



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE,
DE LA BIODIVERSITÉ,
DE LA FORÊT, DE LA MER
ET DE LA PÊCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Exploitation des données de surveillance des substances prioritaires dans les biotes
des eaux de surface continentales (cours d'eau et plans d'eau) pour l'évaluation de
l'état chimique :**

**Note de cadrage méthodologique en vue de la mise à jour de l'état des lieux (EDL)
2025**

Octobre 2024

Personnes ayant participé à la rédaction de cette note :

Dorothee BOLZAN et Amélie VLANIDAS (Agence de l'eau Artois-Picardie), Sylvain JOLLY, Magali BARNIER et Xavier BOURRAIN (Agence de l'eau Loire-Bretagne), Jonathan CANAL (Agence de l'eau Adour-Garonne), Baptiste CASTEROT (Agence de l'eau Seine-Normandie), Miguel NICOLAÏ (Agence de l'eau Rhin-Meuse), Lionel NAVARRO (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse), Olivier PERCEVAL (OFB/DRAS)

Cette note doit beaucoup aux travaux scientifiques de notre collègue Marc Babut, anciennement chercheur à INRAE, qui nous a quitté cette année, et que nos pensées accompagnent.

1. Contexte

La directive 2013/39/UE fixe des normes de qualité environnementale applicables dans le biote (« NQE biote ») pour des substances chimiques bioaccumulables, pouvant se retrouver à des niveaux de concentration élevés au sommet des chaînes trophiques aquatiques (niveau trophique 4 pour les eaux de surface continentales et niveau trophique 5 pour les eaux littorales), et ainsi présenter un risque pour la faune sauvage (oiseaux piscivores et mammifères) et l'Homme, à travers la consommation de proies/produits de la pêche contaminés. La mise en œuvre de ces NQE biote pour l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau de surface implique le suivi d'un certain nombre de substances prioritaires dans le poisson, groupe taxonomique auquel la NQE biote se rapporte pour la plupart des substances (voir Tableau 1), ou dans des invertébrés aquatiques (i.e. mollusques bivalves et/ou crustacés) ou autres supports d'analyse (eau, sédiment) pour autant que le niveau de protection garanti par la NQE définie pour cette matrice alternative soit équivalent à celui prescrit dans la directive.

Les orientations de la stratégie nationale de surveillance des contaminants chimiques dans le biote des eaux de surface continentales (ESC) et eaux littorales (EL) sont décrites dans une note technique élaborée dans le cadre des activités du GT biote (version en date du 6 juillet 2017). Pour répondre aux obligations de vérification de la conformité de ces données de surveillance vis-à-vis des NQE biote, des compléments sont apportés dans la présente note, s'agissant notamment :

- des modalités de calcul des concentrations ajustées (pour le niveau trophique [NT], le taux de matière grasse [% MG] ou le taux de matière sèche [% MS]) pour chaque paramètre chimique (substance et groupe de substances), en fonction du support biologique utilisé (différentes espèces de poissons d'eau douce et gammars encagés) ;
- de la « hiérarchisation » des données mobilisables entre les différents supports de mesure (poisson, gammare ou/et eau) et de l'intégration dans le temps des concentrations dans ces différents supports en vue de déterminer l'état de chaque paramètre chimique à l'échelle de la station ;
- de l'attribution de l'état chimique à l'échelle de la station et de la masse d'eau ;
- et de l'attribution d'un niveau de confiance à cet état chimique.

Cette note vient en complément des règles en vigueur pour l'évaluation de l'état chimique des eaux de surface s'appliquant aux substances prioritaires dont la NQE fait référence à la matrice eau et qui sont mesurées dans cette matrice, définies dans le guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales mis à jour en 2023. Cette note pourra être amenée à évoluer au fur et à mesure que des NQE biote seront proposées pour de nouvelles substances prioritaires, que les NQE biote existantes seront révisées (cf. Tableau 1), ou que de nouvelles données permettront de préciser les valeurs des paramètres utilisés pour calculer les concentrations ajustées (par ex. facteurs d'amplification trophique - TMF).

2. Documents de référence

Cette note reprend les éléments d'information figurant dans les documents techniques et rapports d'études publiés aux niveaux français et européen listés ci-après. Elle s'appuie également sur un retour d'expérience des Agences de l'eau portant sur les règles d'évaluation de l'état chimique des biotes appliquées pour actualiser l'état des lieux (EDL) 2019 dans les SDAGE. Cette note ne reprend pas les éléments figurant dans la note définissant la stratégie nationale de surveillance des substances chimiques dans les biotes, s'agissant notamment de l'identification des sites de prélèvement et des caractéristiques des programmes d'échantillonnage (i.e. choix des espèces et supports d'analyse, fréquence et période des prélèvements, taille de l'échantillon, caractéristiques biométriques des spécimens prélevés), ainsi que des méthodes de prélèvement¹ et d'analyses². Aussi, de nombreuses références se rapportent à la question de l'ajustement des concentrations mesurées dans les biotes à un même niveau trophique NT et pour des taux de matière grasse ou de matière sèche standards, en vue d'harmoniser les données de surveillance et d'accroître ainsi leur comparabilité dans le temps (i.e. entre dates d'échantillonnage) et l'espace (i.e. entre sites de prélèvement), tel que recommandé dans le guide technique européen portant sur la mise en œuvre des NQE biote (EC 2014).

- EC (2014) Guidance document no. 32 on biota monitoring: the implementation of EQSbiota under the Water Framework Directive. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Technical Report - 2014 - 083. ISBN 978-92-79-44634-4, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. pp 87, <https://circabc.europa.eu/sd/a/62343f10-5759-4e7c-ae2b-12677aa57605/Guidance%20No%2032%20-%20Biota%20Monitoring.pdf>
- Fliedner A., Rüdell H., Teubner D. *et al.* (2016). Biota monitoring and the Water Framework Directive—can normalization overcome shortcomings in sampling strategies? *Environmental Science and Pollution Research* 23, 21927–21939 <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7442-2>

Choix du facteur d'amplification trophique (TMF)

- Babut M., Ferrari B., Lauzent M., Simonnet-Laprade C., Labadie P., Budzinski H. (2016). Facteurs d'amplification trophique pour l'hexabromocyclododécane, le perfluorooctane sulfonate et les polybromodiphényléthers. Rapport final, convention Onema-Irstea 2013-2015.
- Babut M., Ferrari B.J.D., Jame P. *et al.* (2020) Monitoring priority substances in biota under the Water Framework Directive: how effective is a tiered approach based on caged invertebrates? A proof-of-concept

¹ Se référer au guide échantillonnage Aquaref

https://www.aquaref.fr/system/files/AQUAREF_2017_C2a2_Guide_Conditionnement_transport_BIOTE_continental_VF.pdf

² Se référer au guide analyse Aquaref

https://www.aquaref.fr/system/files/AQUAREF_2017_D2a2_Guide_Analyse_BIOTE_continental_VF.pdf

- study targeting PFOS in French rivers. *Environmental Sciences Europe* 32, 131 <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00416-4>
- Goutte A., Alliot F., Budzinski H., Simonnet-Laprade C., Santos R., *et al.* (2020). Trophic transfer of micropollutants and their metabolites in an urban riverine food web. *Environmental Science and Technology* 54 (13), 8043–8050 <https://hal.science/hal-02874656>
 - Houde M., Muir D.C., Kidd K.A., Guildford S., Drouillard K., Evans M.S., Wang X., Whittle D.M., Haffner D., Kling H. (2008) Influence of lake characteristics on the biomagnification of persistent organic pollutants in lake trout food webs. *Environmental Toxicology and Chemistry* 27:2169–2178
 - Houde M., Muir D.C.G., Tomy G.T., Whittle D.M., Teixeira C., Moore S. (2008). Bioaccumulation and Trophic Magnification of Short- and Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Food Webs from Lake Ontario and Lake Michigan. *Environmental Science & Technology* 42 (10), 3893–3899 <https://doi.org/10.1021/es703184s>
 - INERIS (2020), Projet TROMBONE (Trophic Magnification Factor Evaluation) – Action 2 : Evaluation des TMF, Verneuil-en-Halatte : Ineris – 176978 - 2345249 - v1.0, 01/08/2020.
 - Rüdél H., Kosfeld V., Fliedner A., Radermacher G., Schlechtriem C., Duffek A., Rauert C., Koschorreck J. (2020). Selection and application of trophic magnification factors for priority substances to normalize freshwater fish monitoring data under the European Water Framework Directive: a case study. *Environmental Sciences Europe* 32, 138 (<https://doi.org/10.1186/s12302-020-00404-8>)
 - Simonnet-Laprade C., Budzinski H., Maciejewski K., Menach K., Santos R., Alliot F., Goutte A., Labadie P. (2019). Biomagnification of perfluoroalkyl acids (PFAAs) in the food web of an urban river: assessment of the trophic transfer of targeted and unknown precursors and implications. *Environmental Science: Processes and Impacts*. 21(11). DOI:[10.1039/C9EM00322C](https://doi.org/10.1039/C9EM00322C).

