

## Fiche projet Accord Cadre ZABR – Agence de l'eau

### 2023-n°95-DISTEEL- Distribution spatio-temporelle des microdéchets et polluants d'origine métallurgique en vallée du Rhône et évaluation de leurs effets potentiels sur la biodiversité

**INTITULE DU PROJET :** DISTEEL = Distribution spatio-temporelle des microdéchets et polluants d'origine métallurgique en vallée du Rhône et évaluation de leurs effets potentiels sur la faune et les plantes

**Responsable scientifique du projet:**

- Nom : Dendievel
- Prénom : André-Marie
- Organisme du contact : ENTPE, UMR 5023 LEHNA-IAPHY
- Fonction : Chargé de Recherche
- Courriel : [andre.marie.dendievel@entpe.fr](mailto:andre.marie.dendievel@entpe.fr)
- Téléphone : 06-33-29-58-99

**Référent (s) administratif(s) :**

- Nom : DUPLAT
- Prénom : Denis
- Organisme du contact : CNRS - SPV
- Fonction : Responsable du service Partenariat et Valorisation
- Courriel : [dr07.spv@cnrs.fr](mailto:dr07.spv@cnrs.fr)
- Téléphone : 0472445641

**EQUIPES DE RECHERCHES ZABR CONCERNÉES et CONTACT SCIENTIFIQUE DE L'EQUIPE**

Univ Lyon, UCBL, ENTPE, CNRS, UMR 5023

Dendievel André-Marie (coord.), Jean-Philippe Bedell, Brice Mourier, Frédéric Hervant  
Contact : [andre.marie.dendievel@entpe.fr](mailto:andre.marie.dendievel@entpe.fr)

Mines Saint-Étienne (MSE), CNRS, UMR 5600 EVS

Paran Frédéric, Steve Peuble  
Contact : [paran@emse.fr](mailto:paran@emse.fr)

**AUTRES PARTENAIRES** (Préciser leur degré d'implication et leur accord)

- Recherche : Stéphane Frioux, UMR LARHRA, Univ. Lyon 2 ; Responsable du parcours de Master d'Histoire Moderne et Contemporaine. Collaboration pour l'encadrement d'un Master 2 sur l'histoire et la cartographie des activités métallurgiques et des pollutions associées dans la vallée du Rhône.

