

Pesticides et résidus de médicaments : organotropisme et transfert des poissons à leurs parasites acanthocéphales

Aurélie Goutte^{1*}, Fabrice Alliot¹, Eva Pignoux¹, Sira Traoré¹, Léa Lorrain-Soligon¹

¹ UMR 7619 METIS, Sorbonne Université, EPHE-PSL, CNRS, Paris, France

* aurelie.goutte@ephe.psl.eu

Résumé

*Les écosystèmes du bassin de la Seine sont exposés à divers polluants, dont les pesticides et les produits pharmaceutiques. Dans une précédente étude du PIREN-Seine, nous avons suivi la trophodynamique de ces substances et avons montré une moindre détection et une dilution des teneurs le long des réseaux trophiques. Dans ce rapport, nous présentons de nouveaux travaux sur le devenir de ces composés biologiquement actifs dans un poisson d'eau douce, le chevesne (*Squalius cephalus*), plus particulièrement l'organotropisme, c'est-à-dire la distribution différentielle entre organes ou tissus, ainsi que le transfert des chevesnes vers les parasites intestinaux qui sont connus pour séquestrer certains polluants. Plusieurs pesticides, antibiotiques et autres produits pharmaceutiques ont été quantifiés dans les eaux de surface, les tissus (branchies, foie, muscles) de chevesnes et leurs parasites acanthocéphales dans plusieurs sites du bassin versant de la Seine. Sur les 60 substances recherchées, nous en avons détecté 40 dans les échantillons d'eau, 28 dans les pools de parasites, 18 dans les branchies, 17 dans le foie et 8 dans les muscles de chevesnes. Un composé détecté dans l'eau est plus susceptible d'être détecté dans les tissus de chevesnes du site. Les tissus à privilégier pour l'étude de l'imprégnation des poissons sont les branchies, qui présentent une diversité forte de pesticides et de médicaments détectés, ainsi que les concentrations les plus élevées, reflétant une voie d'exposition majeure. Les parasites acanthocéphales accumulent des produits pharmaceutiques, en particulier le paracétamol, la fluoxétine et le carbendazime, à des concentrations élevées. Par ailleurs, la charge parasitaire module la distribution des polluants entre les organes et tissus des poissons, révélant la nécessité de prendre en compte ce paramètre lors des actions de surveillance des substances chimiques dans le biote.*

Points clés

- *La présence en médicaments ou pesticides dans les tissus des poissons est liée à la présence de ces molécules dans l'eau, mais ces relations ne s'appliquent pas en termes de concentration.*
- *Les branchies sont l'organe à privilégier pour l'étude de ces substances dans les poissons.*
- *Les parasites acanthocéphales accumulent ces substances et modulent leur répartition dans les tissus des poissons hôtes.*

Abstract

The Seine river ecosystems are exposed to various pollutants, including pesticides and pharmaceuticals. In a previous PIREN-Seine study, we assessed the trophodynamics of these substances and showed a low detection probability and a biodilution with increasing trophic levels. In the present report, we investigate the fate of these biologically active compounds in a freshwater fish, the chub (*Squalius cephalus*), focusing on organotropism, i.e., the differential distribution between organs or tissues, but also on their potential transfer to intestinal parasites, which are known to sequester some pollutants from their host. In this study, several pesticides, antibiotics, and other pharmaceuticals were searched in surface water, tissues (gills, liver, muscles) of chubs, and their acanthocephalans parasites at several sites in the Seine watershed. Of the 60 substances tested for, we detected 40 of them in water samples, 28 in pools of intestinal parasites, 18 in gill samples, 17 in liver samples, and 8 in muscle samples of chub. The detection probability of a substance in water sample was positively related to the detection probability of this substance in fish tissue. Gills are the best tissues for measuring fish body burden, with a diversity of pesticides and drugs detected, at the highest concentrations, which reflects a main exposure pathway. Acanthocephalans accumulated pharmaceutical residues, particularly paracetamol, fluoxetine and carbendazim, at high concentrations. Furthermore, parasite load modulated the distribution of pollutants between fish organs and tissues, highlighting the importance of this parameter when monitoring chemicals in biota.

Key points

- The presence of drugs or pesticides are linked to the presence of these molecules in the environment, but not their levels.
- The gills are the organ of choice for studying these substances in fish.
- Acanthocephalans accumulate these substances and modulate their distribution in fish host tissues.