Facteurs de conversion filet-corps entier du poisson (FConv)

- Assoumani A., Caudeville J., Lestremau F. (2020). Etude sur l'analyse sur support biote dans les matrices filet et poisson entier – Facteur de conversion. Rapport AQUAREF, 40 p.
- (https://www.aquaref.fr/system/files/Aquaref_2018_D1a2_Analyse_biote_facteur_conversion_VF_0.pdf)
- Babut M., Ferrari B., Lauzent M., Simonnet-Laprade C., Labadie P., Budzinski H. (2016). Facteurs d'amplification trophique pour l'hexabromocyclododécane, le perfluorooctane sulfonate et les polybromodiphényléthers. Rapport final, convention Onema-Irstea 2013-2015.
- Fliedner A., Rüdél H., Lohmann N., Buchmeier G., Koschorreck J. (2018). Biota monitoring under the Water Framework Directive: On tissue choice and fish species selection. *Environmental Pollution* 235: 129-140, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.052>.
- Rüdél H., Radermacher G., Fliedner A., Lohmann N., Duffek A. (2020). A field study in support of the monitoring of priority substances in German freshwater fish: derivation of fillet-to-whole fish conversion factors. *Environmental Sciences Europe* 32, 13 (<https://doi.org/10.1186/s12302-020-0295-9>)

Détermination du niveau trophique (NT) des espèces aquatiques utilisées en surveillance

- Hette-Tronquart N., Belliard J. (2016). Caractérisation des réseaux trophiques en cours d'eau. Bilan de l'action 33 pour la première phase du projet (2013-2015), et perspectives pour la suite de l'action (2016-2017). Rapport Irstea, convention de partenariat Onema-Irstea 2013-2015, 69p.

3. NQE biote utilisées pour les évaluations, données de surveillance mobilisables

Les substances prioritaires considérées dans le cadre de cette note sont recensées dans le Tableau 1. Cette liste comprend l'ensemble des substances prioritaires dont les NQE sont définies pour le biote, tel que spécifié dans la directive 2013/39/UE et dans l'arrêté du 9 octobre 2023 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2020 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface. Ces NQE se rapportent majoritairement à des poissons occupant un niveau trophique 4 (NT 4), à l'exception du fluoranthène, du benzo[a]pyrène et du DEHP, substances chimiques qui sont métabolisées par les poissons, et dont les NQE font référence à des invertébrés situés à la base de chaîne trophique (NT 2). Elles sont établies à partir de normes de qualité spécifiques (QS) dont l'objectif de protection prioritaire fait référence soit à la santé humaine (risque d'intoxication lié à la consommation de produits de la pêche contaminés, i.e. QSbiota,hh), soit à la santé des prédateurs supérieurs (risque d'empoisonnement secondaire, i.e. QSbiota,secpois) (Tableau 2). La QSbiota,hh s'applique à la chair musculaire du poisson ou filet (portion du poisson habituellement consommée par l'Homme), et la QSbiota,secpois au poisson entier (ingéré tel quel par les oiseaux piscivores et mammifères).

Ces substances sont en majorité classées en tant que PBT (Persistantes, Bioaccumulables et Toxiques) et doivent ainsi faire l'objet d'un suivi à long terme des concentrations, pour vérifier que ces dernières n'augmentent pas de manière significative dans le biote et/ou les sédiments. Par ailleurs, lorsqu'un risque pour, ou via l'environnement aquatique résultant d'une exposition aiguë est suspecté, sur la base de concentrations ou d'émissions mesurées ou estimées dans l'environnement, la directive 2013/39/UE impose qu'un contrôle soit également pratiqué dans l'eau de surface, et qu'on applique les NQE exprimées en concentration maximale admissible dans l'eau (CMA) en complément de la NQE biote.

Dans le cadre de la mise à jour de l'état des lieux 2025, les données utilisées pour évaluer la conformité des concentrations mesurées vis-à-vis des NQE biote sont issues des suivis réalisés au cours des 6 dernières années (soit de 2018 à 2023) dans les biotes (poissons et invertébrés) des eaux de surface continentales, au niveau de stations³ représentatives de l'état chimique « biote » des masses d'eau. Pour les cours d'eau (CE) et les plans d'eau (PE), les espèces de poisson préférentiellement utilisées pour ces suivis sont : le chevaine (*Squalius cephalus*), le barbeau fluviatile (*Barbus barbus*), la brème commune (*Abramis brama*), la perche (*Perca fluviatilis*) et le gardon (*Rutilus rutilus*). Le recours à des espèces emblématiques comme la truite commune (*Salmo trutta*) est limité aux plans d'eau. Par ailleurs, le silure (*Silurus Glanis*) fait l'objet d'une prise en compte à titre exploratoire par certaines agences. Les données issues des suivis réalisés à partir de gammars encagés⁴ ou de mollusques bivalves (encagés ou autochtones) sont utilisées pour vérifier la conformité des concentrations mesurées vis-à-vis des NQE du benzo[a]pyrène, du fluoranthène et du DEHP, mais également pour inférer un risque de dépassement des NQE biote se rapportant au poisson, ce pour l'ensemble des substances prioritaires, pour les stations où l'on ne dispose pas de résultat de surveillance sur poisson.

³ Par construction ces stations appartiennent le plus souvent au réseau de contrôle de surveillance (RCS) des eaux douces de surface

⁴ Norme NF T90-721 : Qualité de l'eau - Encagement *in situ* de gammars pour la mesure de la bioaccumulation de substances chimiques.

Tableau 1. Substances prioritaires dont la NQE est applicable dans le biote et valeurs des NQE équivalentes dans l'eau (Directive 2013/39/CE). Les valeurs entre crochets figurent les propositions de NQE biote de la Commission européenne au titre du projet de révision de la directive NQE (COM(2022) 540 final et Annexe).

Substance chimique	Code Sandre	Substance identifiée uPBT	NQE biote (µg/kg poids frais)	Biote auquel la NQE se rapporte	NQE MA équivalente dans l'eau (µg/L)	NQE-CMA (µg/L)
Hg	1387	X	20 [10]	Poisson (entier)		0,07
HCB	1199		10 [20]	Poisson (filet)		0,05 [0,5]
HCBD	1652		55 [21]	Poisson (entier)		0,6
PBDE (Σ BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154)	7705	X	0,0085 [0,00028]	Poisson (filet)		0,14
Acide perfluorooctane sulfonique (PFOS)	6561	X	9,1 [0,077 PFOA équivalent, somme de 24 composés]	Poisson (filet)	$6,5 \times 10^{-4}$ [0,0044 PFOA équivalent, somme de 24 composés]	36
HBCDD (somme des trois isomères)	7128	X	167 [3,5]	Poisson (entier)	0,0016 [$4,6 \times 10^{-4}$]	0,5
Dioxines et PCB de type dioxine (Σ 7 PCDD, 10 PCDF et 12 PCB-dl)	7707	X	0,0065 TEQ ₂₀₀₅ [$3,5 \times 10^{-5}$ TEQ ₂₀₀₅]	Poisson (filet) Crustacé Mollusque		s.o.
Heptachlore	1197	X	$6,7 \times 10^{-3}$ [0,013]	Poisson (filet)	2×10^{-7} [$1,7 \times 10^{-7}$]	3×10^{-4}
Heptachlore époxyde	1748	X	$6,7 \times 10^{-3}$	Poisson (filet)	2×10^{-7} [$1,7 \times 10^{-7}$]	3×10^{-4}
Fluoranthène	1191		30 [6,1]	Crustacé Mollusque	0,0063 [$7,62 \times 10^{-4}$]	0,12
HAP à 5 et 6 anneaux						
Benzo[a]pyrène	1115	X	5 [0,6]	Crustacé Mollusque	$1,7 \times 10^{-4}$	0,27
Benzo[b]fluoranthène	1116	X				0,017
Benzo[k]fluoranthène	1117	X				0,017
Benzo[g,h,i]perylène	1118	X				$8,2 \times 10^{-3}$
Indéno[1,2,3-cd]-pyrène	1204	X				s.o.
Dicofol	1172		33 [5,45]	Poisson (entier)	$1,3 \times 10^{-3}$ [$4,45 \times 10^{-3}$]	s.o.
Chloroalcanes C10-13	1955		16 600	Poisson (entier)	0,4	1,4
DEHP	6616		2 920	Mollusque Crustacé	1,3	s.o.
Pentachlorobenzène	1888		367	Poisson (entier)	0,007	s.o.

