état chimique	23/ 10/2012
Yerres à Courtomer	86	Seine-Normandie	FRHR101	3078110	48°39'03"	2°54'12"	Agricultural	23/10/2012
Rognon à Bourdon sur Rognon	87	Seine-Normandie	FRHR109	3093900	48°12'38"	5°18'56"	Référence	24/10/2 012
Aujon à Longchamp sur Aujon	88	Seine-Normandie	FRHR15	3022000	48°09'14"	4°48'17"	Mauvais état chimi que	24/10/2012
Landion à Argançon	89	Seine-Normandie	FRHR18-	3016840	48°15'09"	4°36'17"	Mauvais état chimique	24/10 /2012
Chavanges à Lentilles	90	Seine-Normandie	FRHR21-	3022718	48°29'03"	4°03'22"	Mauvais état chimique	2 4/10/2012
Lieutel à Neauphle le Vieux	91	Seine-Normandie	FRHR232A	3168690	48°48'47"	1°51'39"	Mauvais état chi mique	24/10/2012
Vesgre à Saint-Lubin de la Haye	92	Seine-Normandie	FRHR257	3190735	48°48'60"	1°33'45"	Bon état chimi que	24/10/2012
Mesangueville à Dampierre	93	Seine-Normandie	FRHR234-	3174695	49°31'60"	1°41'12"	Bon état chimique	24/10/2012
Auchy à Ferrières en Bray	94	Seine-Normandie	FRHR234-	3174825	49°28'48"	1°44'19"	Bon état chimique	24/10/2012
Ornain à Girauval	95	Seine-Normandie	FRHR122B	3099490	49°12'57"	4°05'41"	Bon état chimique	25/10/20 12
Auve à Sainte-Menehould	96	Seine-Normandie	FRHR192	3145880	49°04'48"	4°53'12"	Mauvais état chimique	25/10/2012
Vesle à Taissy	97	Seine-Normandie	FRHR208B	3160000	49°12'56"	4°05'40"	Mauvais état chimique	25/10/20 12
Beuvronne à Gressy	98	Seine-Normandie	FRHR152	3120800	48°57'53"	2°46'38"	Mauvais état chimique	25/1 0/2012
Launette à Ver sur Launette	99	Seine-Normandie	FRHR226-	3167350	49°06'12"	2°41'17"	Mauvais état chi mique	25/10/2012
Airon à Loges Marchis	124	Seine - Normandie	FRHR347	3271965	48°33'07"	-1°04'36"	Agricole	03/04/2013
Soulevre à Carville	125	Seine - Normandie	FRHR315	3250430	48°56'49"	-0°53'20"	Référence	03/04/2013
Noireau à Berjou	126	Seine - Normandie	FRHR304	3241957	48°51'33"	-0°29'20"	Mauvais état écologique	0 4/04/2013
Joux à Roche Bettaincourt	-	Seine-Normandie	F5180600	3094700	46°44'35"	5°59'26"	Référence	Annulée 3

\* : Le numéro de site correspond à l'ordre chronologique dans lequel les sites ont été évalués.

Annulé 1 : site annulé pour causes de mauvaises condition météorologiques ; Annulé 2 : site annulé car trop éloigné des autres sites ; Annulé 3 : site annulé car il s'agissait d'eaux de transition.

Nd : non déterminé

N.a. : Site qui ne fait pas partie du RCS ou du RCO



## ANNEXE C. Caractéristiques physico-chimiques des sites évalués

**Tableau 6.** Caractéristiques physicochimiques (pourcentage d'oxygène dissous, dureté et température) des eaux de surface sur les sites d'étude.

N° site	Site	O2-d (%)		Dureté (mg/L CaCO3)	Température (°C)		
		Pose	Récupération		Max	Med	Min
1	Ru de Courbières à Bois-Blanc	-	-	436.7	9.31	8.15	6.28
2	Galaveyson à Grand Serre	-	-	163.4	12.31	9.87	6.47
3	Bourbre à la Tour du Pin	-	-	479.0	14.67	10.62	7.92
4	Mandorne à Oncieu	-	-	338.6	10.17	8.87	7.55
5	Ru de Pramenoux à Baculy	-	-	37.55	14.18	8.49	5.37
6	Ergues à Poule les Echarmeaux	-	-	46.75	-	-	-
7	Ardières aux Ardillats	-	-	41.65	14.02	9.07	5.91
8	Gier à la Valla en gier	-	-	19.40	-	-	-
9	Ru de Bastide à Bastide	-	-	347.6	12.45	10.06	7.17
10	Affluent Amous à Le Temple	-	-	362.8	13.25	11.77	11.01
11	Amous à Campeyrigoux	-	-	365.5	15.42	11.48	7.75
12	Boralde Flaujaguèse à St Côme d'Olt	112.8	109.0	22.34	14.91	12.47	9.38
13	Aveyron à Rodez	95.0	160.0	213.2	17.38	15.20	12.12
14	Garonne en aval de Toulouse	106.0	197.0	59.06	15.31	13.61	13.56
15	Aussonelle à Seilh	85.9	109.0	200.9	22.48	18.68	15.58
16	Hers-mort à Saint-Sauveur	69.2	94.0	250.3	24.72	20.59	17.03
17	Isle à Razac	96.5	125.0	165.1	18.50	16.62	14.05
18	Rhône à Chasse sur Rhône	114.0	93.0	174.7	21.42	20.00	18.40
19	Giers à Givors	-	96.0	88.29	23.76	17.11	14.92
20	Loire à Bas en Basset	133.0	96.0	35.62	19.96	15.82	14.18
21	Furan à Andrézieux-Bouthéon	122.0	93.0	167.0	22.67	17.21	13.75
22	Loire à Veauchette	133.0	210.0	43.90	18.85	16.48	15.22
23	Bourbre à Chavanoz	-	-	245.2	19.32	16.74	14.94
24	Drac à Fontaine	-	-	118.9	14.36	12.02	10.31
25	Tillet à Aix les Bains	-	-	231.1	19.32	17.75	16.15
26	Auvézère à Ségur le château	80.0	83.0	43.90	19.24	16.82	14.79
27	Dordogne à St Pierre d'Eyraud	100.0	103.0	-	-	-	-
28	Colinet (Soptier) à Cézac	88.0	87.0	227.8	18.38	16.41	13.39
29	Dropt à Loubens	90.0	92.0	286.5	24.14	22.49	21.52
30	Tolzac à Varès	84.0	85.0	376.7	22.47	19.58	17.21
31	Garonne à Aiguillon	85.0	-	-	-	-	-
32	Arrats à St Antoine	92.0	97.0	304.3	20.98	19.67	18.11
33	Gimone à Lafitte	80.0	83.0	277.0	22.92	21.31	19.86
34	Tarn à Albi	-	79.1	176.1	26.18	23.89	23.11
35	Montbrun à Montbrun Bocage	-	96.6	192.1	16.99	15.27	13.77
36	Gave du Pau à Abidos	-	100.0	123.5	20.91	17.88	15.15
37	Gave du Pau à Rhieulès	-	112.0	89.47	16.83	14.03	12.51
38	Gave du Pau à Gavarnie	-	108.0	94.19	11.25	7.98	6.39
39	Luzou à Bégaar	-	81.2	34.43	16.95	15.95	14.79
40	Bergon à Réans	-	66.0	217.4	17.85	16.36	14.54
41	Tréboul à Castelnaudary	-	61.0	310.7	24.97	20.92	18.65
42	Ouche à Crimolois	140.0	112.0	269.7	24.83	21.41	18.94

**Tableau 6.** Caractéristiques physicochimiques (pourcentage d'oxygène dissous, dureté et température) des eaux de surface sur les sites d'étude (suite).

N° site	Site	O2 (%)		Dureté (mg/l CaCO3)	Températures (°C)		
		Pose	Récupération		Max	Med	Min
43	Trinquelin à St Léger Vauban	114.0	130.0	19.10	20.71	17.97	15.18
44	Nièvre à Dompierre sur Nièvre	162.0	157.4	28.86	18.78	16.16	13.75
45	Layon à Ivoy le Pré	123.0	117.9	21.60	17.39	14.01	12.01
46	Vauvise à Jussy le Chaudrier	162.0	170.0	268.04	24.12	20.22	16.80
47	Bourbince à Vitry en Charolais	120.0	122.0	136.61	-	-	-
48	Loire à Briennon	113.0	132.0	67.18	26.33	22.70	19.69
49	Ardières à St Jean	395.0	102.0	69.76	21.97	19.09	17.09
50	Corne à St Rémy	86.0	76.0	310.18	20.78	19.35	18.02
51	Guyotte à St Bonnet en Bresse	46.0	27.5	192.18	-	-	-
52	Reyssouze à Viriat	205.0	204.0	211.85	27.86	22.52	19.34
53	Mare à Gumières	222.0	100.0	12.01	15.08	12.04	9.10
54	Dore à Olliergues	133.0	95.0	24.06	21.07	18.54	16.29
55	Bedat à St Laure	219.0	112.0	154.04	24.66	19.98	16.07
56	Seine à Poissy	121.3	123.9	272.39	22.81	21.30	20.53
57	Iton à Normanville	160.9	110.0	240.95	20.20	16.63	13.85
58	Puiseaux à Nogent sur Vernisson	95.6	86.3	123.97	16.70	14.46	10.98
59	Risle à Ambenay	174.0	121.4	260.99	19.61	15.74	14.28
60	Iton à Chaise-Dieu du Theil	119.0	120.1	232.71	-	-	-
61	Ru d'ancuoel à Moisenay	105.1	114.6	407.84	18.66	15.29	11.07
62	Seine à St Fargeau Ponthierry	81.0	134.1	203.12	22.38	20.33	19.47
63	Oussance à Ingrannes	9.9	81.8	195.66	16.57	14.31	12.27
64	Loire à Jargeau	172.0	157.1	93.41	25.34	19.52	15.87
65	Les Evoissons à Bergicourt	196.6	104.5	335.17	15.61	12.95	11.63
66	Ancre à Bonnay	162.8	97.4	344.27	20.52	14.37	13.34
67	Vesle à Chassemy	166.0	99.4	389.20	16.97	15.25	14.09
68	Marne à Reuil	160.1	105.4	183.74	19.50	17.59	8.24
69	Marne à Matougues	123.8	96.3	171.24	19.46	18.10	16.76
70	Chée à Merlaut	140.2	91.3	301.77	-	-	-
71	Roanne à St Benoît en Diois	139.0	126.0	171.61	20.33	15.57	10.36
72	Toulourenc à St Léger du Ventoux	134.0	130.0	175.09	18.12	15.08	9.99
73	Durance aux Mées	162.0	141.0	199.61	16.39	14.88	13.59
74	Luynes à Aix en Provence	118.0	122.0	294.16	20.26	18.66	15.47
75	Auzon à Monteux	120.0	50.0	418.43	21.19	18.98	15.30
76	Rhône à Arles	113.0	130.0	202.47	-	-	-
77	Avène à St Privat des Vieux	86.2	93.0	1042.61	21.35	18.61	15.70
78	Tarnon à Rousses	138.0	145.0	21.93	15.92	13.94	11.94
79	Luech à Genolhac	144.0	110.0	19.06	19.39	17.06	14.95
80	Beaumes à Rosières	130.0	137.0	34.39	21.14	18.59	17.12
81	Ource à Autricourt	132.0	130	328.47	13.57	12.47	10.33
82	Seine à Nod sur Seine	125.0	126	313.24	13.61	12.73	10.18
83	Groème à Terrefondrée	104.0	100	306.38	11.14	10.62	9.93
84	Aube à Auberive	119.0	102	315.02	12.65	11.75	9.38
85	Méances à Chalmaison	77.8	72.5	491.19	16.70	13.56	10.88
86	Yerres à Courtomer	96.8	97.8	486.24	-	-	-
87	Rognon à Bourdon sur Rognon	112.0	106	126.70	13.29	12.22	10.02
88	Aujon à Longchamp sur Aujon	126.0	107	269.83	12.94	12.37	11.05
89	Landion à Argançon	124.0	106	343.94	14.26	13.18	7.67

