

Fiche projet Accord Cadre ZABR – Agence de l'eau

INTER-P-FAS Rôle de l'adsorption des PFAS sur les INTERfaces environnementales dans l'INTERnalisation par les invertébrés aquatiques

INTITULE DU PROJET :

Intitulé du projet : AC ZABR – Act°103 PFAS, INTERfaces environnementales, invertébrés aquatiques (INTER-P-FAS) CNRS CEREGE- INRAE RiverLy

Responsables scientifiques du projet :

- **Nom :** Labille
- **Prénom :** Jérôme
- **Organisme du contact :** Centre de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE)
- **Fonction :** Directeur de Recherche CNRS
- **Courriel :** labille@cerege.fr

- **Nom :** Pradel
- **Prénom :** Alice
- **Organisme du contact :** CEREGE
- **Fonction :** Chercheuse Postdoctorale
- **Courriel :** pradel@cerege.fr

Référent (s) administratif(s) :

- **Nom :** Sanchez
- **Prénom :** Louiza
- **Organisme du contact :** CNRS DR Provence et Corse (DR12)
- **Fonction :** responsable Service Partenariat et Valorisation
- **Courriel :** spv@dr12.cnrs.fr
- **Téléphone :** 0491164423

EQUIPES DE RECHERCHES ZABR CONCERNEES et CONTACT SCIENTIFIQUE DE L'EQUIPE

Équipe 1 : CEREGE, Équipe Environnement Durable

Contacts Scientifiques de l'équipe 1 : Jérôme Labille et Alice Pradel

Équipe 2 : INRAE Riverly, Laboratoire d'écotoxicologie

Contacts Scientifiques de l'équipe 2 : Arnaud Chaumot et Olivier Geffard

AUTRES PARTENAIRES : NA

THEMATIQUE NATURE ET OPERATION (ne rien compléter))

- Thématique : Etude recherche et réseau de suivi
- Nature du projet : Etude générale et recherche
- Type d'opération : Recherche et innovation
- **Intitulé de l'opération :**

LOCALISATION DU PROJET: (se remplit automatiquement -Ne rien remplir)

- **Commune principale et numéro INSEE :** à compléter
- **Sous bassin versant**
- **Nom du cours d'eau**

- Contrat (si intégré dans un contrat de rivière, un SAGE ou un autre contrat avec l'agence de l'eau)

RESUME DU PROJET GLOBAL :

Caractériser le risque écotoxicologique posé par la présence généralisée des contaminants dans l'environnement nécessite de connaître leur bioaccessibilité (les concentrations auxquelles les organismes sont réellement exposés) et leur biodisponibilité (leur capacité à passer les membranes biologiques). Or, pour les organismes aquatiques, seule l'exposition par la phase dissoute (<1 nm) est considérée et utilisée dans les normes de qualité environnementales. Cette vision trop simpliste ignore la présence des matières en suspension (MES) qui peuvent être ingérées et ainsi vectoriser des contaminants adsorbés à leur surface. Parmi les MES, on retrouve des particules organiques qui constituent la nourriture de nombreuses espèces, mais également la fraction colloïdale (1nm à 5µm) qui présente un fort potentiel de vectorisation étant donné sa capacité à rester dispersée et sa forte surface spécifique (jusqu'à > 100 m²/g).

Le projet Inter-P-FAS propose de caractériser le rôle des colloïdes et de la nourriture dans l'exposition et la bioassimilation de substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) par un organisme aquatique sentinelle, le gammare. Les PFAS, plus de 3000 molécules de synthèse, sont composés d'une chaîne de carbone perfluorée, dont l'hydrophobicité est proportionnelle à la longueur de chaîne, et de groupes fonctionnels hydrophiles, de différentes natures chimiques. En raison de leur large gamme de propriétés physicochimiques et leur extrême persistance environnementale, les PFAS sont largement utilisés, disséminés dans l'environnement aquatique et imprègnent le compartiment biologique. Caractériser la vectorisation des PFAS via la fraction colloïdale et la nourriture, est essentiel pour prédire le risque de transfert et d'effets toxiques. Or, leurs propriétés physicochimiques contrastées leur confèrent différentes capacités d'adsorption sur les colloïdes et la nourriture.