Tableau 2. Valeurs des normes de qualité spécifiques pour les deux objectifs de protection visés par la NQE biote.

Substance	QS _{biota,hh} (µg/kg poids frais)	QS _{biota,secpois} (µg/kg poids frais)
Hg	500	20
HCB	10	16,7
HCBD	12,2	55
PBDE	0,0085	44
PFOS	9,1	33
HBCDD	6 100	167
Dioxines et composés de type dioxine	0,0065 (TEQ ₂₀₀₅)	0,0012 (TEQ ₂₀₀₅) (valeur indicative)
Heptachlore et heptachlore époxyde	0,0067	33
Fluoranthène	30	
Benzo[a]pyrène	5	
Dicofol	134	33
Chloroalcanes C10-13	60,87 × 10 ³	16,6 × 10 ³
DEHP	2 920	3 200
Pentachlorobenzène		367

4. Calcul des concentrations ajustées et prédites pour chaque paramètre chimique

L'ajustement des concentrations des substances prioritaires mesurées dans les biotes à un niveau trophique de référence auquel la NQE se rapporte (NT 4 ou NT 2 selon les substances), et la normalisation de ces mêmes concentrations pour tenir compte des variations de la teneur en lipide de l'échantillon ou de son contenu en matière sèche, sont nécessaires pour accroître la comparabilité spatio-temporelle des données de surveillance (EC 2014). Un exemple de l'application de ces méthodes d'ajustement à des données de contamination du biote est donné dans Fliedner *et al.* (2016), notamment par rapport à la problématique du suivi des tendances. Lorsque ces ajustements sont réalisés à partir des concentrations mesurées dans le support poisson, il en résultera des concentrations « ajustées », alors que pour ceux réalisés à partir des concentrations mesurées dans les gammars, on parlera de concentrations « prédites » (cf. Annexe 1).

Pour procéder aux ajustements à un niveau trophique standard, il est nécessaire de connaître le niveau trophique (NT) du biote utilisé comme support d'analyse (i.e. les différentes espèces de poisson, gammars et éventuellement bivalves), et les valeurs du facteur d'amplification trophique (TMF) des substances prioritaires qui sont bio-amplifiées dans les réseaux trophiques aquatiques. Également, un facteur de conversion filet-corps entier du poisson (FConv) doit être déterminé pour chaque substance prioritaire (quand cela est possible), afin de tenir compte du double objectif de protection assuré par les NQE biote (i.e. protection des prédateurs supérieurs contre un risque d'empoisonnement secondaire lié à l'ingestion de poissons entiers vs protection de la santé humaine contre un risque d'intoxication lié à la consommation d'une partie du poisson, i.e. le filet), à partir de la seule mesure des concentrations de contaminants dans la chair musculaire du poisson. L'ensemble des valeurs de ces paramètres utilisés dans les équations d'ajustement est présenté dans l'Annexe 5. Les pourcentages de matière grasse (%MG) et de matière sèche (%MS) dans les biotes sont quant à eux déterminés pour chaque échantillon.

Les équations permettant de calculer les concentrations des substances prioritaires attendues dans les poissons de NT 4 pour un taux de lipide standard de 5% (ou 2,5 %⁵), ou 26% de matière sèche (= €Fish) sont présentées ci-dessous

⁵ Pour le filet un taux de MG de 2,5 % est plus proche de la réalité qu'un taux de 5 %, pour les espèces retenues pour la surveillance des cours d'eau français. Pour les substances relevant d'une évaluation du risque santé humaine (QS biota hh) sur filet, les résultats sont donc normalisés à 2,5 % MG.

pour chacun des groupes taxonomiques utilisés en surveillance, et détaillées au niveau de l'Annexe 2. Les calculs sont réalisés à l'aide de ces équations pour chaque triplet {paramètre*station*date d'échantillonnage} à partir des concentrations mesurées dans les poissons et les gammars. Dans ces calculs, les mesures inférieures aux limites de quantification (LQ) sont remplacées par la valeur de la LQ/2.

/! En raison d'un effet labo constaté par rapport à l'analyse du taux de lipide dans les gammars, il est recommandé d'utiliser dans le cadre de l'EDL 2025, en lieu et place du pourcentage de matière grasse mesuré dans chaque échantillon (%MG,gam), **une valeur fixe pour cette variable égale à 1%**, légèrement inférieure au premier quartile des valeurs recensées dans la littérature scientifique pour *Gammarus fossarum* et *Gammarus pulex* (voir Annexe 4).

4.1 Ajustement au niveau trophique 4 des concentrations mesurées dans le poisson, normalisation par le taux de lipide ou de matière sèche (= €Fish)

Hg

$$[Ci \text{ prédateur supérieur}] \text{ ajusté} = [Ci \text{ filet}] \text{ mesuré} \times FConv \times TMF^{(4-NT_{\text{pois}})} \times (26/(\%MS, \text{filet} \times 1,2))$$

PFOS

$$[Ci \text{ santé humaine}] \text{ ajusté} = [Ci \text{ filet}] \text{ mesuré} \times TMF^{(4-NT_{\text{pois}})} \times (26/\%MS, \text{filet})$$

HCB, ΣPBDE, Dioxines et composés de type dioxine, Heptachlore et Heptachlore époxyde

$$[Ci \text{ santé humaine}] \text{ ajusté} = [Ci \text{ filet}] \text{ mesuré} \times TMF^{(4-NT_{\text{pois}})} \times (2,5/\%MG, \text{filet})^6$$

HCBDD, HCBDD, Dicofol, Pentachlorobenzène, Chloroalcane C10-13

$$[Ci \text{ prédateur supérieur}] \text{ ajusté} = [Ci \text{ filet}] \text{ mesuré} \times FConv \times TMF^{(4-NT_{\text{pois}})} \times (5/(\%MG, \text{filet} \times 3,75))$$

4.2 Prédiction des concentrations dans le poisson (€Fish) à partir des mesures réalisées dans les crustacés ou les bivalves

Hg

$$[Ci \text{ prédateur supérieur}] \text{ prédit} = [Ci \text{ gam}] \text{ mesuré} \times TMF^{(4-NT_{\text{gam}})} \times FConv \times (26/\%MS, \text{gam})$$

PFOS

$$[Ci \text{ santé humaine}] \text{ prédit} = [Ci \text{ gam}] \text{ mesuré} \times TMF^{(4-NT_{\text{gam}})} \times (1/FConv) \times (26/\%MS, \text{gam})$$

HCB, Heptachlore époxyde et Heptachlore

$$[Ci \text{ santé humaine}] \text{ prédit} = [Ci \text{ gam}] \text{ mesuré} \times TMF^{(4-NT_{\text{gam}})} \times (2,5/\%MG, \text{gam})$$

ΣPBDE, Dioxines et composés de type dioxine

$$[Ci \text{ santé humaine}] \text{ prédit} = [Ci \text{ gam}] \text{ mesuré} \times TMF^{(4-NT_{\text{gam}})} \times (1/FConv) \times (2,5/\%MG, \text{gam})$$

HCBDD, HCBDD, Dicofol, Chloroalcane C10-13

$$[Ci \text{ prédateur supérieur}] \text{ prédit} = [Ci \text{ gam}] \text{ mesuré} \times TMF^{(4-NT_{\text{gam}})} \times (5/\%MG, \text{gam})$$

Pentachlorobenzène

$$[Ci \text{ prédateur supérieur}] \text{ prédit} = [Ci \text{ gam}] \text{ mesuré} \times TMF^{(4-NT_{\text{gam}})} \times FConv \times (5/\%MG, \text{gam})$$

⁶ Pour les ajustements au niveau trophique 4 des concentrations mesurées dans le poisson, dans les rares cas où le taux de lipide du filet servant à l'évaluation est réellement supérieur à 2,5 %, il est préconisé de ne pas réaliser de normalisation du taux de MG. La formule devient alors : $[Ci \text{ santé humaine}] \text{ ajusté} = [Ci \text{ filet}] \text{ mesuré} \times TMF^{(4-NT_{\text{pois}})}$

4.3 Normalisation par le taux de lipide pour les substances dont la NQE biote est applicable dans les crustacés et les bivalves

Fluoranthène, Benzo[a]pyrène, DEHP
 $[Ci\ gam] \text{ normalisé} = [Ci\ gam] \text{ mesuré} \times (1/\%MG, gam)$

5. Évaluation de l'état d'un paramètre chimique à la station

5.1 Règle de calcul pour déterminer l'état d'un paramètre chimique à la station

La moyenne des valeurs des concentrations ajustées (support poisson) ou prédites (support gammare) sur l'ensemble du cycle de gestion (six ans) est calculée puis comparée à la norme de qualité environnementale applicable dans le biote. Selon le nombre d'analyses disponibles pour la chronique considérée, on distinguera deux situations (voir Figure 1 ci-dessous).