**Tableau 6.** Caractéristiques physicochimiques (pourcentage d'oxygène dissous, dureté et température) des eaux de surface sur les sites d'étude (suite).

N° site	Site	O2 (%)		Dureté (mg/l CaCO3)	Températures (°C)		
		Pose	Récupération		Max	Med	Min
90	Chavanges à Lentilles	99.0	65	446.77	-	-	-
91	Lieutel à Neauphle le Vieux	82.9	96.5	339.13	14.49	13.79	11.67
92	Vesgre à Saint-Lubin de la Haye	85.0	95.8	214.11	15.47	13.77	11.10
93	Mesangueville à Dampierre	82.7	80.6	133.45	14.61	13.19	11.29
94	Auchy à Ferrières en Bray	95.8	102.3	411.04	14.90	13.26	12.00
95	Ornain à Girauval	115.0	97	185.11	13.24	12.57	10.37
96	Auve à Sainte-Menehould	114.0	106	288.11	13.82	12.94	10.30
97	Vesle à Taissy	117.0	110	262.64	13.52	12.54	10.48
98	Beuvronne à Gressy	87.0	89.6	591.33	14.37	13.47	10.66
99	Launette à Ver sur Launette	90.8	87.8	405.51	15.42	14.24	10.89
100	Méholle à Void	105.0	105.0	287.06	10.32	9.46	3.80
101	Madon à Xeuilley	98.0	91.0	567.78	10.84	7.59	4.35
102	Meurthe à Bouxières	100.0	89.0	1410.49	11.05	8.66	5.84
103	Moselle à Hauconcourt	89.0	83.0	582.68	10.82	9.29	5.08
104	Rosselle à Petite Roselle	53.0	55.0	394.81	10.94	9.54	5.64
105	Souffel à Mundlosheim	77.0	65.0	357.54	9.96	7.99	3.51
106	Petite Fecht à Stosswihr	102.0	99.0	9.88	10.82	9.29	5.07
107	Doller à Reiningue	93.0	96.0	20.85	9.60	8.69	5.27
108	Lanterne à Sainte Marie en Chaux	92.0	86.0	31.26	9.92	8.67	5.04
109	Durgeon à Vesoul	84.0	83.0	121.72	10.39	8.64	6.27
110	Salon à Chalindrey	89.0	81.0	265.53	10.11	8.53	7.35
111	Lez à Lattes	84.0	-	324.15	14.83	13.59	2.20
112	Têt à Sainte Marie la Mer	89.7	92.0	95.42	13.71	11.39	4.20
113	Agulla de la Mar à Alenya	85.0	103.0	410.42	17.36	14.01	6.55
114	Layon à Saint Lambert	104.0	-	231.21	9.96	6.72	7.10
115	Loire à Montjean sur Loire	107.0	-	-	-	-	-
116	Rau Vrignon à Saint Aubin	107.0	-	65.54	11.50	7.42	6.49
117	Petite boulogne à Saint Etienne	85.0	-	75.38	10.87	7.32	5.18
118	Boire de la Roche à Saint Julien	85.0	-	273.39	11.55	7.25	7.01
119	Vilaine à Guichen	102.0	-	123.01	9.11	7.46	2.66
120	Aff à Paimpont	107.0	-	22.30	8.04	5.70	4.25
121	Rance à Ereac	105.0	-	65.30	7.80	5.72	3.46
122	Oust à Loudéac	-	-	81.86	8.75	6.82	2.90
123	Gouet à Saint Julien	106.0	-	69.11	9.41	6.30	4.33
124	Airon à Loges-Marchis	105.0	-	75.30	8.68	7.01	3.04
125	Souleuvre à Carville	106.0	-	64.97	8.71	5.54	5.21
126	Noireau à Berjou	101.0	-	74.89	9.74	6.42	4.67
127	Jouanne à Forcé	99.0	-	167.11	8.70	6.65	3.43
128	Baraize à Saint Denis d'Anjou	102.0	-	235.52	9.61	6.57	4.57
129	Sarthe à Arnage	99.0	-	266.69	9.26	7.06	2.99

## ANNEXE D. Taux de survie des gammares

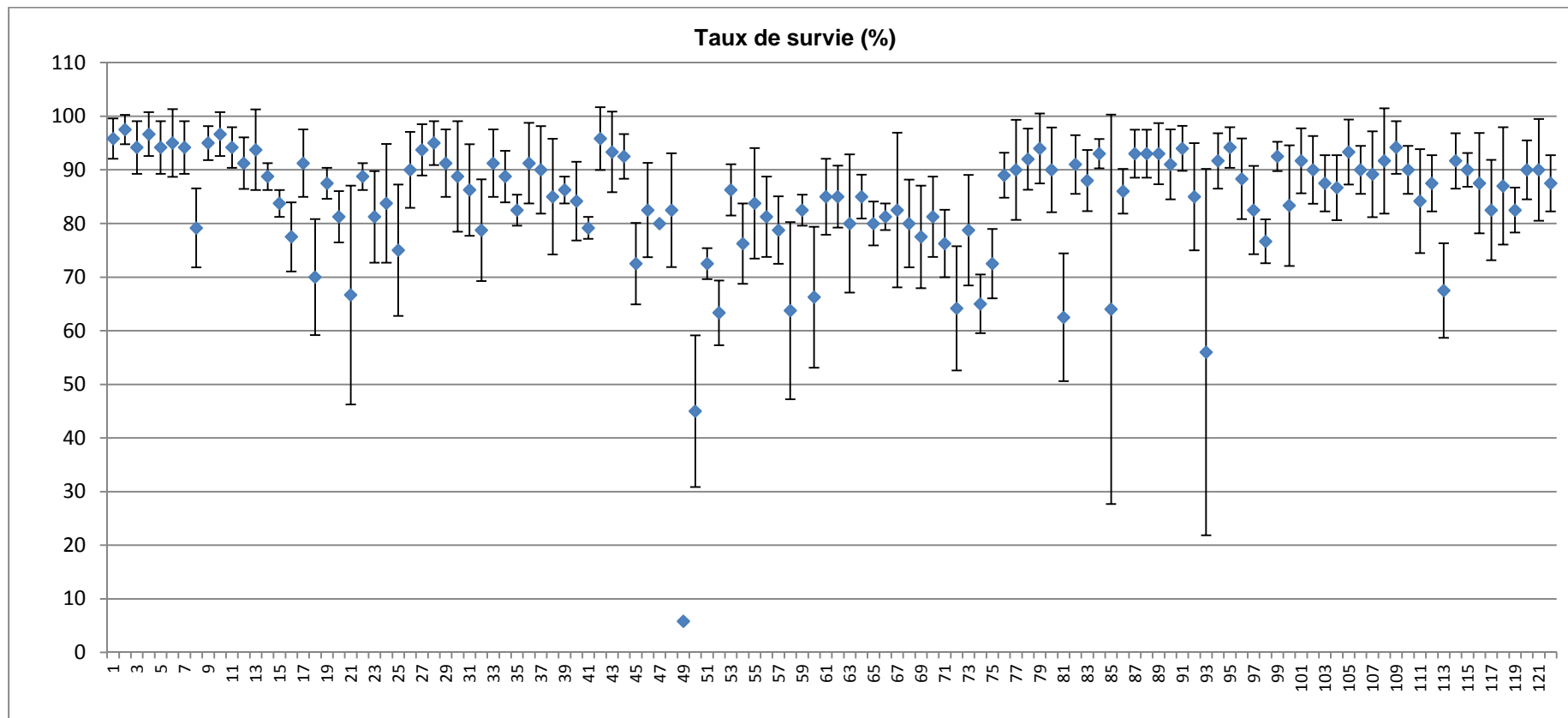


Figure 12. Taux de survie (%) des gammares après une semaine d'exposition sur les 123 sites évalués.

**Tableau 7.** Observations effectuées lors de la récupération des systèmes d'encagement et pour les sites sur lesquels un faible taux de survie des gammares a été observé ( $\leq 75\%$ ).