Introduction

La Seine et ses affluents sont soumis à de nombreuses sources de pollution (Blanchoud et Thiebault 2024), parmi lesquelles les rejets de pesticides et de résidus pharmaceutiques soulèvent des préoccupations environnementales et sanitaires majeures. Ces substances atteignent les cours d'eau principalement par ruissellement agricole et par rejet d'eaux usées depuis les stations d'épuration (Arnold *et al.* 2014). Les organismes aquatiques sont exposés à des mélanges de pesticides et autres polluants (Relyea, 2009). Le biote joue un rôle clé comme témoin de la pollution (Goutte et Bonnard 2024).

Dans une étude précédente du PIREN-Seine, nous nous sommes intéressés au transfert des pesticides, antibiotiques et autres résidus de médicaments des proies aux prédateurs, et avons montré une biodilution trophique dans un écosystème de rivière urbaine, l'Orge (Lorrain-Soligon *et al.* 2025). Ces substances sont en effet détectées moins souvent le long des maillons trophiques, notamment du fait de leur faible hydrophobicité et de leur élimination rapide par les organismes (Lorrain-Soligon *et al.* 2025). Ces résultats corroborent les diminutions des teneurs en polluants rapidement métabolisables, tels que les phtalates et les hydrocarbures aromatiques polycycliques au sein des réseaux trophiques (Goutte *et al.* 2020).

À l'échelle de l'organisme et plus particulièrement des poissons, les études d'organotropisme permettent de suivre la distribution préférentielle de ces substances entre les tissus (Zhao *et al.* 2015). Les voies d'exposition sont multiples : en plus de l'ingestion de proies contaminées, les poissons sont exposés aux polluants organiques par respiration branchiale et par diffusion cutanée (Arnot & Gobas 2006). Les voies d'excrétion incluent l'élimination au niveau des branchies, des fèces et des urines, après circulation dans l'organisme et éventuellement métabolisation de certains polluants, notamment au niveau du foie (Arnot & Gobas 2006). Les muscles, quant à eux, sont des tissus privilégiés pour la biosurveillance en raison de la quantité de matériel biologique et les implications sanitaires en cas de consommation des produits de la pêche (Panseri *et al.* 2019). Comprendre comment ces polluants se distribuent entre les organes et les tissus des poissons est essentiel pour adapter les approches de surveillance et améliorer l'interprétation des données.

Par ailleurs, la présence de parasites intestinaux peut jouer un rôle clé dans la circulation des polluants au sein des organismes (Sures *et al.* 2017). Les acanthocéphales sont des helminthes connus pour leur capacité à accumuler des éléments traces métalliques, mais également des polluants organiques (Molbert *et al.* 2020), au point que les poissons parasités sont moins contaminés que les poissons non parasités (Sures *et al.* 2017). Toutefois, le transfert de pesticides, d'antibiotiques, et autres résidus pharmaceutiques des poissons hôtes aux parasites, et le rôle de ces parasites dans la répartition des polluants entre organes ne sont, à ce jour, pas connus.

Cette étude évalue le devenir de 60 polluants émergents depuis l'environnement vers les tissus de chevesnes (*Squalius cephalus*), des poissons très présents dans les cours d'eau européens, et jusqu'à leurs parasites acanthocéphales. Il est attendu une répartition privilégiée dans les branchies et le foie, en raison de l'exposition branchiale et du rôle du foie dans la métabolisation des polluants. On prédit des niveaux plus importants dans les tissus de poissons issus des rivières les plus contaminées, et un effet des parasites acanthocéphales dans la réduction de la charge en polluants des poissons.

Matériels et méthodes

2.1. Prélèvements des échantillons

Huit sites ont été échantillonnés au sein du bassin versant de la Seine, répartis sur 5 cours d'eau (l'École, le Ru, le Lunain, l'Orvanne et l'Essonne), choisis en fonction de la présence avérée de chevesnes. Les pêches ont été effectuées entre le 02 octobre 2023 et le 04 septembre 2024 après obtention d'une autorisation de pêche électrique (2023-DDT-SE-147), et certaines faisaient partie des pêches d'inventaire effectuées par les

fédérations de pêche de l'Essonne et de Seine-et-Marne en 2023 et 2024. Des échantillons d'eau ont été prélevés et filtrés, avec certains sites échantillonnés plusieurs fois. Les campagnes de pêches électriques ont permis de capturer 55 chevesnes, *Squalius cephalus*. Après avoir été mesurés et pesés, les poissons ont été disséqués pour prélever le foie, les branchies et des échantillons de muscles. Après examen attentif du tractus intestinal, les parasites acanthocéphales ont été comptés (moyenne \pm erreur standard [min ; max] = 10 ± 3 [0 ; 93]) et pesés (biomasse totale par poisson hôte, $0,283 \pm 0,070$ g [0 ; 2,31]).