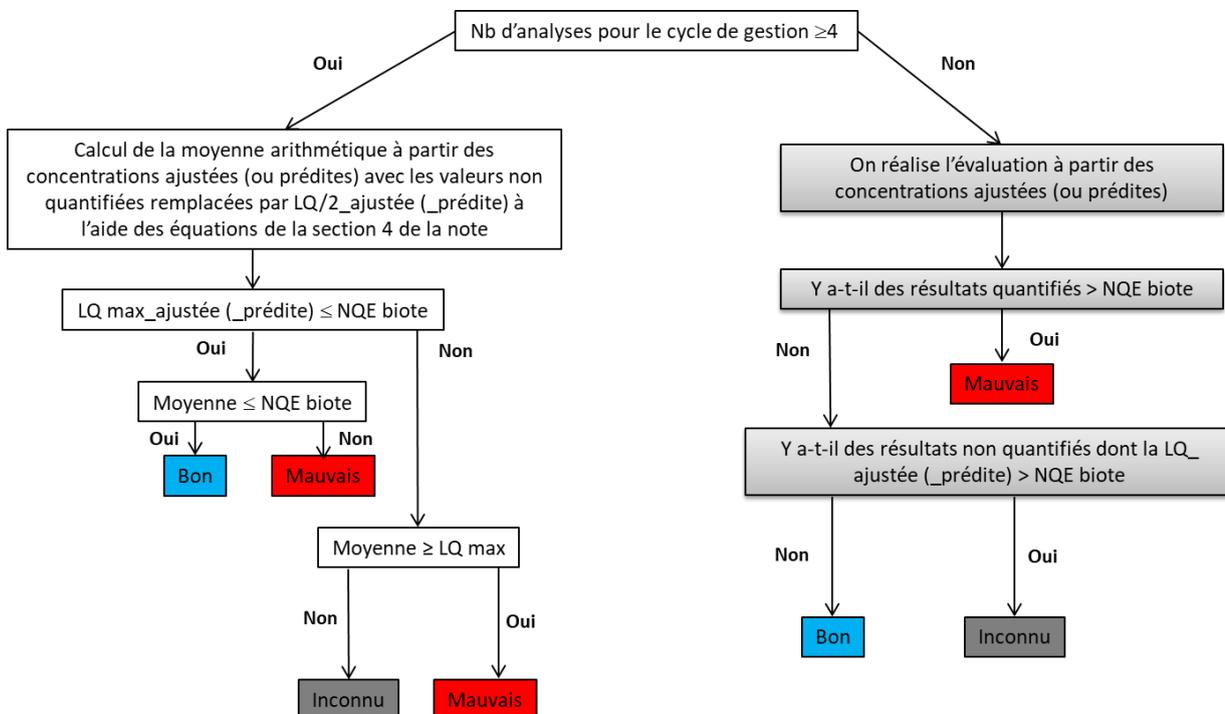


Figure 1. Représentation schématique de l'évaluation de la conformité à la NQE biote pour un paramètre donné.

5.2 Hiérarchisation entre les différents supports d'analyse

Pour les paramètres suivants : Hg, HCB, HCBd, ΣPBDE, HBCDD, PFOS, dicofol, heptachlore, heptachlore époxyde, pentachlorobenzène, dioxines et composés de type dioxine et chloroalcanes C10-C13, on utilisera en priorité les données acquises à partir du support poisson, dans la mesure où les NQE de ces substances se rapportent à ce groupe taxonomique, puis les données acquises sur le support gammare, et finalement les données acquises sur le support eau, lorsqu'un paramètre dispose à la fois d'une NQE (MA) dans l'eau et d'une NQE biote.

Pour les paramètres suivants : benzo[a]pyrène, fluoranthène, dioxines et composés de type dioxine et DEHP, on utilisera en priorité les données acquises à partir du support gammare, dans la mesure où les NQE de ces substances se rapportent à des consommateurs primaires situés à la base de la chaîne trophique (à l'exception des dioxines et composés de type dioxine qui peuvent être indifféremment mesurés dans les poissons ou les gammars), puis les données acquises sur le support eau lorsqu'un paramètre dispose à la fois d'une NQE (MA) dans l'eau et d'une NQE biote.

Pour des stations avec des données acquises sur plusieurs supports (poisson, gammare, eau), mais présentant des résultats non concordants, on évaluera au cas par cas (à dire d'expert) la robustesse des résultats pour chaque support (nombre de répliqués concordants, résultats amont/aval, etc.).

L'utilisation de l'un ou l'autre de ces supports d'analyse (i.e. poisson, gammare, eau) influe principalement sur le niveau de confiance attribué à l'état chimique de la station (voir tableau ci-après).

5.3 Etat du paramètre chimique : agrégation NQE biote et NQE-CMA

Le bon état pour le paramètre chimique à la station est atteint lorsque la NQE biote est respectée (cf. logigramme ci-dessus). Le respect de la NQE-CMA correspondante, si elle existe (voir Tableau 1), doit être vérifiée au moins dans le cas où un risque potentiel pour ou via l'environnement aquatique résultant d'une exposition aiguë est constaté sur la base de concentrations ou d'émissions mesurées ou estimées dans l'environnement.

6. Attribution d'un état à l'échelle de la station et de la masse d'eau, niveau de confiance de l'état chimique

L'état chimique à l'échelle de la station en fonction de l'état des paramètres mesurés dans la matrice biote qui contribuent à la définition de l'état chimique des eaux, est établi de la manière suivante :

- lorsque l'un au moins des paramètres est en mauvais état alors la station est en mauvais état chimique quel que soit l'état des autres paramètres, même si certains d'entre eux ne sont pas connus ;
- lorsque l'ensemble des paramètres est en état inconnu, alors la station est en état inconnu ;
- dans les autres cas, la station est en bon état chimique.

Pour les masses d'eau disposant de plusieurs sites d'évaluation représentatifs de l'état de la masse d'eau, l'état chimique de la masse d'eau correspond :

- à l'état chimique de ces stations lorsqu'ils coïncident ;
- sinon, à l'état chimique de la station la plus déclassante.

Le niveau de confiance attribué à l'état d'une masse d'eau est déterminé de la manière suivante :

Informations disponibles sur la station/masse d'eau	Remarque	Niveau de confiance associé
Stations/ME sur lesquelles des mesures sur biotes sont disponibles	Données poisson disponibles pour Hg, PFOS, HBCDD, ΣPBDE, dioxines et composés de type dioxine, <u>et</u> données gammare (ou bivalve) disponibles pour B[a]P, fluoranthène et DEHP	Un état inconnu pour les paramètres suivants : dicofol, HCB, HCBd, heptachlore et heptachlore époxyde, pentachlorobenzène et chloroalcanes C10-C13, substances généralement peu, voire jamais quantifiées ou qui n'ont plus d'usages connus, a peu d'incidence sur le niveau de confiance de l'état chimique à la station/ME
Stations/ME sur lesquelles des mesures sur biotes sont disponibles	Données poisson disponibles mais pas de données gammare Mesures de concentration dans l'eau pour le B[a]P, le fluoranthène et le DEHP disponibles	Utilisation des NQE-MA applicables dans l'eau équivalentes aux NQE biote pour le B[a]P, le fluoranthène et le DEHP La conversion de la NQE biote en NQE eau via le recours à des BCF introduit de l'incertitude dans l'évaluation
Stations/ME sur lesquelles des mesures sur biotes sont disponibles	Pas de données poisson, les gammars sont utilisés comme groupe taxonomique alternatif et support d'analyse pour l'ensemble des substances prioritaires dont la NQE est applicable dans le biote	Extrapolation gammare-poisson entraînant un niveau d'incertitude plus élevé
Stations/ME sur lesquelles il n'y a pas de mesures sur biotes	L'eau (ou EIP) est utilisée comme support alternatif aux biotes (poisson et/ou gammars)	Utilisation des NQE-MA eau équivalentes aux NQE biote seulement possible pour PFOS, HBCDD, heptachlore et époxyde, dicofol, B[a]P, fluoranthène, DEHP, chloroalcanes C10-13, et pentachlorobenzène

ANNEXE 1. Lexique.