N°	Site	Survie moyenne (%)	Observations effectuées lors de la récupération des cages
51	Guyotte à St Bonnet en Bresse	5.80	Présence de poissons morts, pollution organique ponctuelle (huile de vidange ?)
52	Reyssouze à Viriat	45.0	Crue importante
99	Launette à Ver sur Launette	56.0	Caisse émergée
86	Yerres à Courtomer	62.5	Tous les dispositifs hors de l'eau
54	Dore à Olliergues	63.3	
62	Seine à St Fargeau Ponthierry	63.8	
91	Lieutel à Neauphle le Vieux	64.0	
77	Avène à St Privat des Vieux	64.2	Conductivité très élevée ( $> 4000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
79	Luech à Genolhac	65.0	
64	Loire à Jargeau	66.3	Caisse en partie émergée
21	Furan à Andrézieux-Bouthéon	66.7	Caisse en partie émergée
120	Aff à Paimpont	67.5	
18	Rhône à Chasse sur Rhône	70.0	Caisse peut-être déplacée
47	Bourbince à Vitry en Charolais	72.5	
53	Mare à Gumières	72.5	
80	Beaumes à Rosières	72.5	
25	Tillet à Aix les Bains	75.0	Caisse en partie émergée

## Annexe E. Concentrations mesurées dans les gammares pour la campagne nationale

**Tableau 8.** Teneurs en métaux dans les gammares pêchés, triés et stabulés 15 jours en laboratoire et avant exposition sur les sites d'étude (concentration et écart-type exprimés en  $\mu\text{g/g}$  de poids sec ; RSD : écart type relatif en % ; LQ : limite de quantification en  $\mu\text{g.g}^{-1}$  pour un poids moyen d'un pool de gammares de 30 mg ; les concentrations inférieures à LQ ne sont pas prises en compte dans le calcul des moyennes et des écarts type ; chaque date correspond à 1 pool de gammares analysé par lot ; n=14).

T0	Teneurs en métaux ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec)										
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Pb	Hg
T0 20/03/2012	0.16	0.15	< LQ	61.9	66.5	1.39	< LQ	0.21	0.17	0.15	0.059
T0 07/05/2012	0.14	0.17	< LQ	68.4	66.6	1.11	< LQ	0.27	0.17	0.40	0.039
T0 30/05/2012	0.11	0.18	< LQ	65.7	58.6	1.18	< LQ	0.15	0.13	0.22	0.059
T0 15/06/2012	0.20	0.15	< LQ	62.6	63.8	1.23	< LQ	0.14	0.07	0.21	0.063
T0 02/07/2012	0.44	0.21	< LQ	78.5	67.7	1.48	< LQ	0.13	0.14	0.52	0.062
T0 24/07/2012	0.11	0.16	< LQ	67.1	58.7	1.13	< LQ	0.16	0.11	< LQ	0.056
T0 10/08/2012	0.14	0.17	< LQ	61.9	63.3	1.10	< LQ	0.13	0.14	0.12	0.071
T0 18/07/2012	0.19	0.19	< LQ	79.9	65.2	1.18	< LQ	0.16	0.13	0.29	0.065
T0 27/08/2012	0.20	0.15	< LQ	71.3	65.9	1.54	< LQ	0.17	0.15	0.10	0.073
T0 03/09/2012	0.18	0.29	< LQ	70.8	65.0	1.35	< LQ	0.16	0.16	0.14	0.079
T0 13/09/2012	0.20	0.31	< LQ	90.1	76.0	1.57	2.81	0.16	0.14	0.19	0.075
T0 16/11/2012	< LQ	0.22	< LQ	70.2	70.3	1.17	< LQ	0.11	0.23	< LQ	0.082
T0 22/03/2013	0.16	0.40	0.92	61.5	61.5	1.09	< LQ	0.16	0.11	0.20	0.024
T0 19/03/2013	0.23	0.41	1.42	70.4	66.9	1.45	< LQ	0.18	0.18	0.27	0.029
<b>Moyenne</b>	<b>0.18</b>	<b>0.21</b>	<b>&lt; LQ</b>	<b>69.6</b>	<b>65.3</b>	<b>1.27</b>	<b>&lt; LQ</b>	<b>0.16</b>	<b>0.14</b>	<b>0.21</b>	<b>0.056</b>
Ecart-type	0.09	0.09	-	8.2	4.5	0.17	-	0.04	0.04	0.12	0.018
<b>RSD (%)</b>	<b>47</b>	<b>43</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>59</b>	<b>32</b>
LQ ( $\mu\text{g/g}$ )	0.09	0.095	0.48	0.24	0.96	0.095	2.67	0.05	0.05	0.095	0.010

**Tableau 9.** Données de concentration pour les métaux (en µg/g de poids sec) mesurées dans les gammars exposés 7 jours, et informations sur les échantillons traités pour chaque site (1 pool analysé ou répliqués ; valeurs aberrantes).

N° site	Sites	Concentrations métalliques (en µg/g de poids sec)										Nombre d'échantillons pour les métaux
		Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Pb	
1	Ru de Courbière à Bois-blanc	0.43	0.16	0.71	63.44	66.05	1.15	< LQ	0.21	0.19	0.13	triplicats (Moyenne)
2	Galaveyson à Grand-Serre	0.35	0.22	0.52	59.04	63.54	1.04	< LQ	0.16	0.26	0.19	triplicats (Moyenne)
3	Bourbre à la Tour-du-Pin	0.56	0.21	0.50	54.96	66.50	1.56	< LQ	0.17	0.18	0.31	triplicats (Moyenne)
4	Mandorne à Oncieu	0.70	0.21	0.65	61.11	64.87	1.26	< LQ	0.21	0.24	0.17	triplicats (Moyenne)
5	Ru de Pramenou à Baculy	0.52	0.23	< LQ	51.96	60.82	1.37	< LQ	0.16	0.30	0.64	triplicats (Moyenne)
6	Ergues à Poule	0.57	0.23	< LQ	57.85	63.26	1.78	< LQ	0.20	0.23	0.68	triplicats (Moyenne)
7	Ardières aux Ardillats	0.45	0.27	< LQ	58.75	62.93	2.07	< LQ	0.20	1.43	0.65	triplicats (Moyenne)
8	Gier à la Valla-en-Gier	0.47	0.22	0.55	61.31	64.90	1.18	< LQ	0.19	2.65	0.27	triplicats (Moyenne)
9	Ru de Bastide à Bastide	0.48	0.20	0.55	61.13	69.14	2.13	< LQ	0.20	0.31	4.27	triplicats (Moyenne)
10	Affluent-Amous à le Temple	0.92	0.40	1.31	65.01	68.25	2.14	< LQ	0.25	0.27	2.24	triplicats (Moyenne)
11	Amous à Campeyrigoux	0.46	0.22	< LQ	64.01	102.87	2.39	< LQ	0.21	0.92	5.30	triplicats (Moyenne)
12	Boralde Flaujaguèse	0.67	0.44	0.75	72.38	63.87	1.17	< LQ	0.21	0.37	0.42	1 échantillon
13	Aveyron à Rodez	1.16	0.40	0.78	69.18	66.73	1.53	< LQ	0.18	0.16	0.87	triplicats (Moyenne)
14	Garonne en aval de Toulouse	0.81	0.47	0.97	68.17	68.83	1.51	< LQ	0.14	0.31	0.89	1 échantillon
15	Aussonelle à Seilh	1.73	0.69	1.24	80.39	66.96	1.49	< LQ	0.20	0.17	0.95	triplicats (Moyenne)
16	Hers-mort à Saint-Sauveur	1.16	0.42	0.77	68.08	60.25	1.68	< LQ	0.14	0.11	0.98	1 échantillon
17	Isle à Razac	0.51	0.33	0.54	64.45	64.07	1.67	< LQ	0.16	0.13	0.44	1 échantillon
18	Rhone à Chasse-sur-Rhone	0.49	0.34	0.77	67.10	68.73	1.07	< LQ	0.20	0.11	0.39	1 échantillon
19	Giers à Givors	0.62	0.45	1.07	61.62	64.23	1.49	< LQ	0.12	0.18	0.48	triplicats (Moyenne)
20	Loire à Veauchette	0.61	0.46	0.54	67.87	71.06	1.46	< LQ	0.17	0.31	0.34	1 échantillon
21	Furan à Andrézieux	1.23	0.84	2.16	65.71	78.39	2.68	< LQ	0.26	0.21	1.67	triplicats (Moyenne)
22	Loire à Bas-en-Basset	0.33	0.37	0.54	73.87	64.88	1.12	< LQ	0.20	0.27	0.26	1 échantillon
23	Drac à Fontaine	0.90	0.64	1.19	74.27	65.82	1.55	< LQ	0.21	0.23	0.55	1 échantillon
24	Tillet à Aix-les-Bains	0.63	0.30	0.71	64.04	76.27	1.09	< LQ	0.20	0.08	0.72	1 échantillon



**Tableau 9.** Données de concentration pour les métaux (en µg/g de poids sec) mesurées dans les gammars exposés 7 jours, et informations sur les échantillons traités pour chaque site (1 pool analysé ou réplicats ; valeurs aberrantes). (suite)

N° site	Sites	Concentrations métalliques (en µg/g de poids sec)										Nombre d'échantillons pour les métaux
		Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Pb	
25	Bourbre à Chavanoz	0.53	0.73	< LQ	66.60	63.56	0.99	< LQ	0.18	0.13	0.31	triplicats (Moyenne)
26	Auvézère à Ségur	0.78	0.51	0.72	64.77	64.35	1.45	< LQ	0.15	0.22	0.34	1 échantillon
28	Colinet à Cézac	0.53	0.33	0.71	62.65	64.48	1.31	< LQ	0.11	0.16	0.39	1 échantillon
29	Dropt à Loubens	0.67	0.25	< LQ	74.82	69.12	1.65	< LQ	0.17	0.09	0.27	1 échantillon
30	Tolzac à Varès	2.15	0.64	1.15	57.19	63.45	1.91	< LQ	0.14	0.11	1.03	triplicats (Moyenne)
32	Arrats à Saint-Antoine	1.34	0.37	0.95	57.29	70.21	1.48	< LQ	0.13	0.10	0.46	1 échantillon
33	Gimone à Lafitte	1.07	0.38	0.89	67.75	62.44	1.25	< LQ	0.15	0.17	0.41	1 échantillon
34	Tarn à Albi	0.55	0.24	< LQ	61.40	56.08	1.06	< LQ	0.14	0.16	0.54	1 échantillon
35	Montbrun à Bocage	0.44	0.45	0.90	78.17	69.41	1.02	< LQ	0.15	0.13	0.28	duplicats (moyenne) : 1 série de valeurs aberrantes supprimées
36	Bergon à Réans	0.53	0.38	< LQ	65.11	62.36	0.99	< LQ	0.13	0.13	0.22	1 échantillon
37	Luzou à Bégaar	0.17	0.32	0.60	68.57	64.61	0.71	< LQ	0.10	0.10	0.18	1 échantillon
38	Gave Abidos	0.67	0.38	0.66	74.15	72.25	1.13	< LQ	0.43	0.28	0.70	triplicats (Moyenne)
39	Gave à Rhieulhès	1.57	0.83	1.78	74.11	110.27	3.53	< LQ	0.21	0.79	3.72	triplicats (Moyenne)
40	Gave à Gavarnie	1.52	0.52	1.16	66.92	65.59	1.49	< LQ	0.16	0.30	1.10	triplicats (Moyenne)
41	Tréboul à Castelnaudary	1.42	0.40	0.79	78.76	74.20	1.21	< LQ	0.29	0.07	1.21	1 échantillon
42	Ouche à Crimolois	0.69	0.57	0.63	71.87	72.76	1.29	< LQ	0.21	0.19	0.95	1 échantillon
43	Trinquelin à Saint-Léger	0.77	0.43	< LQ	63.92	66.85	3.39	< LQ	0.14	0.43	0.60	1 échantillon
44	Nièvre à Dompierre	0.83	0.37	0.99	69.73	68.45	1.93	< LQ	0.12	0.20	0.66	Triplacats
45	Layon à Ivoy	0.47	0.64	1.45	59.97	62.84	0.94	< LQ	0.12	0.32	0.49	1 échantillon
46	Vauvise à Jussy	0.63	0.37	0.70	63.25	60.08	0.88	< LQ	0.10	0.15	0.52	1 échantillon
47	Bourbince à Vitry	0.96	0.59	0.81	73.77	64.93	1.52	< LQ	0.15	0.09	0.79	1 échantillon
48	Loire à Briennon	1.08	0.54	0.71	69.85	64.03	1.55	< LQ	0.14	0.11	0.83	1 échantillon
49	Ardières à Saint-Jean	1.82	0.75	0.96	77.53	72.90	3.42	< LQ	0.12	0.29	2.24	triplicats (Moyenne)
50	Corne à Saint-Rémy	0.99	0.57	1.02	75.88	68.22	1.75	< LQ	0.15	0.11	0.68	triplicats (Moyenne) sauf pour le Cr : duplicats, 1 valeur aberrante supprimée
51	Guyotte à Saint-Bonnet	0.64	0.47	0.81	74.23	74.72	1.98	< LQ	0.15	0.16	0.29	1 échantillon
52	Reyssouze à Viriat	0.39	0.24	0.37	72.02	64.30	1.07	< LQ	0.15	0.07	0.69	1 échantillon
53	Mare à Gumières	0.24	0.28	< LQ	55.76	64.25	0.95	< LQ	0.15	0.30	< LQ	triplicats (Moyenne)