**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**

- Le projet Disteel vise à évaluer les risques liés à l'exposition et la remobilisation de microdéchets métalliques pour les écosystèmes aquatiques le long du corridor rhodanien. Ce projet vise à diagnostiquer l'impact des contaminations héritées en s'intéressant aux microdéchets solides d'échelle millimétrique, ce qui est complémentaire d'autres approches menées par l'OSR (Observatoire des Sédiments du Rhône) par exemple (flux de polluants métalliques en suspension). Nous cherchons d'abord à situer les sources de pollution en travaillant à l'échelle régionale sur des analyses sédimentaires et rejets. Puis, nous chercherons à quantifier les effets potentiels néfastes de mélanges de microdéchets accumulés dans des sédiments – et des micropolluants métalliques qui en sont issus – sur des organismes aquatiques. Ces expérimentations seront menées dans des conditions réalistes, c'est-à-dire en tenant compte des effets « cocktail » et en travaillant à des concentrations environnementales. Ce travail est essentiel pour évaluer le danger potentiel de ces sédiments dans l'éventualité d'une remobilisation des polluants fixés. Le projet Disteel s'appuie sur les premiers résultats du projet RhônePollArch (OHM Vallée du Rhône, 2022-2024) qui a démontré la présence significative de microdéchets d'origine métallurgique (scories) dans les sédiments de plusieurs annexes fluviales du corridor Gier-Rhône, associée à des concentrations en métaux toxiques actuellement supérieures aux seuils reconnus (ex : chrome, nickel) dans la fraction fine des sédiments (inférieure à 2 mm). Grâce à une bourse de Master du GIS EEDEMS (Groupement d'Intérêt Scientifique pour l'Evaluation Environnementale des Déchets, Effluents, Matériaux, Sédiments et sols pollués, ce travail précise la contribution de certains corridors industriels concernant la pollution des zones humides.
- S'appuyant ainsi sur les premiers résultats de RhônePollArch et sur les mesures du réseau OSR, le projet Disteel adoptera une approche amont-aval originale autour de trois axes de recherches spatio-temporels sur les microdéchets : (1) caractériser les stocks de contaminants hérités (microdéchets métalliques et métaux associés) sur différentes zones humides le long du Rhône pour retracer leurs origines à l'aide de prélèvements de sédiments dans les zones humides (carottage et surface) et d'analyses physico-chimiques ciblées, (2) évaluer le risque de pollution associé aux mélanges typiques de microdéchets et de micropolluants métalliques accumulés dans le milieu aquatique depuis les années 1970 jusqu'à l'actuel, dans le but d'obtenir une estimation du risque de remobilisation, et (3) évaluer les atteintes de ces mélanges de contaminants sur des organismes modèles exposés au sédiment, et correspondant à des consommateurs primaires et secondaires à la base de la chaîne trophique (crustacés et ostracodes), ainsi que sur des végétaux caractéristiques des zones humides fluviales (roseaux et cornifle).
- Plus concrètement, des prélèvements de sédiments (surface et carottages) seront effectués à l'exutoire de trois bassins-versants à enjeux définis par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, correspondant aussi à des sites-ateliers ZABR : basse vallée de l'Arve (aval SIPIBEL), Rhône Médian (Gier et Saône notamment) et piedmonts des rivières cévenoles. Ces secteurs sont connus pour la présence de pôles d'industries métallurgiques (décolletage – Arve, aciéries – Gier), d'extraction minière (Ardèche) et de rejets d'effluents hospitaliers (SIPIBEL – Arve). Le contenu des sédiments sera analysé par des techniques physico-géochimiques ciblées (granulométrie laser, taux de matière organique, MEB-DRX pour les scories, AAS pour les sédiments). Cette caractérisation permettra de définir les conditions d'exposition des organismes à tester dans des mésocosmes de laboratoire pour évaluer le risque de pollution et les impacts des mélanges de polluants. Ces essais ont pour objectif de tester les effets de mélanges réalistes de microdéchets et de micropolluants métalliques sur des organismes modèles (*Gammarus fossarum* ou *Asellus aquaticus* ; *Heterocypris incongruens*) et sur des végétaux de zone humide (*Phragmites australis* ; *Ceratophyllum demersum*) à des concentrations typiques des sédiments hérités (potentiellement remobilisables) et actuels dans la vallée du Rhône. Différents marqueurs écophysiologiques (consommation d'oxygène, teneur en triglycérides, stress oxydant pour la faune) et des tests de germination (pour les plantes) seront mis en œuvre pour évaluer les effets des mélanges de polluants hérités à des doses environnementales réalistes. Enfin, ces résultats seront synthétisés sous la forme d'un livret permettant de diffuser l'information aux gestionnaires et de préconiser des tests à réaliser dans les zones d'étude concernées par le projet.

**ENCART 2023-95-Disteel-EQUIPE 1 UMR 5023 LEHNA ENTPE** (Responsable Dendievel André-Marie) (500 caractères espaces inclus)

- Tache de l'équipe dans le projet :  
Organisation et gestion des différents axes du projet, en particulier la définition des sites clés à l'exutoire des bassins versants à enjeux, les missions de terrain, les études de caractérisation physico-chimiques des sédiments et les analyses spatio-temporelles (AM Dendievel, B. Mourier), l'évaluation du risque théorique d'effet cocktail et leur atteinte sur la faune et la flore aquatique à l'interface eau/sédiment (JP Bedell, F. Hervant).

Un stage de Master 2 sera dédié aux analyses historiques, et un contrat de 6 mois d'assistant-ingénieur sera consacré aux analyses en mésocosmes.

**ENCART 2023-95-Disteel-EQUIPE 2 UMR 5600 EVS EMSE** (Responsables Frédéric Paran & Steve Peuble) (500 caractères espaces inclus)

- Tache de l'équipe dans le projet :  
Forte implication dans l'axe 1 « retracer l'origine et les flux de polluants hérités », notamment pour caractériser la géochimie des microdéchets métallurgiques (scories). Un stage de Master sera dédié aux analyses MEB et à leur interprétation.