Terme (français)	Terme (anglais)	Signification
NQbiote,predsup	QSbiota,secpois	Norme de qualité spécifique visant la protection des prédateurs supérieurs contre un risque d'empoisonnement secondaire
NQbiote,santehum	QSbiota,hh	Norme de qualité spécifique visant la protection de la santé humaine contre un risque d'intoxication lié à la consommation de produits de la pêche contaminés
Cgam		Concentration de la substance prioritaire <i>i</i> mesurée dans les gammars
Cfilet		Concentration de la substance prioritaire <i>i</i> mesurée dans la chair musculaire (filet) des poissons
Ccp		Concentration de la substance prioritaire <i>i</i> mesurée dans le corps entier des poissons
Cfilet,ajust [C.santehum] ajusté		Concentration de la substance prioritaire <i>i</i> mesurée dans la chair musculaire du poisson <u>ajustée</u> à un niveau trophique standard (NT 4) et normalisée pour un taux de matière grasse (2,5 %) ou un taux de matière sèche standard (26 %)
Ccp,ajust [C.predsup] ajusté		Concentration de la substance prioritaire <i>i</i> mesurée dans le corps entier du poisson <u>ajustée</u> à un niveau trophique standard (NT 4) et normalisée pour un taux de matière grasse (5 %) ou un taux de matière sèche standard (26 %)
Cfilet,predit [C.santehum] prédit		Concentration de la substance prioritaire <i>i</i> dans la chair musculaire du poisson <u>prédite</u> à partir des mesures dans le <u>gammare</u> , représentative d'un poisson occupant un niveau trophique NT 4 et présentant un taux de matière grasse de 2,5 % ou un taux de matière sèche de 26 %
Ccp,predit [C.predsup] prédit		Concentration de la substance prioritaire <i>i</i> dans le corps entier du poisson <u>prédite</u> à partir des mesures dans le <u>gammare</u> , représentative d'un poisson occupant un niveau trophique NT 4 et présentant un taux de matière grasse de 5 % ou un taux de matière sèche de 26 %
% MG,filet		Teneur en matière grasse (exprimée en % de poids frais) mesurée dans la chair musculaire des poissons
% MG,gam		Teneur en matière grasse (exprimée en % de poids frais) mesurée dans les gammars
% MS,filet		Teneur en matière sèche (exprimée en % de poids frais) mesurée dans la chair musculaire des poissons
% MS,gam		Pourcentage de matière sèche mesurée dans les gammars
NTpois		Valeur par défaut du niveau trophique occupé par les poissons caractéristiques de l'espèce prélevée
NTgam		Valeur par défaut du niveau trophique occupé par les gammars
FConv _i		Facteur de conversion filet-corps entier des poissons pour la substance prioritaire substance prioritaire <i>i</i>
TMF _i		Facteur d'amplification trophique de la substance prioritaire <i>i</i>

ANNEXE 2. Equations d'ajustement. Les équations surlignées en jaune sont celles correspondant à l'objectif de protection prioritaire visé par la NQE biote (i.e. QSbiota,secpois ou QSbiota,hh). Les valeurs en caractère rouge ont été définies par défaut.

Substance	Support d'analyse	Objectif de protection	Equation (signes et formules utilisés dans Excel)	Valeur seuil correspondante (µg/kg de pois frais)
Hg	Poisson	Prédateurs supérieurs	<u>[C predsup] ajusté = [C filet] mesuré*0,71*(4,73^(4-NTpois))*(26/(%MS,filet*1,2))</u>	NQE = QSbiota,secpois = 20
		Santé humaine	[C santehum] ajusté = [C filet] mesuré*(4,73^(4-NTpois))*(26/%MS,filet)	QSbiota,hh = 500
	Gammare	Prédateurs supérieurs	<u>[C predsup] prédit= [C gam] mesuré*(4,73^2)*0,71*(26/%MS,gam)</u>	NQE = QSbiota,secpois = 20
		Santé humaine	[C santehum] prédit = [C gam] mesuré*(4,73^2)*(26/%MS,gam)	QSbiota,hh = 500
PFOS	Poisson	Prédateurs supérieurs	[C predsup] ajusté = [C filet] mesuré*2,33*(2,98^(4-NTpois))*(26/(%MS,filet*1,2))	QSbiota,secpois = 33
		Santé humaine	<u>[C santehum] ajusté = [C filet] mesuré*(2,98^(4-NTpois))*(26/%MS,filet)</u>	NQE = QSbiota,hh = 9,1
	Gammare	Prédateurs supérieurs	[C predsup] prédit = [C gam] mesuré *(2,98^2)*(26/%MS,gam)	QSbiota,secpois = 33
		Santé humaine	<u>[C santehum] prédit = [C gam] mesuré*(2,98^2)*(1/2,33)*(26/%MS,gam)</u>	NQE = QSbiota,hh = 9,1
HBCDD (somme des 3 isomères)	Poisson	Prédateurs supérieurs	<u>[C predsup] ajusté = [C filet] mesuré*4,63*(2,55^(4-NTpois))*(5/(%MG,filet*3,75))</u>	NQE = QSbiota,secpois = 167
		Santé humaine	[C santehum] ajusté = [C filet] mesuré*(2,55^(4-NTpois))*(2,5/%MG,filet)	QSbiota,hh = 6 100
	Gammare	Prédateurs supérieurs	<u>[C predsup] prédit = [C gam] mesuré*(2,55^2)*(5/%MG,gam)</u>	NQE = QSbiota,secpois = 167
		Santé humaine	[C santehum] prédit = [C gam] mesuré*(2,55^2)*(1/4,63)*(2,5/%MG,gam)	QSbiota,hh = 6 100
HCB	Poisson	Prédateurs supérieurs	[C predsup] ajusté = [C filet] mesuré*4,66*(1,97^(4-NTpois))*(5/(%MG,filet*3,75))	QSbiota,secpois = 16,7
		Santé humaine	<u>[C santehum] ajusté = [C filet] mesuré*(1,97^(4-NTpois))*(2,5/%MG,filet)</u>	NQE = QSbiota,hh = 10

	Gammare	Prédateurs supérieurs	$[C \text{ predsup}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1,97^2) * 4,66 * (5/\%MG, \text{gam})$	QSbiota,secpois = 16,7
		Santé humaine	$[C \text{ santehum}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1,97^2) * (2,5/\%MG, \text{gam})$	NQE = QSbiota, hh = 10
PBDE (Σ BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154)	Poisson	Prédateurs supérieurs	$[C \text{ predsup}] \text{ ajusté} = [C \text{ filet}] \text{ mesuré} * 4,41 * (2,9^{(4-NT\text{pois})}) * (5/(\%MG, \text{filet} * 3,75))$	QSbiota,secpois = 44
		Santé humaine	$[C \text{ santehum}] \text{ ajusté} = [C \text{ filet}] * (2,9^{(4-NT\text{pois})}) * (2,5/\%MG, \text{filet})$	NQE = QSbiota, hh = 0,0085
	Gammare	Prédateurs supérieurs	$[C \text{ predsup}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (2,9^2) * (5/\%MG, \text{gam})$	QSbiota,secpois = 44
		Santé humaine	$[C \text{ santehum}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (2,9^2) * (1/4,41) * (2,5/\%MG, \text{gam})$	NQE = QSbiota, hh = 0,0085
Heptachlore époxyde	Poisson	Prédateurs supérieurs	Pas de calcul possible en raison de l'absence d'un facteur de conversion filet-corps entier des poissons (FConv) valide	QSbiota,secpois = 33
		Santé humaine	$[C \text{ santehum}] \text{ ajusté} = [C \text{ filet}] \text{ mesuré} * (1,25^{(4-NT\text{pois})}) * (2,5/\%MG, \text{filet})$	NQE = QSbiota, hh = 0,0067
	Gammare	Prédateurs supérieurs	Pas de calcul possible en raison de l'absence d'un facteur de conversion filet-corps entier des poissons (FConv) valide	QSbiota,secpois = 33
		Santé humaine	$[C \text{ santehum}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1,25^2) * (2,5/\%MG, \text{gam})$	NQE = QSbiota, hh = 0,0067
Dioxines et composés de type dioxine	Poissons	Prédateurs supérieurs		Pas de QSbiota,secpois robuste
		Santé humaine	$[C \text{ santehum}] \text{ ajusté} = [C \text{ filet}] \text{ mesuré} * (2,96^{(4-NT\text{pois})}) * (2,5/\%MG, \text{filet})$	NQE = QSbiota, hh = 0,0065 (TEQ ₂₀₀₅)
	Gammare	Prédateurs supérieurs		Pas de QSbiota,secpois robuste
		Santé humaine	$[C \text{ santehum}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (2,96^2) * (1/5,02) * (2,5/\%MG, \text{gam})$	NQE = QSbiota, hh = 0,0065 (TEQ ₂₀₀₅)
Pentachlorobenzène	Poisson	Prédateurs supérieurs	$[C \text{ predsup}] \text{ ajusté} = [C \text{ filet}] \text{ mesuré} * 1 * (1^{(4-NT\text{pois})}) * (5/(\%MG, \text{filet} * 3,75))$	NQE = QSbiota,secpois = 367
	Gammare	Prédateurs supérieurs	$[C \text{ predsup}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1^2) * 1 * (5/\%MG, \text{gam})$	
HCBD	Poisson	Prédateur supérieur	$[C \text{ predsup}] \text{ ajusté} = [C \text{ filet}] \text{ mesuré} * 1 * (1^{(4-NT\text{pois})}) * (5/(\%MG, \text{filet} * 3,75))$	NQE = QSbiota,secpois = 55
	Gammare	Prédateur	$[C \text{ predsup}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1^2) * (5/\%MG, \text{gam})$	