2.2. Quantification des pesticides, antibiotiques et autres résidus pharmaceutiques

Au total, 60 molécules ont été recherchées dans les échantillons d'eau et tissus biologiques. Des pools ont parfois été constitués en groupant les mêmes tissus de plusieurs individus provenant du même site, afin d'atteindre la prise d'essai requise (N = 53 muscles, 11 branchies dont 4 *pools*, 20 foies dont 4 *pools*, 5 *pools* d'acanthocéphales). En particulier, ont été quantifiés :

- 30 pesticides : 3,4-dichloroaniline, atrazine et ses métabolites (hydroxyatrazine, déséthylatrazine (DEA), désisopropylatrazine (DIA)), bentazone, carbendazime, chlortoluron, diflufénican, imidaclopride et ses métabolites (imidaclopride olefin, imidaclopride urée), irgarol, isoproturon, metazachlore, métolachlore et ses métabolites (métolachlore OXA, métolachlore NOA, métolachlore ESA), nicosulfuron, oxadiazon, pendiméthaline, pénoxsulame, propanil, prosulfuron, simazine, tébuconazole, tébufenozide, terbutylazine et son métabolite (déséthylterbutylazine)
- 14 antibiotiques : amoxicilline, ciprofloxacine, clarithromycine, énoxacine, enrofloxacine, érythromycine, fluméquine, norfloxacine, ofloxacine, acide oxolinique, sulfaméthazine, sulfaméthoxazole, tétracycline, triméthoprim
- 16 résidus pharmaceutiques : aténolol, bezafibrate, carbamazépine, codéine, diazépam, diclofenac, doxépine, fluoxétine, ibuprofène, kétoprofène, metoprolol, oxazépam, paracétamol, propranolol, tramadol, et venlafaxine

La méthode est dérivée d'un protocole QuEChERS (*Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe*), détaillée dans Lorrain Soligon *et al.* (soumis). Après lyophilisation et broyage, les échantillons (prise d'essai de 500 mg) auxquels sont ajoutés des standards internes (19 pesticides, 19 antibiotiques, 6 autres médicaments) sont extraits avec un mélange de solvants et par extraction dispersive en phase solide, puis analysés par LC-MS/MS (chromatographie en phase liquide couplée à de la spectrométrie de masse en tandem). L'unité pour les échantillons biologiques est en ng.g^{-1} de poids sec.

Concernant les échantillons d'eau filtrés, l'extraction se fait sur cartouches Chromabond HLB préconditionnées et l'analyse en LC-MS/MS (unité : ng.L^{-1}).

2.3. Analyses statistiques

La valeur 0 a été attribuée pour les valeurs de polluants inférieures à la limite de quantification (LOQ). Les analyses statistiques ont été réalisées sous R 3.6.3. Nous avons réalisé des modèles linéaires (LMs), des modèles linéaires généralisés (GLMs), des modèles linéaires mixtes (LMMs), et des modèles linéaires mixtes généralisés (GLMMs). Pour les LMs et LMMs nous avons contrôlé pour la normalité de la dispersion des résidus. Certaines variables dépendantes ont été transformées ($\log + 1$ ou racine carrée) pour respecter les conditions de normalité de ces modèles. Pour tous les tests, nous avons aussi vérifié l'homogénéité de la variance, la présence de valeurs extrêmes et l'uniformité des résidus en utilisant la fonction `check_model` du *package* performance (Lüdecke *et al.*, 2020).

2.3.1. Détection et niveaux des pesticides et résidus de médicaments dans les poissons comparés à la contamination de l'eau

Les relations entre les niveaux de polluants (indépendamment pour les pesticides, les pharmaceutiques et les antibiotiques) mesurés dans les tissus biologiques et les concentrations dans l'eau ont été examinées à l'aide de Gamma GLM. L'association entre la présence de polluants (indépendamment pour les pesticides, les pharmaceutiques et les antibiotiques) dans les échantillons biologiques et leur occurrence dans l'eau a été analysée à l'aide de GLMs quasibinomiaux.