Les objectifs opérationnels sont de proposer 1) des indicateurs de remobilisation des PFAS des sédiments vers les fractions bioaccessibles (dissous, colloïdal et nourriture), et 2) des facteurs correctifs du risque écotoxicologique des PFAS en fonction de la concentration et la nature des colloïdes et de la nourriture présents. Ceci sera fait par des expérimentations en milieu contrôlé avec le gammare comme invertébré aquatique modèle. D'abord, nous identifierons les mécanismes d'adsorption des PFAS sur les colloïdes et la nourriture dans des conditions fluviales (Tâche 1). Ensuite, nous analyserons combien l'adsorption des PFAS sur les colloïdes et la nourriture modifie leur capacité à être bioassimilés (Tâche 2). Finalement, nous quantifierons pour la première fois comment la présence de colloïdes modifie le transfert trophique des PFAS (Tâche 3a) et module la toxicité des PFAS (Tâche 3b).

Inter-P-FAS générera des connaissances originales sur le rôle des colloïdes et de la nourriture dans la bioaccessibilité et la biodisponibilité des PFAS, en combinant l'expertise en physicochimie environnementale de l'équipe du CEREGE et l'expertise en écotoxicologie de l'équipe de Riverly, ainsi que les connaissances acquises via leur implication dans l'OSR et RhônEco, respectivement.

ENCART 2025-CEREGE (Responsable Jérôme Labille)

- L'équipe du CEREGE étudiera les interactions physicochimiques entre PFAS et les interfaces environnementales (sédiments, matière en suspension et nourriture). Ceci permettra de déterminer la bioaccessibilité des PFAS et les processus de bioassimilation en fonction de la chimie aquatique.

ENCART 2025-INRAE Riverly (Arnaud Chaumot et Olivier Geffard)

- L'équipe de INRAE Riverly quantifiera dans un premier temps, comment la présence de colloïdes modifie la bioassimilation de PFAS par les gammares (invertébrés aquatiques modèles). Dans un deuxième temps, des effets physiologiques seront mesurés pour déterminer l'effet toxique en fonction des concentrations et spéciations de PFAS.

CONTEXTE SCIENTIFIQUE

• Contexte général

La contamination généralisée des milieux de vie par les molécules de synthèse constitue une menace majeure qui nécessite d'améliorer les connaissances du risque environnemental¹. Parmi ces contaminants, les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) constituent plus de 3000 molécules, extrêmement persistantes et utilisées dans de nombreux produits et processus industriels^{2,3}. En conséquence, les PFAS sont globalement disséminés dans l'environnement et imprègnent le vivant⁴. Il est donc urgent de caractériser comment les paramètres environnementaux contrôlent leur spéciation et donc leur risque écotoxicologique.

Les PFAS présentent un large éventail de propriétés physicochimiques qui dictent leur capacité à rester dissous ou à s'adsorber aux interfaces présentes dans les cours d'eau, telles que la matière en suspension (MES) et la nourriture⁵. Cette spéciation contrôle

1. leur bioaccessibilité: concentrations auxquelles les organismes sont exposés, et
2. leur biodisponibilité: capacité à passer les membranes biologiques⁶.

Cette diversité de propriétés physicochimiques est due à leur structure, composée d'une part d'une chaîne de carbone perfluorée dont l'hydrophobicité est proportionnelle à la longueur de chaîne, et d'autre part, de groupes fonctionnels hydrophiles de différentes natures chimiques (e.g.: carboxylique ou sulfonate; Fig. 1)⁷.

Le Rhône est impacté par un flux de PFAS provenant notamment de la «Vallée de la Chimie»^{7,8}. Les concentrations peuvent dépasser les valeurs seuil des Directives Européennes (prévues pour 2027) de 4.4 ng/L dans l'eau de surface et 77 ng/kg de poids frais de biota pour Σ_{24} PFAS^{8,9}. En effet, les concentrations moyennes de Σ_{77} PFAS dans l'eau du Rhône sont de 68.8 ng/L et principalement composés des 24 molécules prioritaires¹⁰. Les sédiments du Rhône, contaminés par des émissions historiques et actuelles de PFAS, ont des teneurs de Σ_{22} PFAS de 0.2 à 50 ng/g¹¹. Dans la chaîne alimentaire Σ_{15} PFAS varie de 4.7 à 6.3 ng/g dans les algues, de 140 à 350 ng/g dans les gammarés et de 195 à 424 ng/g dans les poissons (poids frais)¹². Pour les organismes aquatiques comme pour la MES, ce sont les PFAS à longue chaîne (>C9) et présentant des groupements sulfonates qui s'accumulent le plus^{4,12,13}.