**CONTEXTE SCIENTIFIQUE** (3 000 caractères espaces compris)

• **Contexte général :**

La contamination de l'environnement par les éléments traces métalliques est aujourd'hui considérée comme un héritage issu du développement industriel et économique qui a eu lieu surtout durant les Trente Glorieuses (1945-1975) en France et, plus largement, en Europe (Callender, 2003). Cette contamination a tendance à être perçue comme révolue, alors qu'elle est pourtant omniprésente dans les sols et sédiments de nombreuses régions, notamment le long du Rhône en raison des activités agricoles, minières et industrielles qui s'y sont développées (Halitim-Dubois, 2019). Les données de suivi acquises au cours des dernières décennies montrent que les teneurs en métaux connus pour leur toxicité, comme le chrome (Cr) ou le nickel (Ni), sont encore très fortes (au-delà des seuils d'écotoxicité) dans plusieurs bassins versants à enjeux pour l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (RMC) et la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR). C'est le cas de la vallée l'Arve (affluent majeur du Haut Rhône), de celle du Gier et des piedmonts ardéchois (Rhône médian), qui sont des centres métallurgiques et/ou miniers historiques majeurs. L'importance de la pollution multi-métaux et des flux de polluants du Rhône est reconnue à l'échelle internationale comme l'une des principales sources de la pollution de la Méditerranée (Dendievel et al., 2020). A ces enjeux s'ajoutent une ré-augmentation des concentrations en métaux observée depuis dix ans et amplifiée par les flux de matière en suspension et la remobilisation de sédiments hérités et contaminés (Delile et al., 2022).

Pourtant, notre connaissance est encore très limitée concernant (1) l'origine, la dispersion et les stocks de polluants métalliques, en particulier celle des microdéchets métallurgiques solides (scories, laitiers, etc.) qui sont omniprésents dans le bassin-versant du Rhône, souvent associés à de fortes concentrations en métaux toxiques, et (2) les effets potentiels des mélanges de microdéchets et polluants sur les écosystèmes fluviaux (faune et flore). A l'échelle du bassin-versant du Rhône, les recherches menées par l'OSR sur les flux de polluants transportés en suspension ont permis de bien identifier certains bassins industriels à enjeux comme l'Arve, le Gier et l'Isère (Poulier et al., 2019 ; Delile et al., 2022). Mais, à l'heure actuelle, il demeure difficile de remonter aux sources et d'estimer la part des microdéchets solides, souvent transportés pendant les crues. A l'échelle internationale, les recherches menées sur les microdéchets (scories et microplastiques par ex.) sont actuellement en plein essor, car les sédiments fluviaux constituent des zones de stockage et de relargage à long terme de ces contaminants (Drummond et al., 2022; Proctor, 2014; Vdović et al., 2006). Evaluer la toxicité potentielle de ces sédiments déposés dans les annexes fluviales est essentiel, car ils servent de support au développement de la flore (plantes émergentes) et la faune aquatique (invertébrés benthiques). Ces organismes sont ainsi largement exposés à ces particules par contact prolongé (téguments, branchies...) et/ou par ingestion (Proctor et al., 2002; Richards et al., 2022; Wazne et al., 2023). Plusieurs études récentes à l'échelle internationale ont ainsi démontré des impacts notables sur la faune aquatique (balance oxydatrice, réponse immunitaire, mortalité, taux de cholestérol, ...) causés par la présence combinée de métaux et de microdéchets, notamment les microplastiques, mais les mécanismes sont encore mal connus (Wen et al., 2018; Zhu et al., 2020)

- **Contexte ZABR :**

- **Thématique ZABR :** Flux polluants, écotoxicologie, écosystèmes
- **Site Atelier ou Observatoire ZABR :**
  - OHM vallée du Rhône (en amont et aval de Lyon, moyenne vallée du Rhône).
  - SIPIBEL (en aval pour caractériser l'influence de la vallée de l'Arve)
- **Besoin de connaissance Agence de l'eau :**
  - 3.1 Préciser l'influence des pollutions historiques à la contamination de l'eau, des poissons et les risques associés à leur remobilisation

## **FINALITE ET ATTENDUS OPERATIONNELS** (3 000 caractères espaces compris)

- **Objectifs scientifiques**

Ce projet vise à répondre à deux objectifs principaux :

- (1) Evaluer la distribution spatiale et temporelle de la pollution/contamination particulaire héritée (scories et métaux associés) pour mieux évaluer les secteurs-source d'amont en aval du Rhône, en particulier au niveau des bassins-versants industriels à enjeux.
- (2) Comprendre l'effet des différents polluants selon des mélanges réalistes et à des « doses environnementales », c'est-à-dire à des concentrations caractéristiques des sites étudiés à différentes périodes – notamment pour prendre en compte le risque de remobilisation de stocks anciens – sur la faune aquatique (gammarides, aselles, ostracodes) vivant à l'interface eau/sédiment et la flore colonisant les zones humides fluviales (roseaux et cornifle).