		supérieur		
Dicofol	Poisson	Prédateur supérieur	$[C \text{ predsup}] \text{ ajusté} = [C \text{ filet}] \text{ mesuré} * 1 * (1^{(4-NT\text{pois})}) * (5/(\%MG, \text{filet} * 3,75))$	NQE = QSbiota,secpois = 33
	Gammare	Prédateur supérieur	$[C \text{ predsup}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1^2) * (5/\%MG, \text{gam})$	
Chloroalcanes C10-13	Poisson	Prédateur supérieur	$[C \text{ predsup}] \text{ ajusté} = [C \text{ filet}] \text{ mesuré} * 1 * (1^{(4-NT\text{pois})}) * (5/(\%MG, \text{filet} * 3,75))$	NQE = QSbiota,secpois = 16 660
	Gammare	Prédateur supérieur	$[C \text{ predsup}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1^2) * (5/\%MG, \text{gam})$	
Heptachlore	Poisson	Santé humaine	$[C \text{ santehum}] \text{ ajusté} = [C \text{ filet}] \text{ mesuré} * (1^{(4-NT\text{pois})}) * (2,5/\%MG, \text{filet})$	NQE = QSbiota,hh = 0,0067
	Gammare	Santé humaine	$[C \text{ santehum}] \text{ prédit} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1^2) * (2,5/\%MG, \text{gam})$	
Benzo[a]pyrène	Gammare	Santé humaine	$[C \text{ gam}] \text{ normalisé} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1/\%MG, \text{gam})$	NQE = QSbiota,hh = 5
Fluoranthène	Gammare	Santé humaine	$[C \text{ gam}] \text{ normalisé} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1/\%MG, \text{gam})$	NQE = QSbiota,hh = 30
DEHP	Gammare	Santé humaine	$[C \text{ gam}] \text{ normalisé} = [C \text{ gam}] \text{ mesuré} * (1/\%MG, \text{gam})$	NQE = QSbiota,hh = 2 920

ANNEXE 3. Valeurs de niveau trophique (NT) appliquées par défaut pour les différentes espèces piscicoles utilisées en surveillance.

	Espèce						
	CHE	BAF	GAR	BRE	PER	TRF	SIL
Valeur de NTpois	3,1	3,5	3,3	3,1	4,0	3,9	4,0

ANNEXE 4. Synthèse des valeurs de la teneur en lipides des gammars rapportées dans la littérature scientifique.

Le but de ce document est de rassembler des données sur les teneurs en lipides dans les gammars. La finalité de ce travail est d'apporter des éléments d'informations pour comprendre la différence des teneurs mesurées entre deux laboratoires d'analyse, le LDA26 et Carso. Cette recherche bibliographique est accompagnée d'un travail d'inter-comparaison entre les deux laboratoires, tel que décidé lors du dernier GT Biote, à partir d'un même pool de gammars issus de chez Biomae et de la même masse analysée.

Ce travail de synthèse consiste à faire le bilan des données disponibles dans la littérature. Le tableau ci-dessous rassemble les papiers retenus, la méthode utilisée (quand celle-ci est disponible) et la teneur en lipide mesurée ou estimée en poids frais

N'ont été sélectionnés que les papiers dans lesquels les données étaient exprimées en % ou en concentration. Il existe en effet beaucoup d'articles pour lesquels les résultats sont exprimés en relatif au témoin ou unité arbitraire, ne permettant pas de comparer des données de façon fiable. Cette synthèse rassemble 18 articles ou sources de données. Parmi ces articles, on retrouve diverses méthodes pour la mesure des lipides dont la gravimétrie et l'absorbance. Les données présentées dans le tableau concernent principalement des espèces d'eau douce, dont deux espèces très proches *G. fossarum* et *G. pulex*, ainsi que *G. roesili*, qui a une morphologie et biologie proche des deux premières. Il y a également une donnée pour une espèce marine *Echinogammarus sp.* Les données montrent que les teneurs observées entre les diverses espèces sont relativement proches et ceci quelle que soit la méthode utilisée, avec des valeurs comprises entre 0,6 et 4% de poids frais. Plus particulièrement, chez *G. fossarum* et *G. pulex* qui sont les espèces d'intérêt ici (i.e. celles identifiées dans la norme NF T90-721 *Qualité de l'eau - Encagement in situ de gammars pour la mesure de la bioaccumulation de substances chimiques*), les données de la littérature sont comprises entre 0,8 et 4% de poids frais, avec une moyenne géométrique des valeurs égale à 1,7%, un premier quartile de la distribution des valeurs à 1,2% et un 3^{ème} quartile à 2,2% de MG. Enfin, Dalhoff et al (2018) présentent un suivi sur un an de la teneur en lipide chez des mâles prélevés au niveau d'une population de *G. pulex* et ont observé des valeurs comprises entre 0,5 et 2,4 % de lipides, avec une moyenne de 0,9%.

Auteurs	Espèce	Méthode et masse utilisée	Teneur en % poids frais
(Ashauer et al., 2006)	<i>G. pulex</i>	The lipid content was estimated by change in dry weight after lipid extraction with diethyl-ether (Gee 1988).	7 réplicats de 20 individus chaque 1,34 ± 0,09 (SE)
(Kolanowski et al., 2007)	<i>G. fossarum</i> <i>G. pulex</i> <i>G. roesili</i>	Folch method : Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem 226:497–509	1 g frais 2,95 2,01 2,01
(Goutte et al. 2020)	<i>Gammarus sp.</i>	Aliquots (0.1–0.5 g) of each homogenized dried tissue sample were extracted by ASE as described in Bodin et al. (2009). Extracts were dried by evaporation and residues were weighed to the nearest 0.1mg to calculate tissue lipid content (in % dw).	3 pools de x individus 0,73 0,76 0,60
(Ashauer et al., 2010)	<i>G. pulex</i>	Extraction of lipids from <i>G. pulex</i> was based on Folch et al., using a solvent mixture of 4:5:5.5 (v/v/v) parts of propan-2-ol/cyclohexane/water as proposed by Smedes (1999). Lipids were quantified with a gravimetric	3 pools de 20 individus chaque 1,2 ± 0,09 (SD)