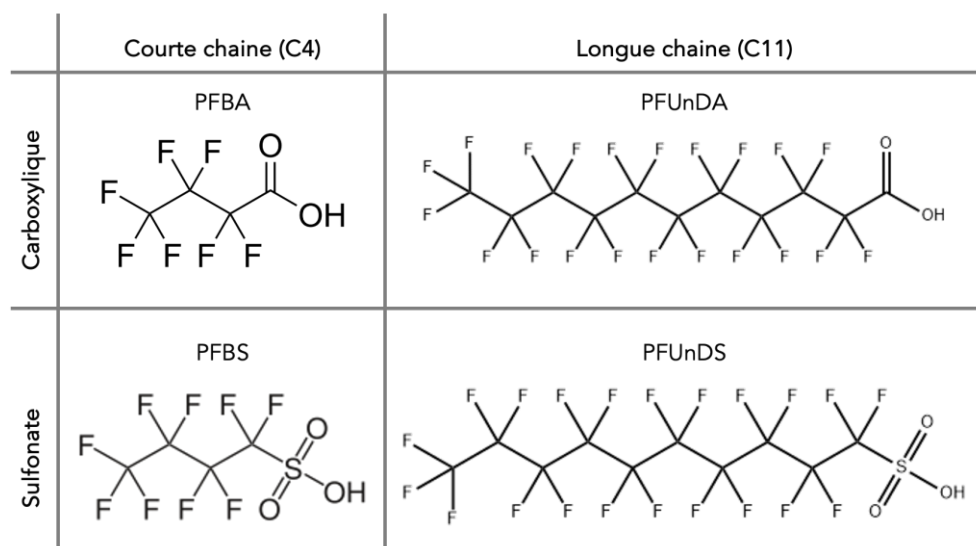


Figure 1: Structures chimiques de PFAS avec des longueurs de chaînes et des groupements fonctionnels variables.

La fraction biodisponible d'un contaminant est généralement associée à sa spéciation sous forme dissoute¹⁴. Or, les valeurs de bioaccumulation d'un facteur 20 à 90 rapportées ci-dessus, et les profils chimiques similaires des PFAS suggèrent d'autres voies d'internalisation par les organismes aquatiques. Notre **hypothèse** est qu'il existe 3 voies d'assimilation: i) la phase dissoute, ii) l'ingestion de nourriture, et iii) l'ingestion de colloïdes (solides de 1nm à 5µm de nature principalement minérale¹⁵) en suspension dans l'eau de boisson¹⁶. Nous supposons que i) l'adsorption de PFAS à la surface des colloïdes et de la nourriture les concentre localement (Fig. 2A). ii) Quand les colloïdes ou la nourriture sont ingérés, les PFAS associés sont potentiellement désorbés

à cause des changements de conditions physicochimiques dans le tractus digestif, pouvant les rendre biodisponibles (Fig. 2B). Cette vectorisation, qui est inconnue à date, est d'autant plus importante à caractériser dans le contexte actuel rhodanien où de nombreux événements, tels que lâchers de barrage, dragage, ou travaux de renaturation des cours d'eau, remettent en suspension des sédiments historiquement contaminés.