- **Attendus opérationnels**

- Répondre à ces objectifs contribuera à améliorer notre compréhension des sources et stocks de contaminants particulaires et à évaluer leurs impacts combinés sur la faune et la flore (organismes sentinelles notamment) des écosystèmes humides en lien étroit avec la politique et les besoins de connaissances de l'Agence de l'Eau RMC et de la Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR).
- Les principaux attendus opérationnels seront ainsi :
  - (1) Le développement d'une méthode de traçage de l'origine des contaminations particulières métalliques. Nous pourrons préciser l'influence de la pollution historique vis-à-vis de la pollution actuelle en comparant les résultats analytiques de carottes datées avec les données récentes de l'Agence de l'Eau RMC (historique des rejets) et de [Naïades](#), afin de proposer des pistes d'action et/ou de gestion pour agir sur les sources de rejets contemporains.
  - (2) La définition d'une méthodologie adaptée à l'évaluation des risques de mélange (« cocktail ») dans les sédiments de microdéchets et polluants métalliques sur la faune et la flore aquatique (pertinence du choix des organismes et des biomarqueurs, conception et mise en œuvre des mésocosmes).
- Les travaux réalisés pourront être valorisés à l'aide de publications techniques à l'échelle nationale (par exemple, revue Déchets, Sciences et Techniques DST) et internationale comme Applied Geochemistry (IF = 3.8), Ecotoxicology and Environmental Safety (IF = 7.1), voire Environmental Pollution (IF = 9.8). Dans le cadre de la Science ouverte, nous privilégierons la publication d'articles et données en libre accès. Concernant les communications internationales, nous viserons le colloque de géochimie « Goldschmidt Conference » en 2025 et l'EGU (à Vienne chaque année).

## **DESCRIPTIF DETAILLE (4000 caractères espaces compris)**

- **Méthodologie**

Les trois axes de recherche du projet correspondront à trois volets méthodologiques distincts :

- (1) **L'axe 1** visera à « retracer l'origine et les flux de polluants/contaminants hérités (scories et métaux) ». Pour cela, il s'appuiera sur des prélèvements de sédiments (carottages UWITEC et échantillons de surface) dans des zones humides situées à l'exutoire de quatre bassins-versants industriels et miniers à enjeux pour l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse et dans certaines-sites-ateliers ZABR : basse vallée de l'Arve (aval SIPIBEL), Rhône Médian (vallées de la Saône et du Gier) et piedmonts des rivières cévenoles. Le contenu des sédiments sera analysé par le biais de techniques physico-géochimiques ciblées : granulométrie laser par identifier la taille des particules, taux de matière

organique, MEB-EDX pour analyser la texture des scories et analyser leur composition chimique élémentaire, spectrométrie d'absorption atomique (AAS, disponible à l'ENTPE) après extraction à l'Aqua Regia pour doser les métaux dans les sédiments. Les valeurs ainsi obtenues seront comparées avec les données de la littérature (Dendievel et al., 2020).