**Tableau 9.** Données de concentration pour les métaux (en µg/g de poids sec) mesurées dans les gammars exposés 7 jours, et informations sur les échantillons traités pour chaque site (1 pool analysé ou réplicats ; valeurs aberrantes). (suite)

N° site	Sites	Concentrations métalliques (en µg/g de poids sec)										Nombre d'échantillons pour les métaux
		Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Pb	
54	Dore à Olliergues	0.53	0.31	< LQ	85.61	75.28	1.94	< LQ	0.17	0.41	0.34	1 échantillon
55	Bedat à Saint-Laure	0.40	0.36	0.56	92.68	72.59	2.06	< LQ	0.24	0.07	0.48	1 échantillon
56	Seine à Poissy	0.56	0.50	0.52	79.07	64.83	1.41	< LQ	0.21	0.14	0.81	1 échantillon
57	Iton à Normanville	0.36	0.41	0.53	78.46	70.76	1.08	< LQ	0.15	0.22	0.35	duplicats (Moyenne) : 1 série de valeurs aberrantes supprimées
58	Puiseaux à Nogent	0.36	0.86	0.92	67.78	67.27	1.32	< LQ	0.12	0.19	0.30	1 échantillon
59	Risle à Ambenay	0.48	0.39	0.72	86.85	83.61	1.16	< LQ	0.15	0.73	0.49	duplicats (Moyenne) : 1 série de valeurs aberrantes supprimées sauf pour le Pb : 1 seule valeur conservée et 2 aberrantes supprimées
61	Ru d'ancoeil à Moisenay	0.56	0.37	< LQ	73.67	65.54	1.10	< LQ	0.14	0.23	0.40	1 échantillon
62	Seine à Saint-Fargeau	0.34	0.32	< LQ	81.75	63.08	1.07	< LQ	0.16	0.19	0.51	1 échantillon
63	Oussances à Ingrannes	0.24	0.99	< LQ	74.04	61.29	1.17	< LQ	0.13	0.16	0.24	1 échantillon
64	Loire à Jargeau	0.42	0.36	0.90	88.13	66.87	1.84	< LQ	0.13	0.24	0.31	1 échantillon
65	Evoissons à Bergicourt	0.80	0.32	< LQ	70.32	73.61	1.19	< LQ	0.14	0.15	0.31	1 échantillon
66	Ancre à Bonnay	0.71	0.37	0.59	66.92	68.85	1.00	< LQ	0.13	0.10	0.46	1 échantillon
67	Vesle à Chassemy	0.65	0.40	0.86	72.17	71.46	1.04	< LQ	0.15	0.14	0.44	1 échantillon
68	Marne à Rueil	0.67	0.42	0.59	84.91	71.01	0.98	< LQ	0.18	0.33	0.45	1 échantillon
69	Marne à Matougues	0.47	0.33	0.64	80.88	74.11	1.17	< LQ	0.17	0.23	0.21	1 échantillon
70	Chée à Merlaut	0.32	0.31	< LQ	81.81	75.46	1.25	3.32	0.16	0.23	0.15	1 échantillon
71	Roanne à Saint-Benoît	1.28	0.73	2.16	80.72	71.79	1.07	< LQ	0.16	0.15	0.34	triplicats (Moyenne)
72	Toulourenc à Saint-Léger	2.09	0.81	2.38	75.87	65.87	1.11	< LQ	0.14	0.09	0.47	triplicats (Moyenne)
73	Durance aux Méés	0.78	0.63	1.71	60.67	77.36	1.79	< LQ	0.10	0.17	0.22	1 échantillon
74	Luyens à Aix	0.76	0.35	0.67	86.01	71.76	1.27	< LQ	0.14	0.14	0.64	1 échantillon
75	Auzon à Monteux	1.47	0.55	1.29	84.54	71.17	1.43	< LQ	0.25	0.12	2.37	triplicats (Moyenne)
77	Avène à Saint-Privat	0.60	4.81	13.84	88.58	78.08	2.24	< LQ	0.14	0.23	0.67	triplicats (Moyenne)
78	Tarnon à Rousses	0.17	0.33	< LQ	64.29	69.54	2.30	< LQ	0.14	0.68	0.32	1 échantillon
79	Luech à Genolhac	0.29	0.45	0.74	72.32	83.86	1.90	< LQ	0.16	1.10	7.43	1 échantillon

**Tableau 9.** Données de concentration pour les métaux (en µg/g de poids sec) mesurées dans les gammars exposés 7 jours, et informations sur les échantillons traités pour chaque site (1 pool analysé ou réplicats ; valeurs aberrantes). (suite)

N° site	Sites	Concentrations métalliques (en µg/g de poids sec)										Nombre d'échantillons pour les métaux
		Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Pb	
80	Beaumes à Rosières	0.79	0.54	0.69	77.15	76.84	3.39	< LQ	0.13	0.25	1.30	1 échantillon
81	Ource à Autricourt	0.37	0.27	< LQ	73.73	66.46	1.00	< LQ	0.14	0.17	0.11	1 échantillon
82	Seine à Nod sur Seine	0.53	0.31	< LQ	73.95	67.04	1.14	< LQ	0.12	0.18	0.27	1 échantillon
83	Groème à terrefondrée	0.54	0.31	< LQ	59.86	64.85	1.04	< LQ	0.12	0.25	0.19	1 échantillon
84	Aube à Auberive	0.35	0.27	< LQ	65.29	64.36	1.12	< LQ	0.14	0.28	0.13	1 échantillon
85	Méances à Chalmaison	0.37	0.33	0.70	74.40	67.04	1.18	< LQ	0.10	0.12	0.21	1 échantillon
86	Yerres à Courtomer	0.63	0.35	0.84	61.30	63.55	0.99	< LQ	0.10	0.13	0.32	1 échantillon
87	Rognon à Bourdon	0.77	0.37	0.80	72.39	71.00	1.11	< LQ	0.10	0.19	0.33	1 échantillon
88	Aujon à Longchamp	0.43	0.31	0.68	68.89	65.93	1.00	< LQ	0.12	0.23	0.17	1 échantillon
89	Landion à Argançon	1.28	0.39	0.94	78.07	63.35	1.00	< LQ	0.12	0.15	0.53	1 échantillon
91	Lieutel à Neauphle le Vieux	0.64	0.46	0.67	71.56	64.30	0.84	< LQ	0.12	0.20	0.32	1 échantillon
92	Vesgre à Saint-Lubin	0.56	0.49	0.66	63.67	71.25	0.93	2.81	0.12	0.16	0.42	1 échantillon
93	Mésangueville à Dampierre	0.50	2.50	1.18	69.98	68.63	1.16	< LQ	0.10	0.14	0.29	1 échantillon
94	Auchy à Ferrières en Bray	0.82	0.46	0.65	72.19	68.35	1.09	< LQ	0.12	0.13	0.89	1 échantillon
95	Ornain à Girauval	0.73	0.33	0.70	65.95	72.86	0.91	< LQ	0.11	0.20	0.22	1 échantillon
96	Auve à Saint-Menehould	0.64	0.38	0.63	67.28	65.19	0.96	< LQ	0.12	0.20	0.28	1 échantillon
97	Vesle à Taissy	0.23	0.33	0.82	75.55	67.61	0.71	< LQ	0.12	0.21	0.17	1 échantillon
98	Beuvronne à Gressy	0.86	0.49	0.97	68.86	66.42	0.97	< LQ	0.14	0.12	0.74	1 échantillon
99	Launette à Ver	0.90	0.45	0.82	73.61	71.04	1.16	< LQ	0.14	0.24	0.67	1 échantillon
100	Méholle à Void	0.85	0.33	0.85	69.67	69.72	1.21	< LQ	0.13	0.27	0.34	1 échantillon
101	Madon à Xeuilley	1.45	0.44	1.09	66.05	70.88	1.24	< LQ	0.11	0.21	0.43	1 échantillon
102	Meurthe à Bouxières	1.73	0.48	1.24	64.66	74.47	1.73	< LQ	0.20	0.21	2.11	1 échantillon
103	Moselle à Hauconcourt	0.84	0.40	0.78	69.56	68.75	1.30	< LQ	0.11	0.19	0.61	1 échantillon
104	Rosselle à Petite Roselle	0.91	0.47	0.93	62.07	80.03	1.43	< LQ	0.11	0.13	1.39	1 échantillon
105	Souffel à Mundolsheim	3.00	0.68	1.95	67.73	78.62	1.55	< LQ	0.12	0.15	1.74	1 échantillon
106	Petite Fecht à Stosswihr	0.50	0.30	< LQ	73.12	80.68	1.48	< LQ	0.12	0.35	0.78	1 échantillon
107	Doller à Reiningue	2.32	0.70	1.63	72.31	68.34	2.10	< LQ	0.12	0.23	1.57	1 échantillon
108	Lanterne à Sainte-Marie	1.07	0.63	0.82	64.81	64.78	1.56	< LQ	0.10	0.20	0.75	1 échantillon
109	Durgeon à Vesoul	0.46	0.39	< LQ	65.92	64.89	1.22	< LQ	0.10	0.12	0.21	1 échantillon
110	Salon à Chalindrey	1.24	0.58	1.04	68.18	72.78	1.32	< LQ	0.13	0.16	0.61	1 échantillon