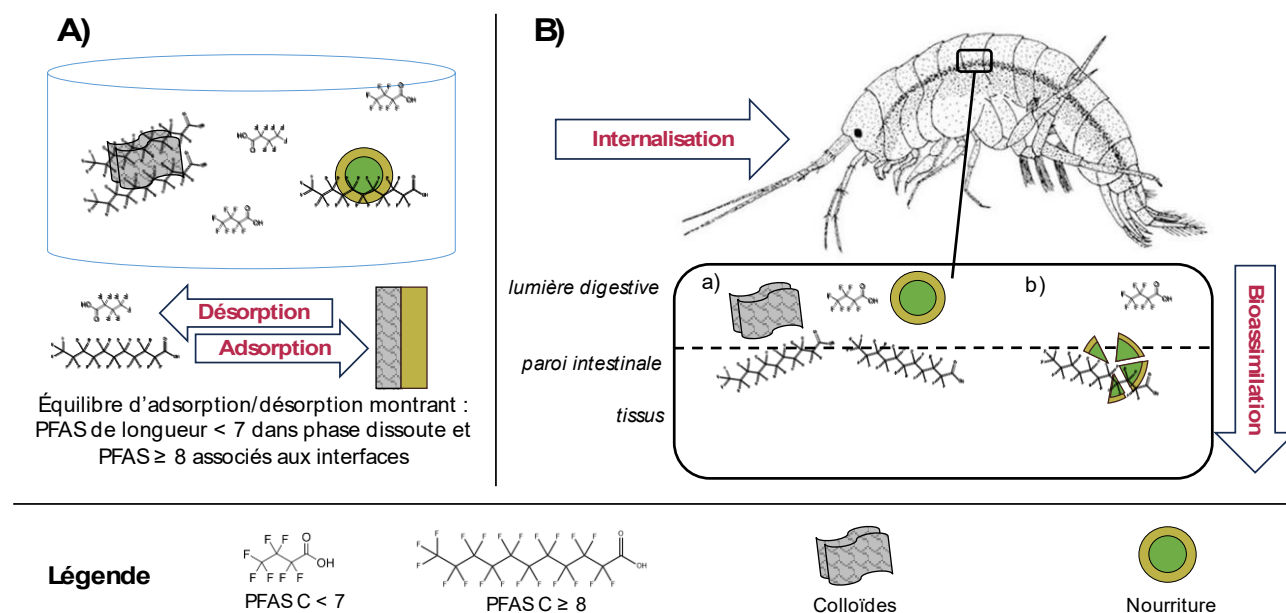


Figure 2 : Schéma montrant A) la spéciation de PFAS ayant différentes longueurs de chaîne perfluorée dans la colonne d'eau, qui déterminera sa bioaccessibilité, et B) les mécanismes qui rendent les PFAS associés à la nourriture ou aux colloïdes, biodisponibles.

Contexte ZABR :

- **Thématique ZABR** : Flux Polluants, Ecotoxicologie, Ecosystèmes
- **Site Atelier ou Observatoire ZABR** : OHM VR, OSR, RhôneEco

Inter-P-FAS combinera les connaissances acquises par l'équipe du CEREGE dans le cadre de l'OSR et par l'équipe d'INRAE Riverly dans le cadre de RhôneEco pour développer une compréhension intégrée des voies d'exposition :

- L'Axe B de l'OSR "Comprendre les sources et la dynamique des MES et des contaminants historiques et émergents" étudie le flux des contaminants dans la phase particulaire, mais n'étudie pas leur spéciation colloïdale ou dissoute, ni l'internalisation de ces contaminants par le vivant.
- L'Axe 1 de RhôneEco "Comprendre les réponses biophysiques à la restauration des habitats" vise à diagnostiquer l'exposition des biocénoses à la contamination au sein de secteurs restaurés (e.g. : îlots et vieux Rhône) via des mesures de bioaccumulation de différents contaminants (incluant quelques PFAS) lors d'encagement d'organismes à différentes saisons sur des secteurs couvrant l'ensemble du corridor rhodanien, y compris le sud de Lyon. La question des sources et des voies d'exposition n'est pas abordée.

- **Besoin de connaissance Agence de l'eau** : Thème : Substances et risques associés, enjeux de santé-environnement.
- Questions : Quel est le devenir des substances dans les milieux aquatiques perturbés ? Les travaux de renaturation des cours d'eau peuvent-ils générer des flux de polluants stockés dans les berges ? (Degrés d'avancement 1/4)

FINALITE ET ATTENDUS OPERATIONNELS

L'association des PFAS avec les interfaces environnementales et biologiques doit être comprise pour i) déterminer les concentrations réelles auxquels les organismes sont exposés et ii) élucider les processus de bioassimilation et d'entrée dans la chaîne trophique. Plus spécifiquement, comprendre l'affinité des PFAS pour

les colloïdes est essentiel car dû à leur taille submicrométrique i) ils peuvent rester en suspension et être bioaccessibles et ii) ils présentent une surface spécifique qui leur permet d'adsorber une fraction significative des PFAS. Or, la proportion de PFAS associés aux colloïdes est inconnue à date, car de manière prépondérante la fraction dite "dissoute" est obtenue par filtration à 0.2, 0.45 ou 0.7 μm ¹⁷⁻¹⁹ et contient donc une quantité non-contrôlée de colloïdes^{20,21}.

- **Objectifs scientifiques**

Objectif scientifique 1 : Quantifier la capacité de PFAS à s'adsorber et se désorber de deux types d'interfaces environnementales : i) des colloïdes qui sont principalement d'origine minérale et donc indigestible, et ii) de la nourriture organique, dans des milieux représentatifs des eaux de surface. Ceci permettra de savoir comment ces interfaces modulent les concentrations réelles d'exposition aux PFAS.