2.3.2. Organotropisme

Les variations de concentrations en polluants entre les différents tissus (parasites, muscles, foie, branchies) ont été déterminées, pour l'ensemble des polluants d'une part, puis pour les molécules retrouvées dans la plus grande fréquence uniquement (indépendamment pour le diflufenican, la carbendazime, le paracétamol, le tramadol, le diclofénac et la fluoxétine). Ces données ont été analysées à l'aide de LMMs ou Gamma GLMMs, avec le tissu comme facteur explicatif, et l'individu et le site comme effets aléatoires. Pour le diclofénac, comme aucun échantillon de muscle ou d'acanthocéphales ne contenait de diclofénac à des niveaux >LOQ, les comparaisons ont dû être faites uniquement entre les branchies et les foies, qui contenaient des niveaux élevés de diclofénac. Pour la fluoxétine, comme aucun échantillon de foie ne contenait de la fluoxétine à des niveaux >LOQ, les comparaisons ont dû être faites en excluant les valeurs au sein des foies. Comme beaucoup de valeurs de niveaux de tramadol dans l'ensemble des tissus étaient inférieures <LOQ, les données de niveaux de tramadol ont été arrondies pour donner des données continues, et pouvoir associer à ces données un modèle Poisson (qui prend en compte des données avec beaucoup de 0).

2.3.3. Rôle des parasites acanthocéphales dans les niveaux de contamination du poisson hôte

L'influence de la biomasse des acanthocéphales sur les niveaux de polluants retrouvés dans les tissus des poissons (indépendamment pour les muscles, les foies et les branchies) a été évaluée à l'aide de GLMMs Gamma, en incluant l'individu et le site comme effets aléatoires.

Résultats et discussion

3.1 Détection et niveaux des pesticides et résidus de médicaments dans les poissons comparés à la contamination de l'eau

Au total, 60 composés (30 pesticides et 30 résidus de médicaments, dont 14 antibiotiques) étaient recherchés dans les échantillons d'eau et les échantillons biologiques. Dans l'eau, 40 composés (17 pesticides et 23 résidus de médicaments, dont 9 antibiotiques) présentent au moins une valeur supérieure à la LOQ et les concentrations peuvent être élevées pour plusieurs composés. Ce nombre de composés détectés chute dans les échantillons biologiques, avec 28 composés (16 pesticides et 12 médicaments, dont 6 antibiotiques) dans les muscles, 18 dans les branchies (9 pesticides et 8 médicaments, dont 2 antibiotiques), 17 dans le foie (9 pesticides et 8 médicaments, dont 3 antibiotiques) et 8 dans les parasites (3 pesticides et 5 médicaments, dont 1 antibiotique). Cette diminution de détection dans les organismes par rapport à la détection dans l'eau peut être expliquée par le caractère faiblement bioaccumulable de ces composés, leur solubilité dans l'eau élevée, et/ou leur élimination par les organismes (Zhao *et al.* 2015). Ces résultats rejoignent les processus de biodilution trophique pour les pesticides et les antibiotiques, observés dans un écosystème de rivière urbaine, au niveau de l'Orge aval (Lorrain *et al.* 2025).

Les composés les plus souvent détectés dans les échantillons biologiques sont :

- pour les pesticides, le diflufenican (détecté dans 100 % des échantillons de parasites acanthocéphales, 90 % des foies, 87 % des muscles, 73 % des branchies) et la carbendazime (détectée dans 80 % des parasites et dans 64 % des branchies)

- pour les médicaments, le paracétamol (100 % des parasites, 73 % des échantillons de branchies), le tramadol (60 % des acanthocéphales, 73 % des branchies, 70 % des muscles), le diclofénac (60 % des foies) et la fluoxétine (60 % des acanthocéphales).

En termes de concentration dans les tissus biologiques, les niveaux maximaux sont atteints pour le paracétamol (38,9 ng.g⁻¹ de muscle en poids sec et 16,9 ng.g⁻¹ de parasites acanthocéphales en poids sec) et le diclofénac (87,0 ng.g⁻¹ de foie en poids sec et 65,3 ng.g⁻¹ de branchies en poids sec).

Les concentrations de polluants mesurées dans les échantillons biologiques ne sont pas liées à celles mesurées dans l'eau, que ce soit pour les antibiotiques, les pesticides, ou les résidus pharmaceutiques (Figure 1A). En revanche, lorsque le composé est détecté dans l'eau, la probabilité de le détecter dans les échantillons biologiques augmente, ce qui est retrouvé pour les pesticides et les résidus pharmaceutiques, mais pas pour les antibiotiques (Figure 1B).

Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que les valeurs mesurées dans les tissus de poissons sont intégratives sur un laps de temps long, comparé aux valeurs d'un échantillon ponctuel d'eau, soumis aux fortes fluctuations temporelles.