**Tableau 9.** Données de concentration pour les métaux (en µg/g de poids sec) mesurées dans les gammares exposés 7 jours, et informations sur les échantillons traités pour chaque site (1 pool analysé ou réplicats ; valeurs aberrantes). (suite)

N° site	Sites	Concentrations métalliques (en µg/g de poids sec)										Nombre d'échantillons pour les métaux
		Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Pb	
111	Lez à Lattes	1.16	0.59	1.97	71.20	72.53	1.51	2.72	0.18	0.12	1.03	triplicats (Moyenne)
112	Tête à Sainte-Marie	1.04	0.72	1.75	62.75	61.79	1.93	< LQ	0.14	0.13	0.90	1 échantillon
113	Agula de la mar à Alenya	0.46	0.45	1.16	72.67	61.58	1.23	< LQ	0.13	0.07	0.26	1 échantillon
114	Layon à Saint-Lambert	0.65	0.70	1.84	60.22	69.23	1.52	< LQ	0.14	0.17	0.54	triplicats (Moyenne) sauf pour le Cr : duplicats, une valeur aberrante supprimée
116	Rau Vrignon à Saint-Aubin	0.41	0.60	1.43	67.32	67.80	1.44	< LQ	0.15	0.17	0.45	1 échantillon
117	Boulogne à Saint-Etienne	0.65	1.17	1.56	68.99	64.82	1.55	< LQ	0.14	0.19	0.51	1 échantillon
118	Boire de la roche à St-Julien	2.58	1.00	2.78	76.38	68.32	3.74	< LQ	0.17	0.17	1.49	1 échantillon
119	Vilaine à Guichen	0.64	1.10	2.72	61.99	69.28	1.08	< LQ	0.15	0.22	0.44	1 échantillon
120	Aff à Paimpont	0.56	2.22	2.35	46.93	68.35	1.13	< LQ	0.08	0.35	0.41	1 échantillon
121	Rance Ereac	0.82	1.52	2.86	56.68	68.04	1.13	< LQ	0.12	0.27	0.35	triplicats (Moyenne) sauf pour le Cr : duplicats, une valeur aberrante supprimée
122	Oust à Loudéac	0.50	1.42	3.98	65.97	70.11	0.99	< LQ	0.12	0.40	0.24	1 échantillon
123	Gouet à Saint-Julien	0.75	1.09	1.87	60.62	68.15	1.43	< LQ	0.15	0.34	0.70	triplicats (Moyenne)
124	Airon à Loges-Marchis	1.36	1.27	2.51	63.80	72.32	1.46	< LQ	0.16	0.26	0.54	1 échantillon
125	Soulevre à Carville	1.29	0.90	1.86	63.56	64.76	1.28	< LQ	0.12	0.21	0.48	1 échantillon
126	Noireau à Berjou	0.80	2.63	4.42	75.29	83.08	1.42	2.94	0.14	0.44	0.49	1 échantillon
127	Jouanne à Forcé	0.74	0.79	1.48	69.97	71.86	1.71	2.68	0.19	0.23	0.43	1 échantillon
128	Baraize à Saint-Denis	1.35	0.76	1.76	62.91	70.94	1.46	< LQ	0.17	0.19	0.52	1 échantillon
129	Sarthe à Arnage	1.44	0.80	1.69	56.61	68.24	1.61	< LQ	0.15	0.16	0.95	1 échantillon

**Tableau 10.** Données de concentration en mercure (en µg/g de poids sec) mesurées dans les gammars exposés 7 jours, et informations sur le nombre de réplicats traités pour chaque site.

N°site	Sites	[Hg] en µg/g p.s.	Nombre d'échantillons
1	Ru de Courbière à Bois-blanc	0.052	triplicats (Moyenne)
2	Galaveyson à Grand-Serre	0.047	triplicats (Moyenne)
3	Bourbre à la Tour-du-Pin	0.050	triplicats (Moyenne)
4	Mandorne à Oncieu	0.059	triplicats (Moyenne)
5	Ru de pramenou à Baculy	0.047	triplicats (Moyenne)
6	Ergues à Poule	0.052	triplicats (Moyenne)
7	Ardières aux Ardillats	0.047	triplicats (Moyenne)
8	Gier à la Valla-en-Gier	0.041	triplicats (Moyenne)
9	Ru de Bastide à Bastide	0.070	triplicats (Moyenne)
10	Affluent-Amous à le Temple	0.059	triplicats (Moyenne)
11	Amous à Campeyrigoux	0.056	triplicats (Moyenne)
12	Boralde Flaujaguèse	0.042	1 échantillon
13	Aveyron à Rodez	0.048	triplicats (Moyenne)
14	Garonne en aval de Toulouse	0.084	1 échantillon
15	Aussonelle à Seilh	0.044	1 échantillon
16	Hers-mort à Saint-Sauveur	0.043	1 échantillon
17	Isle à Razac	0.075	1 échantillon
18	Rhone à Chasse-sur-Rhone	0.070	1 échantillon
19	Giers à Givors	0.055	1 échantillon
20	Loire à Veauchette	0.064	1 échantillon
21	Furan à Andrézieux	0.059	1 échantillon
22	Loire à Bas-en-Basset	0.069	1 échantillon
23	Drac à Fontaine	0.093	1 échantillon
24	Tillet à Aix-les-Bains	0.067	1 échantillon
25	Bourbre à Chavanoz	0.055	triplicats (Moyenne)
26	Auvézère à Ségur	0.081	1 échantillon
28	Colinet à Cézac	0.077	1 échantillon
29	Dropt à Loubens	0.077	1 échantillon
30	Tolzac à Varès	0.075	triplicats (Moyenne)
32	Arrats à Saint-Antoine	0.072	1 échantillon
33	Gimone à Lafitte	0.071	1 échantillon
34	Tarn à Albi	0.071	1 échantillon
35	Montbrun à Bocage	0.080	1 échantillon
36	Bergon à Réans	0.074	1 échantillon
37	Luzou à Bégaar	0.069	1 échantillon
38	Gave Abidos	0.073	triplicats (Moyenne)
39	Gave à Rhielhès	0.086	1 échantillon
40	Gave à Gavarnie	0.112	triplicats (Moyenne)
41	Tréboul à Castelnaudary	0.046	1 échantillon
42	Ouche à Crimolois	0.064	1 échantillon
43	Trinquelin à Saint-Léger	0.054	1 échantillon
44	Nièvre à Dompierre	0.052	triplicats
45	Layon à Ivoy	0.054	1 échantillon
46	Vauvise à Jussy	0.048	1 échantillon
47	Bourbince à Vitry	0.054	1 échantillon
48	Loire à Briennon	0.061	1 échantillon
49	Ardières à Saint-Jean	0.088	triplicats (Moyenne)
50	Corne à Saint-Rémy	0.063	triplicats (Moyenne)
51	Guyotte à Saint-Bonnet	-	Pas d'échantillon

**Tableau 10.** Données de concentration en mercure (en µg/g de poids sec) mesurées dans les gammars exposés 7 jours, et informations sur le nombre de réplicats traités pour chaque site (suite).