		method and a method based on quantification of total phosphor and carbon contents.		
(Maazouzi et al., 2011)	<i>G. pulex</i>	Total lipids were extracted by homogenizing the whole animal according to Folch et al. (1957). Briefly, the samples were homogenized in 20 vol of chloroform–methanol mixture (2:1, vol/vol).	10 pools de 3 individus chaque?	Estimé entre 0,9 et 3,0 sur la base d'une teneur en MS de 20%
(Nyman et al., 2013)	<i>G. pulex</i>	A gravimetric method was used to determine the lipid content according to Kretschmann and Coworkers (2011). Extraction was done using H ₂ O, i-PrOH, and cyclohexane (11:8:10).	30 individus ?	1,40 (0,6-2,75)
(Charron et al., 2014)	<i>G. fossarum</i>	Plaistow et al. (extraction chloroforme et absorbance) (Plaistow SJ, Bollache L, Ce'zilly F (2003) Energetically costly precopulatory mate guarding in the amphipod Gammarus pulex: causes and consequences. Anim Behav 65: 683–691.	1 individu	1,8 (1,3-2,4)
(Gismondi et al., 2012)	<i>G. roesili</i>	Plaistow et al. (extraction chloroforme et absorbance) (Plaistow SJ, Bollache L, Ce'zilly F (2003) Energetically costly precopulatory mate guarding in the amphipod Gammarus pulex: causes and consequences. Anim Behav 65: 683–691.	4 individus mais pour plusieurs mesures	Estimation entre 0,8 et 1,8
(Baeza-Rojano et al., 2014)	<i>Echino-gammarus</i> (marine)	Folch method : Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem 226:497–509		1,6 ± 0,06
Dans (Baeza-Rojano et al., 2014)	<i>G. pulex</i>			1,2
(Zubrod et al., 2017)	<i>G. fossarum</i>	Van Handel E. 1985. Rapid determination of total lipids in mosquitoes. J Am Mosq Control Assoc 1:302–304 (chloroform:methanol et absorbance)	5 individus	De 1,3 à 1,9
(Zubrod et al., 2011)	<i>G. fossarum</i>	Van Handel E. 1985. Rapid determination of total lipids in mosquitoes. J Am Mosq Control Assoc 1:302–304 (chloroform:methanol et absorbance)	1 individu	2,2
(Dalhoff et al., 2018)	<i>G. pulex</i>	5mL of diethylether for a total extraction time of 48 h. Following extraction, the gammarids were dried at 60 C for another 48 h before a final weighing and the total fat content was estimated as the difference in weight before and after extraction	1 individu	0,9 (de 0,5 à 2,4)
(Fu et al., 2018)	<i>G. pulex</i>	Lipid content of organisms was determined by gravimetric measurement of the lipid extract. The lipid extraction was based on the method developed by Kretschmann with a mixture of isopropanol-cyclohexane		2,6 ± 0,3

		water		
(Raths, Schnurr, et al., 2023)	<i>G. pulex</i>	Briefly, lipids were extracted twice with a chloroform/methanol solution according to the method proposed by Folch et al. (1957)		0,8
(Raths, Švara, et al., 2023)	<i>G. pulex</i>	Lipid content was determined gravimetrically (Smedes, 1999) following an adapted protocol based on Raths et al. (2020)		De 0,9 à 1,1 De 2 à 4
(Götz et al., 2021)	<i>G. roesili</i>	Extraction chloroforme et absorbance		De 0,9 à 1,4
(Schneeweiss et al., 2023)	<i>G. fossarum</i>	Van Handel E. 1985. Rapid determination of total lipids in mosquitoes. J Am Mosq Control Assoc 1:302–304 (chloroform:methanol et absorbance)	5 individus	De 1,7 à 2,3

Références

- Ashauer, R., Boxall, A., & Brown, C. (2006). Uptake and Elimination of Chlorpyrifos and Pentachlorophenol into the Freshwater Amphipod *Gammarus pulex*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 51, 542–548. DOI: 10.1007/s00244-005-0317-z
- Ashauer, R., Caravatti, I., Hintermeister, A., & Escher, B. (2010). Bioaccumulation kinetics of organic xenobiotic pollutants in the freshwater invertebrate *Gammarus pulex* modeled with prediction intervals. *Environmental Toxicology and Chemistry* 29(7), 1625-1636. DOI: 10.1002/etc.175
- Baeza-Rojano, E., Hachero-Cruzado, I., & Guerra-García, J. M. (2014). Nutritional analysis of freshwater and marine amphipods from the Strait of Gibraltar and potential aquaculture applications. *Journal of Sea Research*, 85, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.09.007>
- Charron, L., Geffard, O., Chaumot, A., Coulaud, R., Jaffal, A., Gaillet, V., Dedourge-Geffard, O., & Geffard, A. (2014). Influence of molting and starvation on digestive enzyme activities and energy storage in *Gammarus fossarum*. *PLoS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096393>
- Dalhoff, K., Gottardi, M., Rinnan, Å., Rasmussen, J. J., & Cedergreen, N. (2018). Seasonal sensitivity of *Gammarus pulex* towards the pyrethroid cypermethrin. *Chemosphere*, 200, 632–640. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.153>
- Fu, Q., Rösch, A., Fedrizzi, D., Vignet, C., & Hollender, J. (2018). Bioaccumulation, Biotransformation, and Synergistic Effects of Binary Fungicide Mixtures in *Hyalella azteca* and *Gammarus pulex*: How Different/Similar are the Two Species? *Environmental Science and Technology*, 52(22), 13491–13500. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04057>
- Gismondi, E., Cossu-Leguille, C., & Beisel, J. N. (2012). Does the acanthocephalan parasite *Polymorphus minutus* modify the energy reserves and antitoxic defences of its intermediate host *Gammarus roeseli*? *Parasitology*, 139(8), 1054–1061. <https://doi.org/10.1017/S0031182012000315>
- Götz, A., Imhof, H. K., Geist, J., & Beggel, S. (2021). Moving Toward Standardized Toxicity Testing Procedures with Particulates by Dietary Exposure of Gammarids. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(5), 1463–1476. <https://doi.org/10.1002/etc.4990>
- Goutte, A., Alliot, F., Budzinski, H., Simonnet-Laprade, C., Santos, R., Lachaux, V., Maciejewski, K., Le Menach, K., Labadie, P. (2020). Trophic transfer of micropollutants and their metabolites in an urban riverine food web. *Environmental Science & Technology* 54 (13), 8043-8050. DOI: 10.1021/acs.est.0c01411
- Kolanowski, W., Stolyhwo, A., & Grabowski, M. (2007). Fatty acid composition of selected fresh water gammarids (amphipoda, crustacea): A potentially innovative source of omega-3 LC PUFA. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(9), 827–833. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1116-7>

- Maazouzi, C., Piscart, C., Legier, F., & Hervant, F. (2011). Ecophysiological responses to temperature of the “killer shrimp” *Dikerogammarus villosus*: Is the invader really stronger than the native *Gammarus pulex*?. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 159, 268–274. doi:10.1016/j.cbpa.2011.03.019
- Nyman, A.-M., Hintermeister, A., Schirmer, K., & Ashauer, R. (2013). The Insecticide Imidacloprid Causes Mortality of the Freshwater Amphipod *Gammarus pulex* by Interfering with Feeding Behavior. *PLoS ONE* 8(5): e62472. doi:10.1371/journal.pone.0062472
- Raths, J., Schnurr, J., Bundschuh, M., Pinto, F. E., Janfelt, C., & Hollender, J. (2023). Importance of Dietary Uptake for in Situ Bioaccumulation of Systemic Fungicides Using *Gammarus pulex* as a Model Organism. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 42(9), 1993–2006. <https://doi.org/10.1002/etc.5615>
- Raths, J., Švara, V., Lauper, B., Fu, Q., & Hollender, J. (2023). Speed it up: How temperature drives toxicokinetics of organic contaminants in freshwater amphipods. *Global Change Biology*, 29(5), 1390–1406. <https://doi.org/10.1111/gcb.16542>
- Schneeweiss, A., Schreiner, V. C., Liess, M., Röder, N., Schwenk, K., & Schäfer, R. B. (2023). Population structure and insecticide response of *Gammarus* spp. in agricultural and upstream forested sites of small streams. *Environmental Sciences Europe*, 35(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00747-y>
- Zubrod, J. P., Bundschuh, M., Feckler, A., Englert, D., & Schulz, R. (2011). Ecotoxicological impact of the fungicide tebuconazole on an aquatic decomposer-detritivore system. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(12), 2718–2724. <https://doi.org/10.1002/etc.679>
- Zubrod, J. P., Englert, D., Wolfram, J., Rosenfeldt, R. R., Feckler, A., Bundschuh, R., Seitz, F., Kanschak, M., Baudy, P., Lüderwald, S., Fink, P., Lorke, A., Schulz, R., & Bundschuh, M. (2017). Long-term effects of fungicides on leaf-associated microorganisms and shredder populations—an artificial stream study. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(8), 2178–2189. <https://doi.org/10.1002/etc.3756>

ANNEXE 5. Valeurs de l'ensemble des paramètres utilisés dans les équations d'ajustement.