Tableau 1 : Résultats des analyses statistiques (Gamma GLM ou quasibinomial GLM) pour tester les liens entre les concentrations (ou la probabilité de détection) de polluants dans l'eau et dans les tissus biologiques

	Estimation	ES (Erreur standard)	t-value	p-value
Concentrations d'antibiotiques	-0,003	0,009	-0,385	0,700
Concentrations de pesticides	0,004	0,005	0,737	0,461
Concentrations de résidus pharmaceutiques	-0,018	0,014	1,321	0,187
Probabilité de détection d'antibiotiques	-0,068	0,643	-0,106	0,916
Probabilité de détection de pesticides	0,698	0,200	3,493	< 0,001
Probabilité de détection de résidus pharmaceutiques	1,176	0,232	5,076	< 0,001

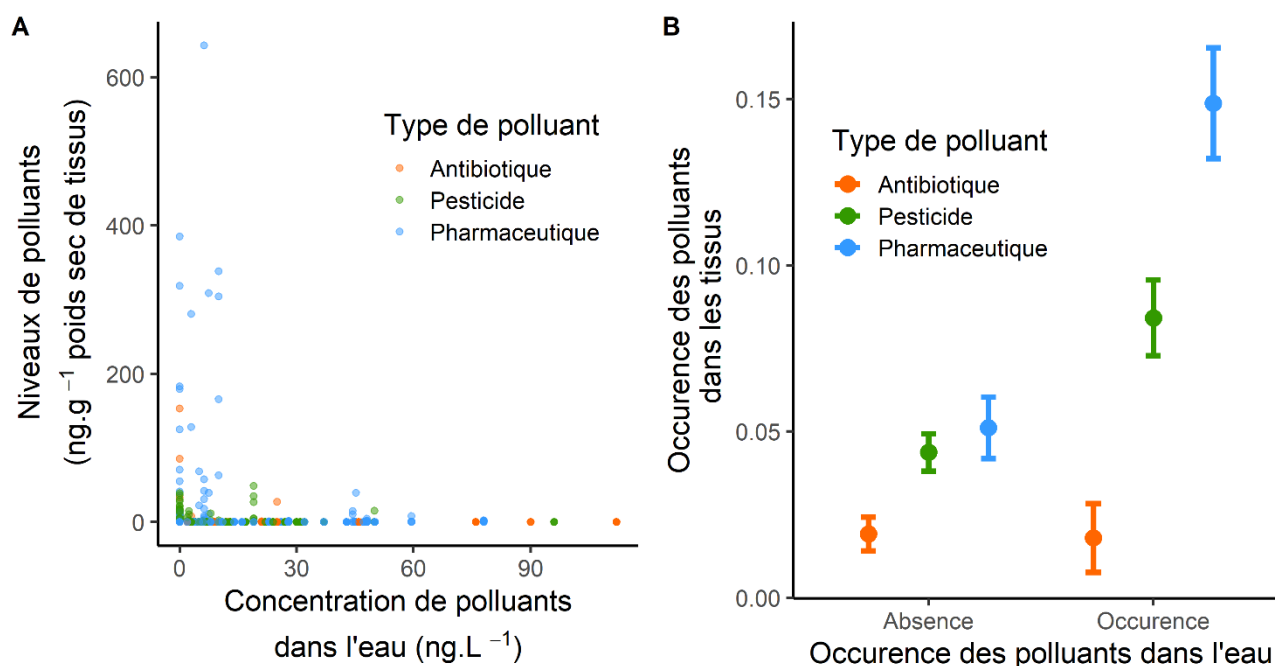


Figure 1 : A) Niveaux de polluants (pesticides, antibiotiques, autres médicaments) dans les tissus de chevesnes (ng.g⁻¹ de poids sec) en fonction des concentrations dans l'eau (ng.L⁻¹), B) Occurrence dans les tissus, par rapport à l'occurrence dans l'eau

3.2. Organotropisme

Les niveaux de polluants, toutes molécules confondues, diffèrent entre les tissus et sont plus élevés dans les branchies et le foie (LMM, transformation racine carrée, $X^2 = 35,74$, $p < 0.001$). La respiration branchiale semble donc être une voie d'exposition privilégiée pour ces composés, en raison d'une large surface d'exposition et de la diffusion active des composés solubles dans l'eau vers l'organisme. En plus des branchies, le foie apparaît comme un organe majeur pour la biosurveillance, en raison de ses fonctions de détoxication. Il est à préciser que d'autres tissus et organes pourraient aussi être investigués (derme, rein, tractus digestif, cerveau, tissus adipeux). Le muscle, même s'il est traditionnellement utilisé pour l'évaluation du risque en raison des risques sanitaires en cas de consommation humaine (Panseri *et al.* 2019) est un tissu avec des taux de détection et des teneurs faibles en pesticides, antibiotiques et autres résidus de médicaments et présente un intérêt limité pour la biosurveillance.