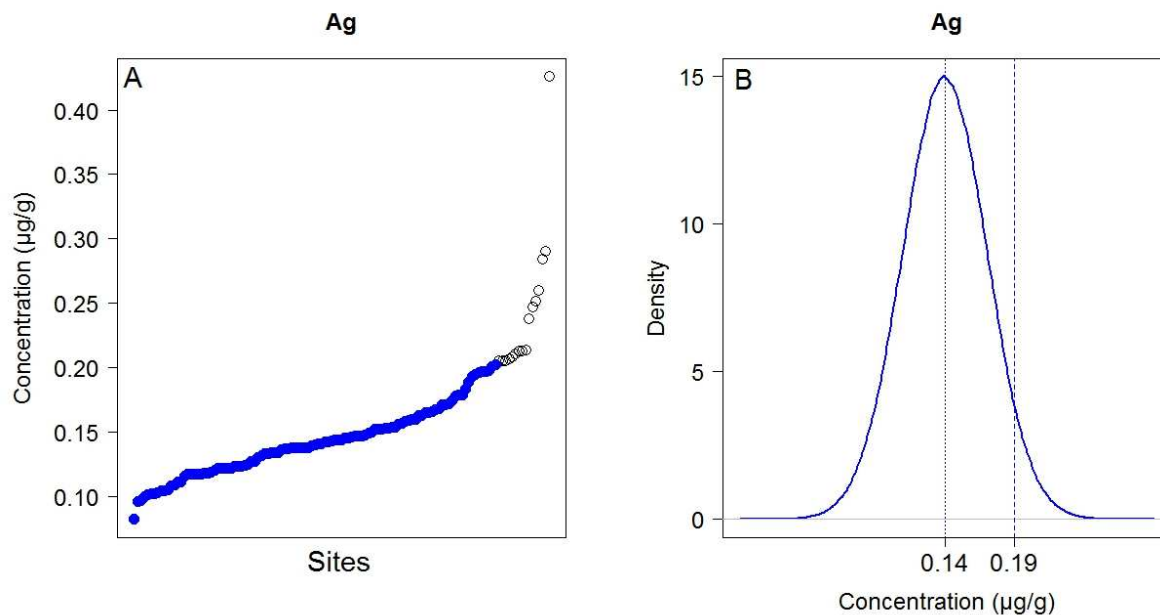
N°site	Sites	[Hg] en µg/g p.s.	Nombre d'échantillons
52	Reyssouze à Viriat	0.069	1 échantillon
53	Mare à Gumières	0.075	triplicats (Moyenne)
54	Dore à Olliergues	0.094	1 échantillon
55	Bedat à Saint-Laure	0.068	1 échantillon
56	Seine à Poissy	0.087	1 échantillon
57	Iton à Normanville	0.076	1 échantillon
58	Puiseaux à Nogent	0.054	1 échantillon
59	Risle à Ambenay	0.082	1 échantillon
61	Ru d'ancoeil à Moisenay	0.095	1 échantillon
62	Seine à Saint-Fargeau	0.081	1 échantillon
63	Oussances à Ingrannes	0.099	1 échantillon
64	Loire à Jargeau	0.092	1 échantillon
65	Evoissons à Bergicourt	0.071	1 échantillon
66	Ancre à Bonnay	0.075	1 échantillon
67	Vesle à Chassemy	-	Pas d'échantillon
68	Marne à Rueil	0.089	1 échantillon
69	Marne à Matougues	0.075	1 échantillon
70	Chée à Merlaut	0.102	1 échantillon
71	Roanne à Saint-Benoît	0.054	1 échantillon
72	Toulourenc à Saint-Léger	0.063	1 échantillon
73	Durance aux Mées	0.065	1 échantillon
74	Luynes à Aix	0.074	1 échantillon
75	Auzon à Monteux	0.068	1 échantillon
77	Avène à Saint-Privat	0.061	1 échantillon
78	Tarnon à Rousses	0.065	1 échantillon
79	Luech à Genolhac	0.070	1 échantillon
80	Beaumes à Rosières	0.056	1 échantillon
81	Ource à Autricourt	0.088	1 échantillon
82	Seine à Nod sur Seine	0.056	1 échantillon
83	Groème à terrefondrée	0.028	1 échantillon
84	Aube à Auberive	0.087	1 échantillon
85	Méances à Chalmaison	0.063	1 échantillon
86	Yerres à Courtomer	0.069	1 échantillon
87	Rognon à Bourdon	0.081	1 échantillon
88	Aujon à Longchamp	0.085	1 échantillon
89	Landion à Argançon	0.057	1 échantillon
91	Lieutel à Neauphle le Vieux	0.062	1 échantillon
92	Vesgre à Saint-Lubin	0.064	1 échantillon
93	Mésangueville à Dampierre	0.064	1 échantillon
94	Auchy à Ferrières en Bray	0.065	1 échantillon
95	Ornain à Girauval	0.093	1 échantillon
96	Auve à Saint-Menehould	0.088	1 échantillon
97	Vesle à Taissy	0.088	1 échantillon
98	Beuvronne à Gressy	0.074	1 échantillon
99	Launette à Ver	0.074	1 échantillon
100	Méholle à Void	0.060	1 échantillon

**Tableau 10.** Données de concentration en mercure (en µg/g de poids sec) mesurées dans les gammars exposés 7 jours, et informations sur le nombre de réplicats traités pour chaque site (suite).

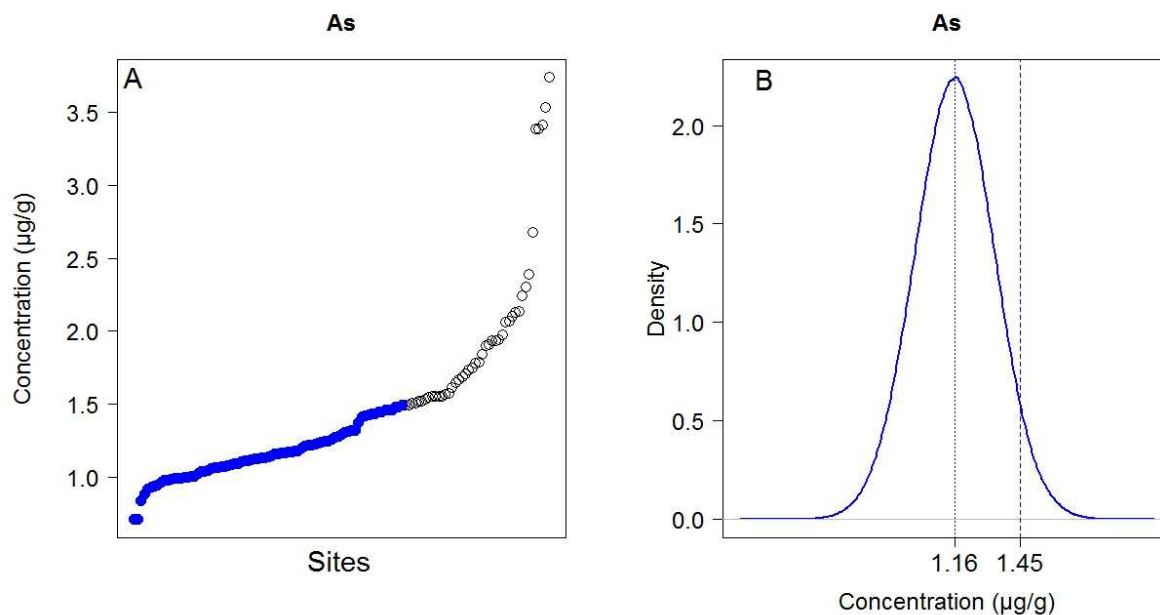
N°site	Sites	[Hg] en µg/g p.s.	Nombre d'échantillons
101	Madon à Xeuilley	0.066	1 échantillon
102	Meurthe à Bouxières	0.061	1 échantillon
103	Moselle à Hauconcourt	0.055	1 échantillon
104	Rosselle à Petite Rosselle	0.055	1 échantillon
105	Souffel à Mundolsheim	0.047	1 échantillon
106	Petite Fecht à Stosswihr	0.063	1 échantillon
107	Doller à Reiningue	0.058	1 échantillon
108	Lanterne à Sainte-Marie	0.056	1 échantillon
109	Durgeon à Vesoul	0.051	1 échantillon
110	Salon à Chalindrey	0.052	1 échantillon
111	Lez à Lattes	0.031	triplicats (Moyenne)
112	Tête à Sainte-Marie	0.030	1 échantillon
113	Agula de la mar à Alenya	0.029	1 échantillon
114	Layon à Saint-Lambert	0.026	triplicats (Moyenne)
116	Rau Vrignon à Saint-Aubin	0.030	1 échantillon
117	Boulogne à Saint-Etienne	0.024	1 échantillon
118	Boire de la roche à St-Julien	0.025	1 échantillon
119	Vilaine à Guichen	0.034	1 échantillon
120	Aff à Paimpont	0.026	1 échantillon
121	Rance Ereac	0.030	triplicats (Moyenne)
122	Oust à Loudéac	0.027	1 échantillon
123	Gouet à Saint-Julien	0.027	triplicats (Moyenne)
124	Airon à Loges-Marchis	0.033	1 échantillon
125	Soulevre à Carville	0.026	1 échantillon
126	Noireau à Berjou	0.021	1 échantillon
127	Jouanne à Forcé	0.028	1 échantillon
128	Baraize à Saint-Denis	0.028	1 échantillon
129	Sarthe à Arnage	0.028	1 échantillon



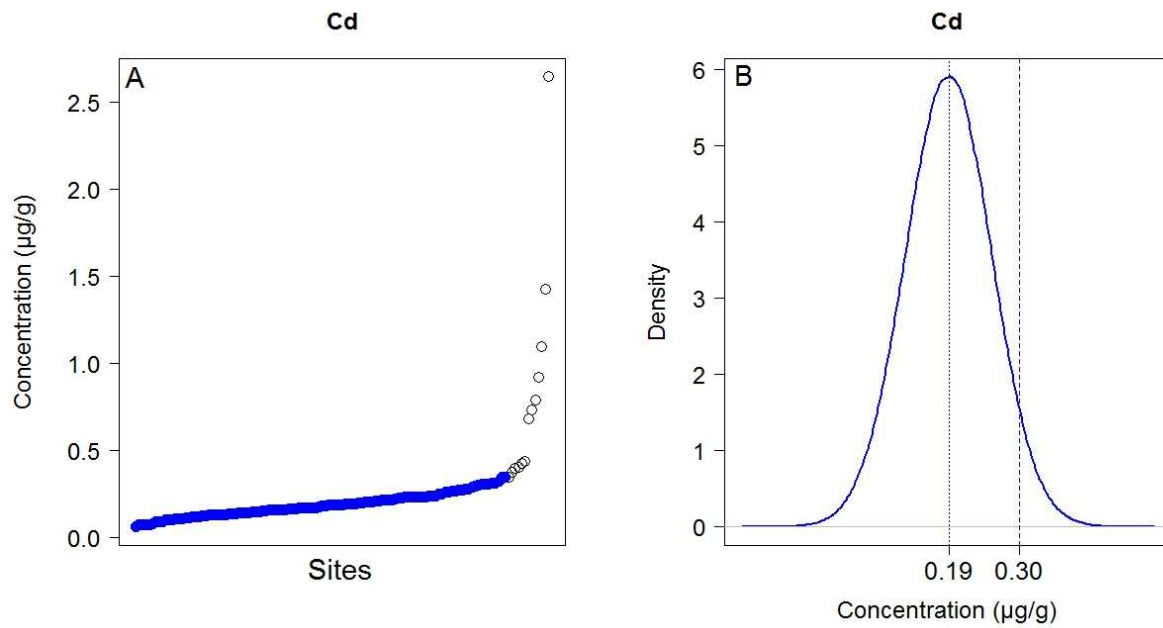
**Annexe F. Détermination des valeurs seuils de contamination biodisponible pour les métaux analysés.** Sur le schéma de gauche (A) sont présentées les concentrations mesurées pour chaque site, triées par ordre croissant. Les points bleus correspondent au plus grand ensemble de données qui suit une distribution gaussienne, représentée par le schéma de droite (B).