A. Facteurs d'amplification trophique (TMF)

Substance prioritaire	TMF	Zone géographique	Type d'écosystème	Portion du poisson analysée	Source	Commentaire	Valeur paramétrique utilisée
Hg	4,73	Canada (Nouveau-Brunswick)	cours d'eau	filet	Jardine <i>et al.</i> 2013, cité dans Rüdél <i>et al.</i> 2020	moyenne géométrique de 21 valeurs de TMF	4,73
HCB	1,52	Corée du Sud	cours d'eau	filet	Kim <i>et al.</i> 2019 (TROMBONE)	moyenne géométrique de 4 valeurs de TMF	1,97
	2,4	Italie	lac	filet	Villa <i>et al.</i> 2011	moyenne géométrique de 3 valeurs de TMF (southern lakes)	
	2,1	USA, Canada	lac	filet	Houde <i>et al.</i> 2008		
PBDE (somme BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154)	2,88	France	cours d'eau	corps entier	Action 38 Onema-Irstea		2,9
	2,87	France	cours d'eau	corps entier	Action 38 Onema-Irstea		
PFOS	2,4	France	cours d'eau	corps entier	Simonet-Laprade <i>et al.</i> 2019		2,98
	2,6	France	cours d'eau	corps entier	Simonet-Laprade <i>et al.</i> 2019		
	3,1	France	cours d'eau	corps entier	Simonet-Laprade <i>et al.</i> 2019		
	4,1	France	cours d'eau	corps entier	Simonet-Laprade <i>et al.</i> 2019		
	2,6	France	cours d'eau	corps entier	Simonet-Laprade <i>et al.</i> 2019		
	1,5	France	cours d'eau	corps entier	Simonet-Laprade <i>et al.</i> 2019		

HBCDD (somme des 3 isomères)	1,59	France	cours d'eau	corps entier	Action 38 Onema-Irstea		
	4,8	France	cours d'eau	corps entier	Action 38 Onema-Irstea		
	2,16	France	cours d'eau	corps entier	Action 38 Onema-Irstea		
	2,58	France	cours d'eau	corps entier	Action 38 Onema-Irstea		2,55
Dioxines et composés de type dioxine	2,96	Canada	lac	corps entier	Helm <i>et al.</i> 2008, cité dans Rüdél <i>et al.</i> 2020	TMF du PCB 126 contribuant à près de 74% de la TEQ totale mesurée (% représentant la valeur moyenne de N= 2061 lots de CHE, BAF, PER, GAR, BRE et TRF prélevés dans le cadre du Plan PCB)	2,96
Heptachlore époxyde	1,25	Corée du Sud	cours d'eau	filet	Kim <i>et al.</i> 2019	moyenne géométrique de 2 valeurs de TMF	1,25
Pentachlorobenzène	0,66	Corée du Sud	cours d'eau	filet	Kim <i>et al.</i> 2019	moyenne géométrique de 2 valeurs de TMF	1,00 (valeur par défaut)
	1,03						
HCBD	1,00				Taylor <i>et al.</i> 2003 Balmer <i>et al.</i> 2019	Valeur par défaut. Bioamplification de l'HCBD peu probable en raison de sa vitesse de dépuración rapide, notamment chez le poisson	1,00 (valeur par défaut)

Heptachlore	1,00				Kucklick et Baker 1998 cité dans Walters <i>et al.</i> 2016	Valeur par défaut. Bioamplification peu probable car l'heptachlore est rapidement métabolisé par les vertébrés (poissons)	1,00 (valeur par défaut)
Chloroalcanes C10- 13	0,09 à 0,24 pour les 20 composés individuels formant la famille des SCCP	France	cours d'eau	corps entier	Goutte <i>et al</i> 2020		1,00 (valeur par défaut)
	0,97	Canada	lac	corps entier	Houde <i>et al.</i> 2008		
	1,2 1,36	Chine	lac	corps entier et filet	Zhou <i>et al.</i> 2018	TMF peu robuste (cf. projet TROMBONE)	
Dicofol	0,75				Kidd <i>et al.</i> 2019	TMF modélisé (AQUAWEB for piscivorous fish) non retenu	1,00 (valeur par défaut)

B. Facteurs de conversion filet-corps entier du poisson (FConv)

Substance prioritaire	Facteur de conversion filet-corps entier FConv	Borne inf. IC 95 %	Borne sup. IC 95 %	Source	Commentaire
Hg	0,71	0,69	0,73	Assoumani <i>et al.</i> (2019)	Données RSP, principalement CHE puis GAR et BAF
HCB	4,66	3,19	6,12	Assoumani <i>et al.</i> (2019)	Données RSP, principalement CHE puis GAR et BAF
PBDE (somme BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154)	4,41			Assoumani <i>et al.</i> (2019)	Données RSP, principalement CHE puis GAR et BAF moyenne BDE 47 et BDE 100
PFOS	2,33	2,22	2,45	Assoumani <i>et al.</i> (2019)	Données RSP, principalement CHE puis GAR et BAF
HBCDD (somme des 3 isomères)	4,63	4,26	5,01	Babut <i>et al.</i> (2016)	Données action 38 Onema-Irtsea, CHE
Dioxines et PCB de type dioxine	5,02	4,43	5,61	Rüdel <i>et al. Environ. Sci. Eur.</i> (2020) 32:13	Données de cours d'eau et plans d'eau en Allemagne, lots composites de CHE, PER, GAR, BRE
HCBD	1,00				Valeur par défaut
Heptachlore	1,00				Valeur par défaut
Époxyde d'heptachlore	1,00				Valeur par défaut
Dicofol	1,00				Valeur par défaut
Pentachlorobenzène	1,00				Valeur par défaut
Chloroalcanes C10-13	1,00				Valeur par défaut
% matière grasse	3,75	3,53	3,98	Rüdel <i>et al. Environ. Sci. Eur.</i> (2020) 32:13	Données de cours d'eau et plans d'eau en Allemagne, lots composites de CHE, PER, GAR, BRE N = 28; R^2 = 0,745
% matières sèches	1,21 arrondi à 1,2	1,18	1,23	Assoumani <i>et al.</i> (2019)	Données RSP, principalement CHE, puis GAR et BAF N = 15; R^2 = 0,633

C. Niveau trophique des espèces piscicoles utilisées dans le cadre de la surveillance DCE. Les cellules avec un fond jaune indiquent les valeurs de NT_{pois} par défaut utilisées dans les équations d'ajustement (cf. ANNEXE 3).

Percentile	Distribution des valeurs de NT toutes tailles confondues					
	NTCHE	NTBAF	NTGAR	NTBRE	NTPER	NTTRF
	N = 260	N = 111	N = 184	N = 44	N = 85	N = 227
Maximum	4,6	4,4	3,9	3,8	4,2	6,3
0,95	3,8	4,3	3,7	3,6	4,1	4,6
0,90	3,7	4,1	3,6	3,5	3,9	4,3
3ème quartile	3,4	3,8	3,5	3,4	3,7	4,0
Médiane	3,2	3,5	3,3	3,1	3,4	3,7
1er quartile	2,8	3,2	3,2	2,7	3,2	3,4
0,10	2,6	3,0	2,9	2,6	3,0	3,2
0,05	2,4	2,8	2,8	2,5	2,9	3,1
Minimum	2,0	2,4	2,0	2,4	2,7	2,7

Percentile	Distribution des valeurs de NT pour des poissons de tailles comprises entre 20 et 30 cm					
	NTCHE	NTBAF	NTGAR	NTBRE	NTPER	NTTRF
	N = 83	N = 10	N = 48	N = 0	N = 7	N = 98
Maximum	4,1	4,4	3,9		4,1	6,3
0,95	3,8	4,4	3,8		4,1	5,2
0,90	3,7	4,4	3,7		4,1	4,6
3ème quartile	3,4	4,2	3,6		4,0	4,3
Médiane	3,1	3,6	3,5		4,0	3,9
1er quartile	2,7	3,4	3,3		3,9	3,7
0,10	2,5	3,4	3,2		3,8	3,5
0,05	2,4	3,3	3,1		3,8	3,4
Minimum	2,2	3,2	2,8		3,8	3,2

D. Niveau trophique des gammars (NTgam). La cellule avec un fond jaune indique la valeur par défaut utilisée dans les équations d'ajustement.

Percentile	Valeur de NTgam N = 93
Maximum	2,9
0,99	2,7
0,95	2,4
0,9	2,3
3ème Quartile	2,1
Médiane	2,0
1er Quartile	1,8
0,1	1,6
0,05	1,5
0,01	1,3
Minimum	1,3