Si on se focalise sur les molécules les plus fréquemment retrouvées (le diflufenican, la carbendazime, le paracétamol, le tramadol, le diclofénac et la fluoxétine), on retrouve des patrons de distribution variés. Les niveaux de carbendazime sont plus élevés dans les acanthocéphales que dans le foie ou les muscles, et plus élevés dans les branchies que dans tous les autres tissus (Gamma GLMM, $X^2 = 53.23$, $p < 0,001$, Figure 2A). Les niveaux de diflufenican sont plus élevés dans le foie que dans tous les autres tissus (Gamma GLMM, $X^2 = 33,02$, $p < 0,001$, Figure 2B). Les niveaux de diclofénac dans les muscles et les acanthocéphales ne dépassent jamais la LOQ, les comparaisons ont donc été faites uniquement entre les échantillons de foie et de branchie où les niveaux sont élevés, mais les concentrations ne diffèrent pas entre les échantillons de foie et de branchie (Gamma GLMM, $X^2 = 1,34$, $p = 0,25$, Figure 2C). Les niveaux de fluoxétine sont plus élevés dans les acanthocéphales que dans les muscles, mais les niveaux retrouvés dans les branchies ne diffèrent pas comparé aux muscles et aux acanthocéphales (Gamma GLMM, $X^2 = 5,26$, $p = 0,15$, Figure 2D). Les niveaux de fluoxétine retrouvés dans le foie sont toujours inférieurs à la LOQ (Figure 2D). Les niveaux de paracétamol (Gamma

GLMM, $\chi^2 = 3,291$, $p = 0,349$, Figure 2E) et de tramadol (Poisson GLMM, transformation en données continue, $\chi^2 = 4,95$, $p = 0,176$, Figure 2F) ne diffèrent pas entre les tissus.