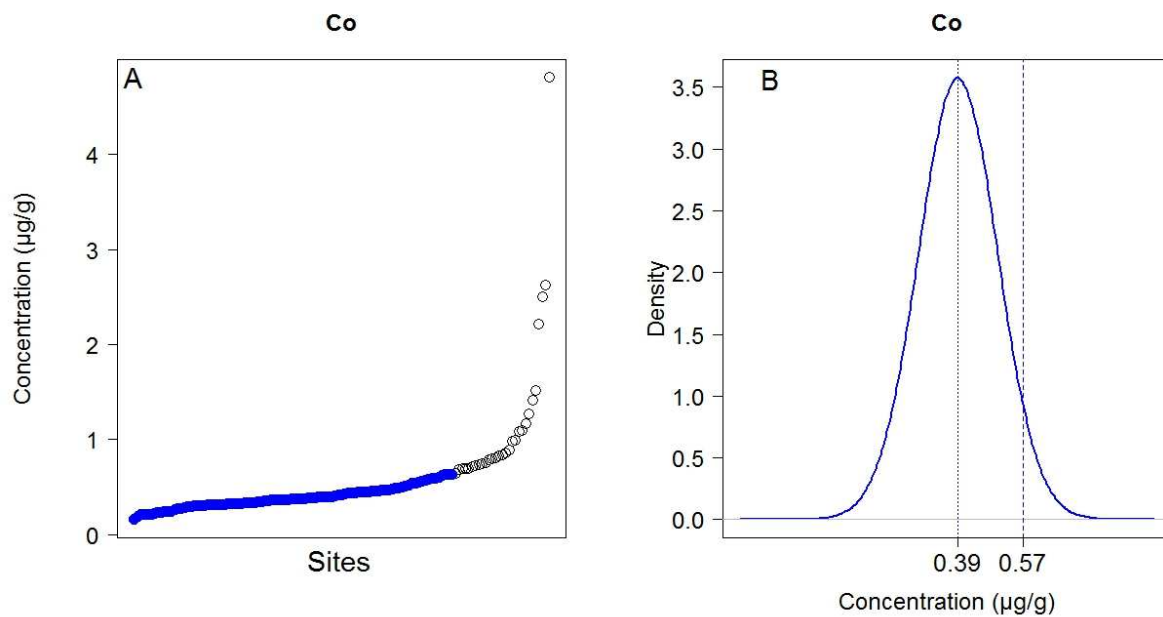
**Figure 13.** Valeur seuil déterminée pour Ag. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.048 µg/g (ps)



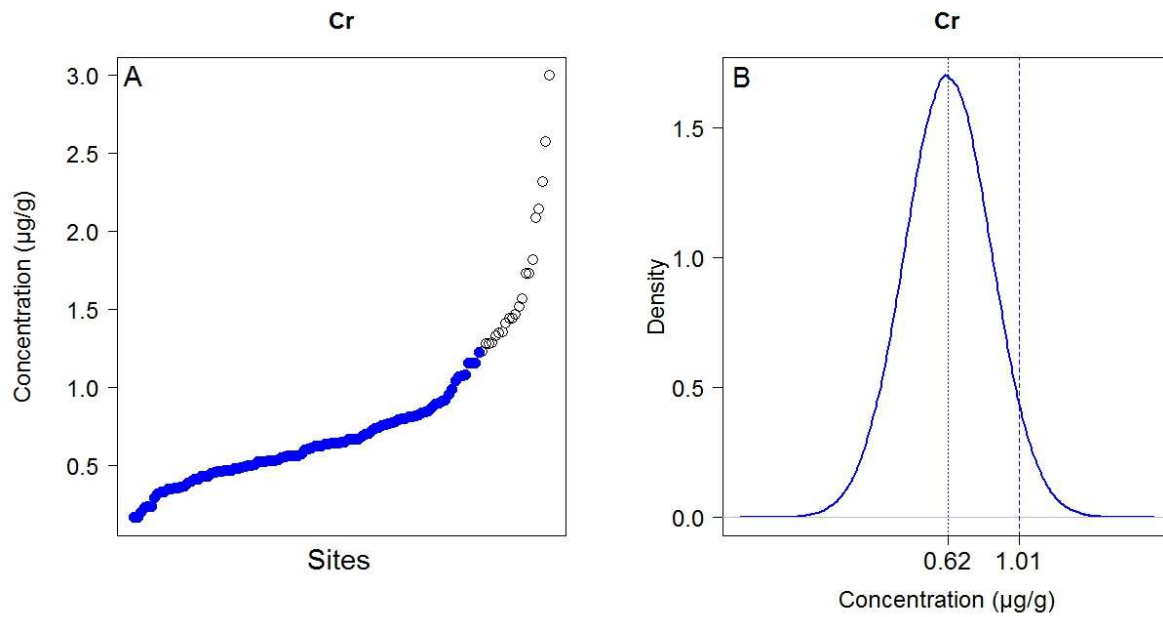
**Figure 14.** Valeur seuil déterminée pour As. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.095 µg/g (ps)



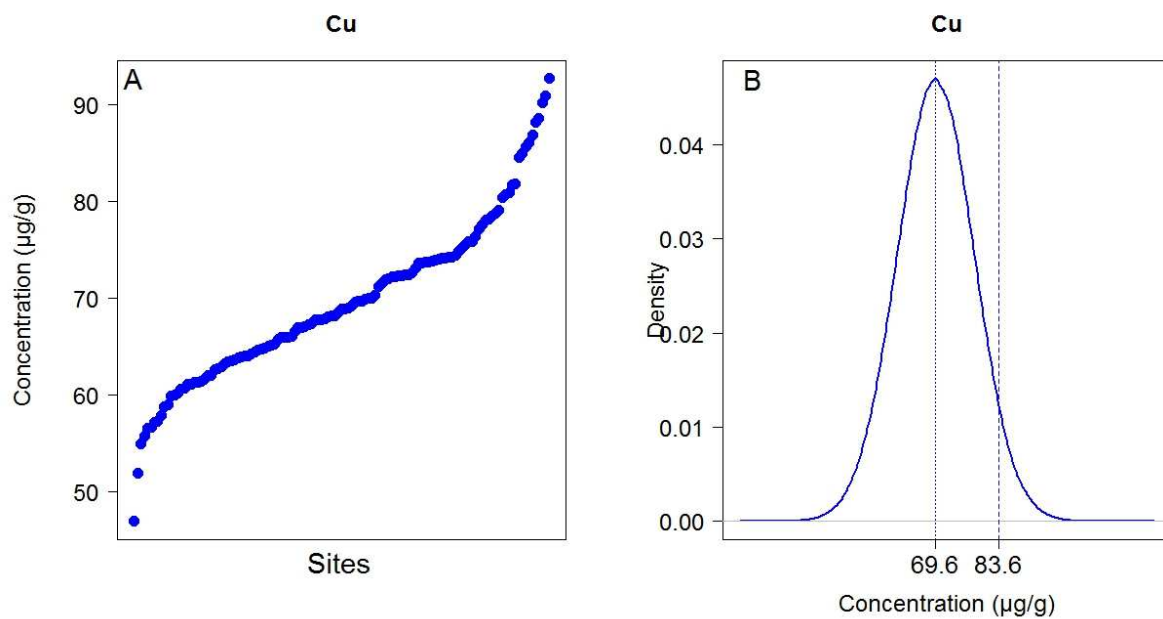
**Figure 15.** Valeur seuil déterminée pour Cd. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.048 µg/g (ps)



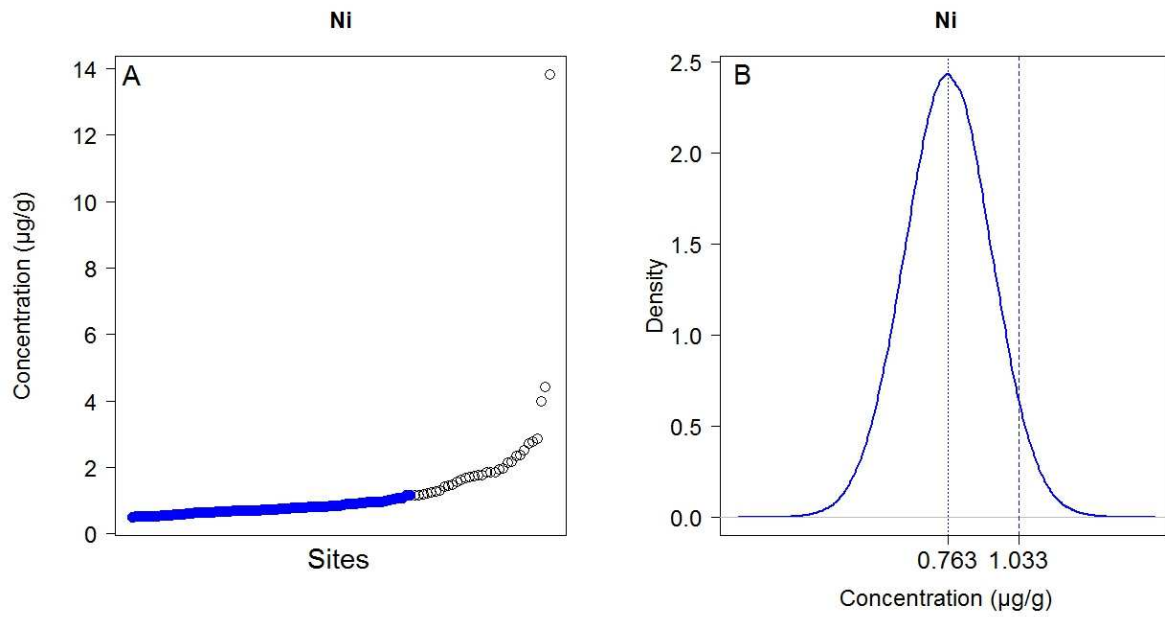
**Figure 16.** Valeur seuil déterminée pour Co. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.095 µg/g (ps)



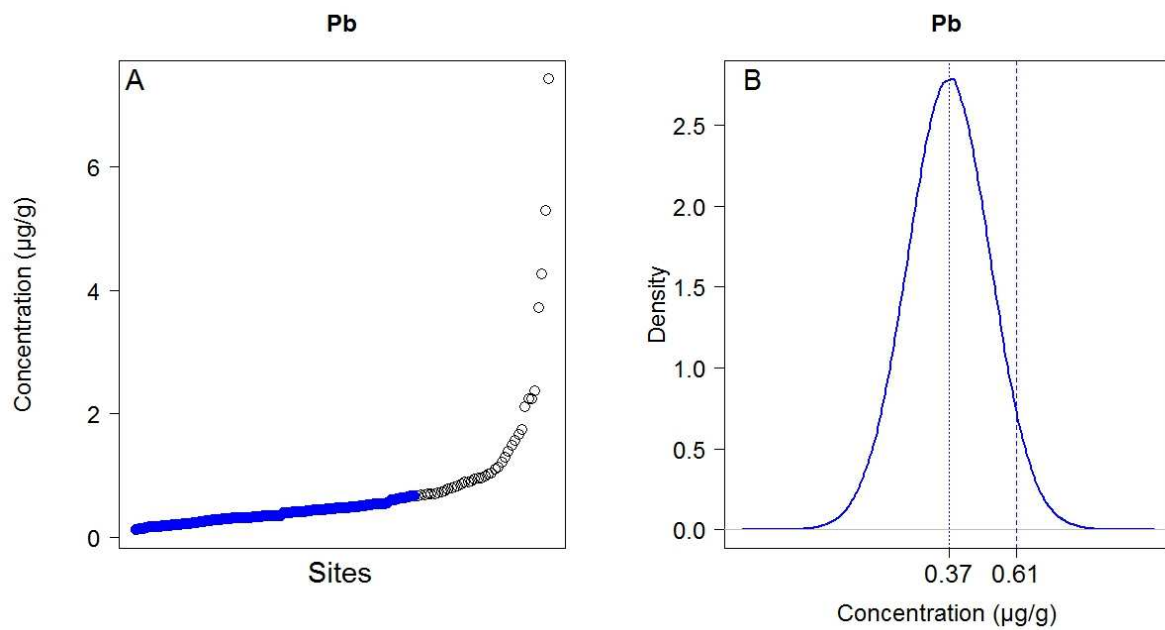
**Figure 17.** Valeur seuil déterminée pour Cr. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.090 µg/g (ps)