Objectif scientifique 2 : Quantifier comment l'adsorption des PFAS sur les interfaces module leur biodisponibilité pour des gammarès. Ceci permettra de distinguer la contribution relative de PFAS via la fraction dissoute, la nourriture et les colloïdes indigestibles et de proposer des facteurs de correction pour les mesures de facteurs de bioconcentration et bioaccumulation.

- **Attendus opérationnels**

Objectif opérationnel 1 : Proposer des indicateurs de remobilisation des PFAS pour améliorer les stratégies de gestion des sédiments.

Prédire la fraction de PFAS contenue dans les sédiments qui sera remobilisée en fonction i) de la granulométrie des sédiments, ii) de la taille des agrégats, iii) de leur teneur en matière organique et en éléments majeurs et mineurs, et iv) de la nature des PFAS initialement dans le sédiment. Ceci permettra d'adapter les stratégies de renaturation des cours d'eau, de dragage, de réinjection sédimentaire ou de lâchers de barrages, par exemple en précisant des zones où la resuspension de sédiments est à éviter ou proscrire.

Objectif opérationnel 2 : Proposer des facteurs correctifs du risque écotoxicologique des PFAS en fonction de la concentration et de la nature des colloïdes présents.

Généralement, de manière trop simpliste, seule la fraction dissoute d'un contaminant est considérée comme bioaccessible et biodisponible. Cette fraction est elle-même échantillonnée par filtration à des seuils de coupure inadaptés qui distribuent de manière non contrôlée les colloïdes entre filtrat et rétentat²²⁻²⁴. Ce projet permettra de :

- 2.a) Quantifier le rôle des colloïdes dans l'exposition du vivant, pour proposer des facteurs correctifs des concentrations de PFAS bioaccessibles obtenues par des protocoles d'échantillonnage conventionnels, et
- 2.b) Caractériser le risque de bioassimilation des PFAS en fonction de la teneur en colloïdes dans l'eau.

DESCRIPTIF DETAILLE :

Nous étudierons la vectorisation des PFAS par l'ingestion de colloïdes minéraux et de nourriture chez les gammarès (*Gammarus fossarum*). Ces crustacés sont sélectionnés car ce sont des espèces sentinelles indicatrices de la contamination chimique de l'eau et des organismes modèles fréquemment étudiés en laboratoire²². La Figure 3 illustre l'organisation des 3 tâches prévues.

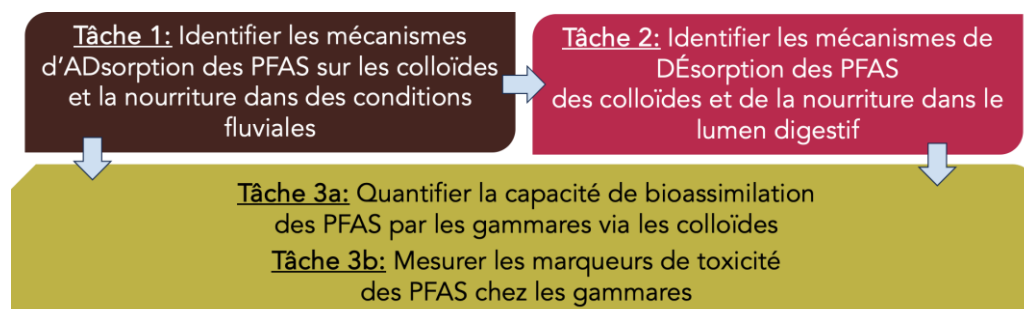


Figure 3: Organisation des tâches du projet Inter-P-FAS

Tâche 1 [Objectif 1]

Identifier les mécanismes d'adsorption des PFAS sur les colloïdes et la nourriture dans des conditions fluviales