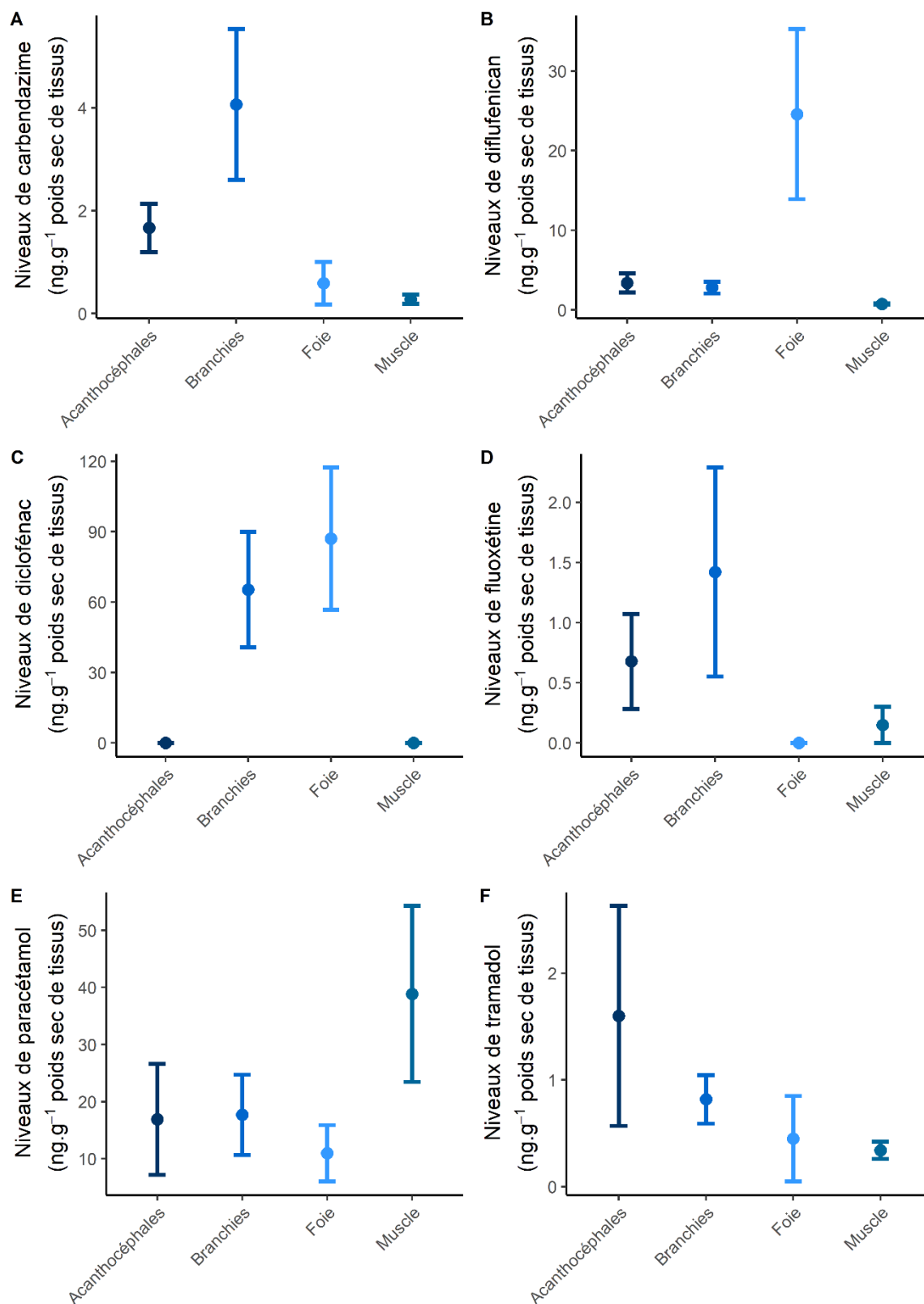


Figure 2 : Niveaux de polluants (en ng.g⁻¹ de poids sec, A) carbendazime, B) diflufenican, C) diclofenac, D) fluoxetina, E) paracetamol, F) tramadol) entre les tissus de chevesnes (branchie, foie, muscle) et leurs parasites acanthocéphales

3.3. Rôle des parasites acanthocéphales dans les niveaux de contamination du poisson hôte

Dans la mesure où les acanthocéphales présentent des concentrations en polluants qui peuvent être élevées et sont connus pour séquestrer divers polluants organiques (Molbert *et al.* 2020), nous avons testé si la biomasse en acanthocéphales dans l'intestin des chevesnes influençait la concentration en polluants dans leurs tissus, en s'intéressant à tous les polluants confondus. Dans les muscles, plus la biomasse de parasites est élevée plus les niveaux de polluants augmentent (Gamma GLMM, Estimation = 0,646, ES = 0,139, $t = 4,662$, $p < 0,001$). Dans les branchies, les niveaux de polluants diminuent quand la biomasse en acanthocéphales diminue (Gamma GLMM, Estimation = -0,454, ES = 0,093, $t = -4,891$, $p < 0,001$). Cependant cette corrélation n'est pas significative pour les teneurs mesurées dans le foie (Gamma GLMM, Estimation = -0,388, ES = 0,243, $t = -1,591$, $p = 0,111$). La charge parasitaire pourrait avoir des effets contrastés, influençant à la fois l'exposition des poissons aux polluants et la dynamique de répartition des polluants dans l'hôte (Sures et Nachev 2025). Par ailleurs, les parasites acanthocéphales modifient la structure et l'histologie de l'intestin, via notamment l'hyperplasie et hypertrophie des cellules caliciformes (Bosi et Dezfuli, 2015), ce qui pourrait restreindre l'absorption de nutriments et de contaminants par voie trophique. D'autres études montrent que les chevesnes parasités par les acanthocéphales occupent une niche trophique plus étroite (Molbert et Goutte 2022), et se nourrissent moins (Parker *et al.* 2023). À la lumière de ces résultats, il apparaît important de considérer la charge parasitaire dans les suivis d'imprégnation du biote aux pesticides et résidus de médicament.

Conclusion

Les chevesnes du bassin versant de la Seine présentent des niveaux de contamination cohérents avec la présence des pesticides et résidus de médicaments dans le milieu. Ces substances sont plus fréquemment détectées dans les branchies et à des niveaux plus élevés, confirmant que la respiration branchiale joue un rôle prépondérant dans l'exposition des poissons à ces substances. Nous montrons que les parasites acanthocéphales modulent l'exposition et la distribution de ces polluants au sein des poissons hôtes, et qu'il est donc nécessaire de les prendre en compte dans les actions de biosurveillance via le biote. Pour la suite, nous déploierons des approches expérimentales pour comprendre les conséquences de cette exposition aux médicaments et pesticides sur la dynamique des interactions hôtes-parasites, en étudiant les conséquences chez les poissons parasités ou non par les acanthocéphales, ainsi que sur leurs parasites. De plus, une thèse commence pour explorer les aspects évolutifs, avec l'hypothèse d'une adaptation locale en fonction de la contamination passée.