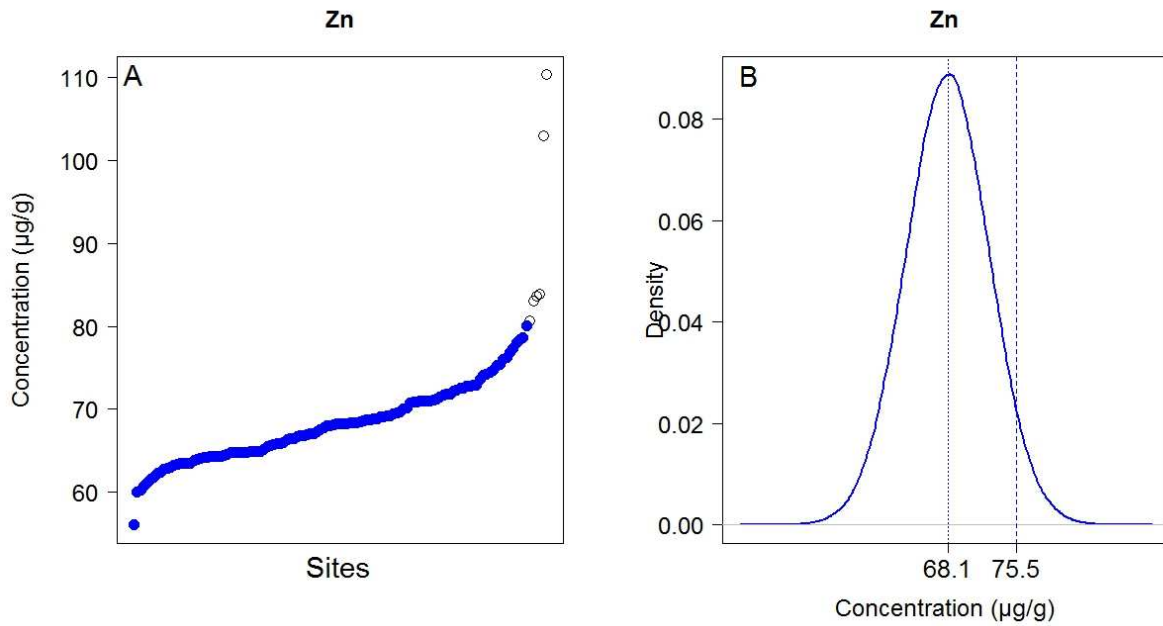
**Figure 18.** Valeur seuil déterminée pour Cu. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.239 µg/g (ps)



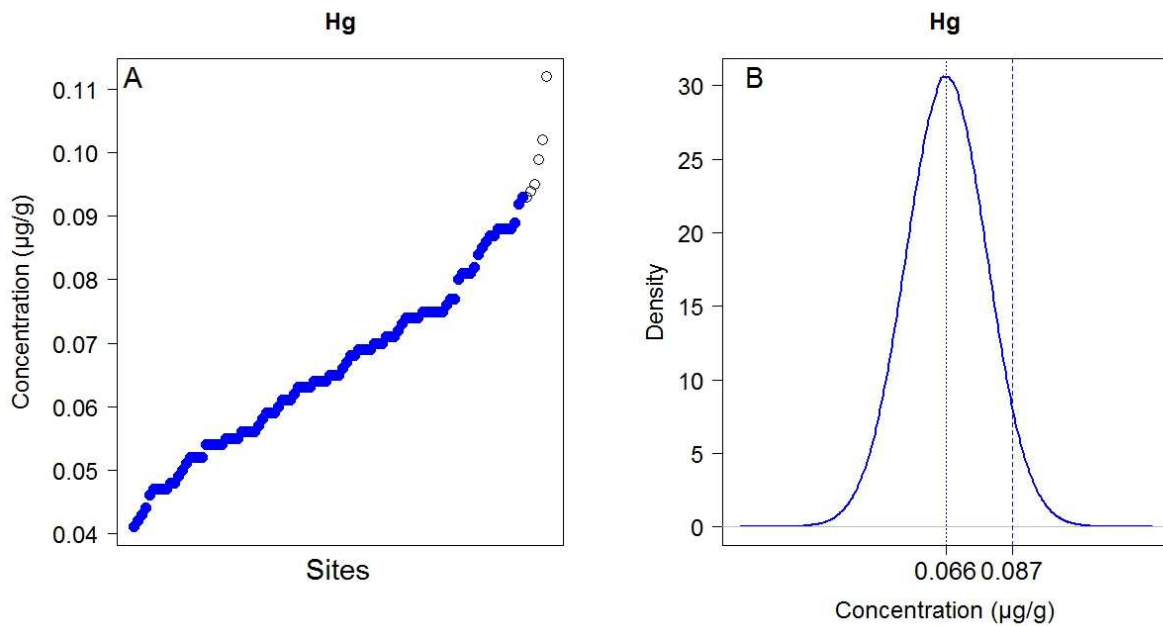
**Figure 19.** Valeur seuil déterminée pour Ni. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.477 µg/g (ps)



**Figure 20.** Valeur seuil déterminée pour Pb. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.095 µg/g (ps)



**Figure 21.** Valeur seuil déterminée pour Zn. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.964 µg/g (ps)



**Figure 22.** Valeur seuil déterminée pour Hg. En pointillé : BBC (moyenne), en tiret : BBAC (95<sup>e</sup> percentile). Les valeurs sont données en µg/g (poids sec). LQ = 0.010 µg/g (ps)

**Annexe G. Concentration en métaux mesurées dans les gammars à 7, 14 et 21 jours (cinétiques d'exposition sur 9 sites)**

**Tableau 11.** Teneurs métalliques mesurées dans les gammars engagés (en µg/g de poids sec) aux différents temps d'exposition de la cinétique (7, 14 et 21 jours).

N° site	Site	Durée d'exposition (jours)	Concentrations métalliques (µg/g) de poids sec									
			Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Pb
89	Landion à Argançon	7	1.28	0.39	0.94	78.07	63.35	1.00	< LQ	0.12	0.15	0.53
		14	0.56	0.44	1.19	80.91	70.83	1.41	< LQ	0.11	0.23	0.33
		21	0.52	0.53	1.38	85.62	73.59	1.23	< LQ	0.11	0.21	0.39
93	Mésangueville à Dampierre	7	0.50	2.50	1.18	69.98	68.63	1.16	< LQ	0.10	0.14	0.29
		14	0.45	2.20	1.35	67.82	69.23	1.07	< LQ	0.10	0.14	0.23
		21	0.42	1.88	1.83	72.12	78.48	1.00	< LQ	0.09	0.14	0.21
94	Auchy à Ferrières en Bray	7	0.82	0.46	0.65	72.19	68.35	1.09	< LQ	0.12	0.13	0.89
		14	0.46	0.50	1.30	74.70	71.79	1.04	< LQ	0.14	0.12	0.43
		21	0.45	0.50	0.68	83.92	80.09	1.09	< LQ	0.13	0.06	0.44
98	Beuvronne à Gressy	7	0.86	0.49	0.97	68.86	66.42	0.97	< LQ	0.14	0.12	0.74
		14	0.59	0.51	1.19	75.95	70.17	1.11	< LQ	0.18	0.13	0.50
		21	0.96	0.64	1.29	68.49	74.16	1.19	< LQ	0.12	0.08	0.98
49	Ardières à Saint-Jean	7	0.37	0.40	0.51	69.70	59.52	1.56	< LQ	< LQ	0.86	0.53
		14	0.33	0.31	< LQ	69.41	57.73	1.47	< LQ	< LQ	1.11	0.46
		21	0.34	0.31	0.37	69.41	60.07	1.62	< LQ	< LQ	1.27	0.47
21	Furan à Andrézieux	7	0.25	0.31	0.61	61.22	60.24	0.92	< LQ	0.20	0.10	0.53
		14	0.38	0.36	0.79	83.52	59.54	1.73	< LQ	0.26	0.08	0.44
		21	0.64	0.63	1.22	74.19	59.90	2.71	< LQ	0.23	0.08	0.72
19	Giers à Givors	7	0.55	0.42	0.79	67.08	60.41	1.79	< LQ	0.23	2.25	<LQ
		14	0.42	0.34	0.84	71.55	67.19	1.02	< LQ	0.16	3.84	0.66
		21	0.27	0.29	0.59	65.29	66.68	0.91	< LQ	0.16	5.03	< LQ
10	Affluent-Amous à le Temple	7	0.23	0.25	0.55	69.85	57.16	0.77	< LQ	0.13	0.23	0.46
		14	0.27	0.27	0.49	70.65	62.50	1.03	< LQ	0.12	0.40	0.44
		21	0.20	0.25	0.70	76.53	61.74	0.94	< LQ	0.14	0.35	< LQ
11	Amous à Campeyrigoux	7	0.14	0.22	0.45	74.98	90.73	0.97	< LQ	0.15	0.41	0.58
		14	0.19	0.22	0.74	76.60	97.90	1.19	< LQ	0.13	0.54	0.86
		21	0.17	0.22	0.66	72.89	98.58	1.23	< LQ	0.12	0.50	0.80

**Onema**  
**Hall C – Le Nadar**  
**5 square Félix Nadar**  
**94300 Vincennes**  
**01 45 14 36 00**  
[www.onema.fr](http://www.onema.fr)

***Irstea***  
***Parc de Tourvoie***  
**BP 44,**  
**92163 Antony cedex**  
**01 40 96 61 21**  
[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)