Des expériences d'adsorption/désorption seront menées en laboratoire en conditions contrôlées pour quantifier la distribution des PFAS entre la fraction colloïdale de la MES et le dissous, et pour quantifier l'affinité des PFAS pour la nourriture des gammares. Ces expériences mélangeront des PFAS avec des colloïdes et/ou de la nourriture dans une solution ayant la même composition ionique que le Rhône. Nous utiliserons des PFAS standards qui présentent différentes capacités de désorption des sédiments, lors de leur remise en suspension, tel qu'observé via les travaux de l'OSR (e.g. PFBA, PFBS, PFOA, PFOS et PFUnDa, PFUnDS). Dans un premier temps, nous étudierons des colloïdes modèles aux formes et chimies connues (e.g.: argile, oxydes de fer, acides humiques, protéines) pour caractériser la nature des interactions (e.g.: électrostatique, hydrophobe ou complexation chimiques)^{23,24}. Différents types de nourriture (feuilles broyées et larves de chironomes) seront étudiés avec la même approche, et qui seront ensuite utilisés dans les tâches 2 et 3. Dans un deuxième temps, nous quantifierons l'adsorption et la désorption sur des colloïdes extraits du Rhône et finement caractérisés (taille, composition). Ces expériences d'adsorption/désorption permettront de caractériser la réversibilité de l'adsorption des PFAS aux colloïdes et nourritures dans les conditions fluviales.

Tâche 2 [Objectif 2]

Identifier les mécanismes de désorption des PFAS des colloïdes et de la nourriture dans le lumen digestif

La tâche 1 aura mis en évidence quels PFAS sont susceptibles d'être bioaccessibles via la phase dissoute, les colloïdes ou la nourriture. La tâche 2 étudiera la capacité de ces trois vecteurs à rendre les PFAS biodisponibles dans le lumen intestinal. Ces processus seront étudiés *in silico* dans des conditions représentatives du lumen digestif (pH 4 et forte teneur en enzymes). Les colloïdes provenant de la resuspension de sédiments sont principalement minéraux et donc indigestibles. De ce fait, ils auront un mécanisme de vectorisation des PFAS différents de la nourriture (Fig. 2B). La désorption des PFAS des colloïdes ou de la nourriture, ou leur libération via la digestion de la nourriture, seront recherchées. Nous prévoyons aussi que la baisse de pH protonera les PFAS carboxyliques, les rendant plus hydrophobes, ce qui peut favoriser leur captation dans le tractus digestif.

Tâche 3 [Objectif 2]

3a: Quantifier la capacité de bioaccumulation des PFAS par les gammares via les colloïdes

Les résultats de la tâche 1 nous permettront d'identifier les PFAS restant en spéciation dissoute et ceux associés aux colloïdes et à la nourriture. Les résultats de la tâche 2 caractériseront le changement de spéciation des PFAS dans le tractus digestif qui permet la bioassimilation. Pour quantifier dans quelle mesure ces processus affectent l'internalisation ou l'assimilation des PFAS, nous exposerons des gammares pendant deux semaines à une gamme de PFAS, en présence, ou en absence des colloïdes considérés. Après exposition, les concentrations de PFAS seront mesurées dans les gammares. Des facteurs de bioaccumulation et de bioconcentration seront mesurés et comparés aux facteurs déterminés sans prise en compte de la fraction colloïdale. L'effet de celle-ci pourra ainsi être mis en évidence, indépendamment de l'avancement des tâches 1 et 2.

3b : Mesurer les marqueurs de toxicité des PFAS chez les gammares

Au-delà d'un suivi de mortalité au cours des expositions de la T3a, différents biomarqueurs de toxicité (moléculaires et physiologiques) développés à RiverLy seront mesurés. Pour un PFAS présentant un fort taux de bioconcentration, une deuxième exposition sera mise en oeuvre pour évaluer la modulation de potentiels effets reprotoxiques par un gradient de concentrations colloïdales.

En conclusion, le projet Inter-P-FAS permettra de déterminer quelles propriétés du sédiment facilitent la remobilisation de PFAS bioaccessibles (Objectif 1). Ensuite nous déterminerons comment l'internalisation de PFAS adsorbés sur les interfaces modifie leur capacité à être bioassimilés (Objectif 2). Finalement, nous quantifierons pour la première fois comment la présence de colloïdes modifie les facteurs de bioaccumulation et bioconcentration des PFAS et leur toxicité (Objectif 2).

LIVRABLES :

- 1 papier scientifique à comité de lecture
- 1 guide pratique/dossier pour les acteurs de l'eau (Agence de l'Eau, gestionnaires des sédiments) présentant les capacités de remobilisation et de bioassimilation des PFAS en fonctions des propriétés des matières en suspension.
- Disséminations scientifiques :
 - Internes à l'INRAE Riverly, au CEREGE.
 - Dans nos réseaux l'OSR/RhôneEco, GT PFAS DREAL.