Remerciements Les auteurs remercient les fédérations de pêche de l'Essonne et de Seine-et-Marne pour les pêches et les captures de chevesnes.

Pour retrouver les outils et données

Les données seront mises à disposition sous licence *creative common* [CC-BY-NC-SA v4.0](#), dès la publication de l'article actuellement soumis.

Le logiciel est distribué sous licence EPL v2.0. Sa version la plus à jour est téléchargeable sur son [dépôt de développement](#). utilisée pour cette étude est téléchargeable ici.

Bibliographie

- Arnold, K.E., Brown, A.R., Ankley, G.T., Sumpter, J.P., 2014. Medicating the environment: assessing risks of pharmaceuticals to wildlife and ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 369, 20130569. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0569>
- Arnot, J. A., & Gobas, F. A. (2006). A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. *Environmental Reviews*, 14(4), 257-297.
- Blanchoud H., Thiebault T., 2024, Les microcontaminants dans le bassin de la Seine, Fascicule du PIREN-Seine, ISBN : 978-2-490463-20-6, ARCEAU-IdF, 92 p
- Bosi, G., & Dezfuli, B. S. (2015). Responses of *Squalius cephalus* intestinal mucous cells to *Pomphorhynchus laevis*. *Parasitology International*, 64(2), 167-172.
- Goutte A., Bonnard M., 2024, Le rôle du biote comme témoin de la qualité de l'eau de la Seine, Fascicule du PIREN-Seine. ISBN : 978-2-490463-38-1, ARCEAU-IdF, 64p
- Goutte A, Alliot F, C. Budzinski H, Simonnet-Laprade C, Santos R, Labadie P (2020) Trophic transfer of micropollutants and their metabolites in an urban riverine food web. *Environmental Science and Technology*, 54(13), 8043-8050.
- Lorrain-Soligon, L., Marchand, E., Alliot, F., Bustamante, P., Petit, F., & Goutte, A. (2025). Starting from the bottom: Contrasted trophic transfer of antibiotics and pesticides through a riverine food web. *Science of The Total Environment*, 1002, 180617.
- Lorrain-Soligon, L., Pignoux, E., Alliot, F., Traoré, S., Agostini, S., Goutte, A. (submitted) Tissue- and parasite-specific accumulation of emerging pollutants in wild freshwater fish.
- Lüdecke, D., Makowski, D., Waggoner, P., Patil, I., 2020. Performance: assessment of regression models performance. *Journal of Open Source Software* 6, 3139.
- Molbert N, Alliot F, Leroux-Coyau M, Médoc V, Biard C, Meylan S, Jacquin L, Santos R, Goutte A, 2020. Potential benefits of acanthocephalan parasites for chub hosts in polluted environments. *Environmental Sciences and Technology* 54, 5540–5549.
- Molbert N, Goutte A (2022) Narrower isotopic niche size in fish infected by the intestinal parasite *Pomphorhynchus* sp. compared to uninfected ones. *Journal of Fish Biology*, 101(6):1466-1473.
- Panseri, S., Chiesa, L., Ghisleni, G., Marano, G., Boracchi, P., Ranghieri, V., ... & Tecilla, M. (2019). Persistent organic pollutants in fish: biomonitoring and cocktail effect with implications for food safety. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(4), 601-611.
- Parker, B., Britton, J. R., Green, I. D., Amat-Trigo, F., & Andreou, D. (2023). Parasite infection but not chronic microplastic exposure reduces the feeding rate in a freshwater fish. *Environmental Pollution*, 320, 121120.
- Relyea RA, 2009. A cocktail of contaminants: how mixtures of pesticides at low concentrations affect aquatic communities. *Oecologia* 159, 363–376.
- Sures B, Nachev M, Selbach C, Marcogliese DJ, 2017. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology.' *Parasites Vectors* 10, 1–19
- Sures, B., Nachev, M., Grabner, D., Wepener, V., & Zimmermann, S. (2025). Environmental Parasitology: Interactions Between Parasites and Pollutants. In *Aquatic Parasitology: Ecological and Environmental Concepts and Implications of Marine and Freshwater Parasites* (pp. 509-534). Cham: Springer Nature Switzerland.

Zhao J-L, Liu Y-S, Liu W-R, Jiang Y-X, Su H-C, Zhang Q-Q, Chen X-W, Yang Y-Y, Chen J, Liu S-S, Pan C-G, Huang G-Y, Ying G-G, 2015. Tissue-specific bioaccumulation of human and veterinary antibiotics in bile, plasma, liver and muscle tissues of wild fish from a highly urbanized region. *Environmental Pollution* 198, 15–24.