DUREE DU PROJET:

- Date de début : Janvier 2026
- Date de fin : Décembre 2027

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) Persson, L.; Carney Almroth, B. M.; Collins, C. D.; Cornell, S.; de Wit, C. A.; Diamond, M. L.; Fantke, P.; Hassellöv, M.; MacLeod, M.; Ryberg, M. W.; Sogaard Jørgensen, P.; Villarrubia-Gómez, P.; Wang, Z.; Hauschild, M. Z. Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environ. Sci. Technol.* **2022**, *56* (3), 1510–1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>.
- (2) Glüge, J.; Scheringer, M.; Cousins, I. T.; DeWitt, J. C.; Goldenman, G.; Herzke, D.; Lohmann, R.; Ng, C. A.; Trier, X.; Wang, Z. An Overview of the Uses of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). *Environ. Sci. Process. Impacts* **2020**, *22* (12), 2345–2373. <https://doi.org/10.1039/D0EM00291G>.
- (3) Wang, Z.; DeWitt, J. C.; Higgins, C. P.; Cousins, I. T. A Never-Ending Story of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)? *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51* (5), 2508–2518. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04806>.
- (4) Evich, M. G.; Davis, M. J. B.; McCord, J. P.; Acrey, B.; Awkerman, J. A.; Knappe, D. R. U.; Lindstrom, A. B.; Speth, T. F.; Tebes-Stevens, C.; Strynar, M. J.; Wang, Z.; Weber, E. J.; Henderson, W. M.; Washington, J. W. Per- and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment. *Science* **2022**, *375* (6580), eabg9065. <https://doi.org/10.1126/science.abg9065>.
- (5) Söregård, M.; Östblom, E.; Köhler, S.; Ahrens, L. Adsorption Behavior of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) to 44 Inorganic and Organic Sorbents and Use of Dyes as Proxies for PFAS Sorption. *J. Environ. Chem. Eng.* **2020**, *8* (3), 103744. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103744>.
- (6) Anderson, K. A.; Hillwalker, W. E. Bioavailability. In *Encyclopedia of Ecology*; Jørgensen, S. E., Fath, B. D., Eds.; Academic Press: Oxford, 2008; pp 348–357. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00375-X>.
- (7) Wang, Z.; Buser, A. M.; Cousins, I. T.; Demattio, S.; Drost, W.; Johansson, O.; Ohno, K.; Patlewicz, G.; Richard, A. M.; Walker, G. W.; White, G. S.; Leinälä, E. A New OECD Definition for Per- and Polyfluoroalkyl Substances. *Environ. Sci. Technol.* **2021**, *55* (23), 15575–15578. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c06896>.
- (8) Council of the EU. Surface Water and Groundwater: Council Agrees Negotiating Mandate to Update List of Pollutants. **2024**.
- (9) Council of the European Union. *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Amending Directive 2000/60/EC Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, Directive 2006/118/EC on the Protection of Groundwater against Pollution and Deterioration and Directive 2008/105/EC on Environmental Quality Standards in the Field of Water Policy*; Outcome of Proceedings 2022/0344(COD); Council of the European Union: Brussels, 2024; p 120. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-11383-2024-INIT/en/pdf/>.
- (10) Teymorian, T.; Delon, L.; Munoz, G.; Sauvé, S. Target and Suspect Screening Reveal PFAS Exceeding European Union Guideline in Various Water Sources South of Lyon, France. *Environ. Sci. Technol. Lett.* **2025**, *acs.estlett.4c01126*. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.4c01126>.
- (11) Mourier, B.; Labadie, P.; Desmet, M.; Grosbois, C.; Raux, J.; Debret, M.; Copard, Y.; Pardon, P.; Budzinski, H.; Babut, M. Combined Spatial and Retrospective Analysis of Fluoroalkyl Chemicals in Fluvial Sediments Reveal Changes in Levels and Patterns over the Last 40 Years. *Environ. Pollut.* **2019**, *253*, 1117–1125. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.079>.
- (12) Babut, M.; Labadie, P.; Simonnet-Laprade, C.; Munoz, G.; Roger, M.-C.; Ferrari, B. J. D.; Budzinski, H.; Sivade, E. Per- and Poly-Fluoroalkyl Compounds in Freshwater Fish from the Rhône River: Influence of Fish Size, Diet, Prey Contamination and Biotransformation. *Sci. Total Environ.* **2017**, *605–606*, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.111>.

- (13) Labadie, P.; Chevreuil, M. Partitioning Behaviour of Perfluorinated Alkyl Contaminants between Water, Sediment and Fish in the Orge River (Nearby Paris, France). *Environ. Pollut.* **2011**, *159* (2), 391–397. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.039>.
- (14) OECD. *Test No. 305: Bioaccumulation in Fish: Aqueous and Dietary Exposure*; 2012. <https://doi.org/10.1787/9789264185296-en>.
- (15) Lead, J. R.; Wilkinson, K. J. Environmental Colloids and Particles: Current Knowledge and Future Developments. In *Environmental Colloids and Particles*; Wilkinson, K. J., Lead, J. R., Eds.; John Wiley & Sons, Ltd: Chichester, UK, 2007; pp 1–15. <https://doi.org/10.1002/9780470024539.ch1>.
- (16) Gestin, O.; Lopes, C.; Delorme, N.; Garnero, L.; Geffard, O.; Lacoue-Labarthe, T. Organ-Specific Accumulation of Cadmium and Zinc in Gammarus Fossarum Exposed to Environmentally Relevant Metal Concentrations. *Environ. Pollut.* **2022**, *308*, 119625. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119625>.
- (17) Liu, Y.; Zhang, Y.; Li, J.; Wu, N.; Li, W.; Niu, Z. Distribution, Partitioning Behavior and Positive Matrix Factorization-Based Source Analysis of Legacy and Emerging Polyfluorinated Alkyl Substances in the Dissolved Phase, Surface Sediment and Suspended Particulate Matter around Coastal Areas of Bohai Bay, China. *Environ. Pollut.* **2019**, *246*, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.113>.
- (18) Nguyen, T. V.; Reinhard, M.; Chen, H.; Gin, K. Y.-H. Fate and Transport of Perfluoro- and Polyfluoroalkyl Substances Including Perfluorooctane Sulfonamides in a Managed Urban Water Body. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2016**, *23* (11), 10382–10392. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6788-9>.
- (19) Ahrens, L.; Taniyasu, S.; Yeung, L. W. Y.; Yamashita, N.; Lam, P. K. S.; Ebinghaus, R. Distribution of Polyfluoroalkyl Compounds in Water, Suspended Particulate Matter and Sediment from Tokyo Bay, Japan. *Chemosphere* **2010**, *79* (3), 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.01.045>.
- (20) Vignati, D. A. L.; Loizeau, J.-L.; Rossé, P.; Dominik, J. Comparative Performance of Membrane Filters vs. High-Surface Area Filtration Cartridges for the Determination of Element Concentrations in Freshwater Systems. *Water Res.* **2006**, *40* (5), 917–924. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.024>.
- (21) Horowitz, A. J. A Review of Selected Inorganic Surface Water Quality-Monitoring Practices: Are We Really Measuring What We Think, and If So, Are We Doing It Right? *Environ. Sci. Technol.* **2013**, *47* (6), 2471–2486. <https://doi.org/10.1021/es304058q>.
- (22) Chaumot, A.; Geffard, O.; Armengaud, J.; Maltby, L. Chapter 11 - Gammarids as Reference Species for Freshwater Monitoring. In *Aquatic Ecotoxicology*; Amiard-Triquet, C., Amiard, J.-C., Mouneyrac, C., Eds.; Academic Press, 2015; pp 253–280. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800949-9.00011-5>.
- (23) Walch, H.; Praetorius, A.; von der Kammer, F.; Hofmann, T. *Generation of Reproducible Model Freshwater Particulate Matter Analogues to Study the Interaction with Particulate Contaminants*; preprint; Environmental Chemistry, 2022. <https://doi.org/10.31223/X5ZW7Q>.
- (24) Slomberg, D. L.; Ollivier, P.; Radakovitch, O.; Baran, N.; Sani-Kast, N.; Miche, H.; Borschneck, D.; Grauby, O.; Bruchet, A.; Scheringer, M.; Labille, J. Characterisation of Suspended Particulate Matter in the Rhone River: Insights into Analogue Selection. *Environ. Chem.* **2016**, *13* (5), 804. <https://doi.org/10.1071/EN15065>.
- (25) Gestin, O.; Lopes, C.; Delorme, N.; Garnero, L.; Geffard, O.; Lacoue-Labarthe, T. Assimilation Efficiencies and Elimination Rates of Silver, Cadmium and Zinc Accumulated by Trophic Pathway in Gammarus Fossarum. *Peer Community J.* **2024**, *4*, e51. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.426>.