- (2) **L'axe 2** visera à « évaluer le risque théorique associé aux mélanges de microdéchets et de micropolluants métalliques ». Il est destiné à exploiter les résultats de l'axe 1 et permettra ainsi de calculer des indices de risque écotoxicologique cumulé, à partir des valeurs seuils de l'INERIS et de la littérature. Dans cet axe, il s'agira aussi de comparer les données hydro-sédimentaires du projet avec celles du Ministère de la Transition Ecologique (sites et sols pollués, naiades, historique de rejets) pour modéliser la dispersion de la pollution héritée et les flux annuels/spécifiques d'amont en aval du Rhône.
- (3) **L'axe 3** visera à « quantifier les effets de ces cocktails sur des organismes à la fois reconnus comme modèles et sentinelles. Il utilisera les sédiments des sites prélevés durant l'axe 1 pour mettre en place des tests en mésocosmes (conditions contrôlées : milieu aquatique calme). Le choix des espèces indicatrices sera adapté aux zones humides de la vallée du Rhône avec des plantes (producteurs primaires) comme le roseau (*Phragmites australis*) et le cornifle (*Ceratophyllum demersum*) et des consommateurs situés à la base de la chaîne trophique (uniquement des crustacés : les Amphipodes *Gammarus fossarum* ou *Asellus aquaticus*, et l'*Ostracode Heterocypris incongruens*). Ces organismes seront exposés à des sédiments contenant des mélanges connus de microdéchets (scories et éventuellement microplastiques) et de micropolluants métalliques correspondant à des « concentrations environnementales », c'est-à-dire à des gammes de concentrations caractéristiques des sédiments hérités versus sédiments actuels de la vallée du Rhône. Ce design expérimental vise à mieux estimer les effets sur le vivant en cas de remobilisation potentielle liée à des crues, à l'érosion ou à des travaux de restauration. La réponse des organismes sera évaluée par le biais de différents marqueurs d'impact écophysiologique (activité, consommation d'oxygène, teneur en réserves énergétiques, modification de la balance oxydative chez les modèles animaux) et de tests de germination et de croissance des racines (pour les plantes, standard ISO 18763:2020). Nous ne prévoyons pas de broyer les organismes pour doser les polluants bioaccumulés, car il faudrait une masse trop importante de tissus par rapport aux organismes testés. La fraction biodisponible pourra être évaluée sur des sondes DGT® plongées dans les sédiments simulant la diffusion des polluants sur une membrane en résine, à l'aide d'exactions chimiques simples. Les résultats obtenus en microcosmes seront comparés avec des mésocosmes « contrôles » contenant les sédiments de surface les moins chargés en polluants.

#### **LIVRABLES :**

- Un livrable (livret) sera produit en fin de projet à partir des résultats méthodologiques pour diffuser l'information aux gestionnaires et préconiser des tests à réaliser dans les bassins-versants à enjeux.

#### **DUREE DU PROJET:**

- Date de début : 01/10/2024
- Date de fin : 01/10/2027

#### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Callender, E., 2003. 9.03 – Heavy metals in the environment—historical trends, in: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), Treatise on Geochemistry. Pergamon, Oxford, pp. 67-105. DOI: [10.1016/B0-08-043751-6/09161-1](https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/09161-1)
- Delile, H., Dendievel, A.-M., Yari, A., et al., 2022. Legacy-micropollutant contamination levels in major river basins based on findings from the Rhône Sediment Observatory. Hydrological Processes 36, e14511. DOI: [10.1002/hyp.14511](https://doi.org/10.1002/hyp.14511)
- Dendievel, A.-M., Mourier, B., Dabrin, et al., 2020. Metal pollution trajectories and mixture risk assessed by combining dated cores and subsurface sediments along a major European river (Rhône River, France). Environment International 144, 106032. DOI: [10.1016/j.envint.2020.106032](https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106032)
- Drummond, J.D., Schneidewind, U., Li, A., et al., 2022. Microplastic accumulation in riverbed sediment via hyporheic exchange from headwaters to mainstems. Science Advances 8, eabi9305. DOI: [10.1126/sciadv.abi9305](https://doi.org/10.1126/sciadv.abi9305)
- Halitim-Dubois, N., 2019. Industries en Héritage. Auvergne-Rhône-Alpes. Lieux Dits Editions, Lyon.
- Poulier, G., Launay, M., Le Bescond, C., et al., 2019. Combining flux monitoring and data reconstruction to establish annual budgets of suspended particulate matter, mercury and PCB in the Rhône River from Lake Geneva to the Mediterranean Sea. Science of the Total Environment 658 : 457-473. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.12.075](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.075)
- Proctor, D., 2014. Les produits laitiers, c'est bon pour la santé ! Revue Laitiers sidérurgiques 104, 8–25.
- Proctor, D.M., Shay, E.C., Fehling, K.A., Finley, B.L., 2002. Assessment of Human Health and Ecological Risks Posed by the Uses of Steel-Industry Slags in the Environment. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 8, 681–711. DOI: [10.1080/20028091057150](https://doi.org/10.1080/20028091057150)
- Richards, L.A., Fox, B.G., Bowes, M.J., et al., 2022. A systematic approach to understand hydrogeochemical dynamics in large river systems: Development and application to the River Ganges (Ganga) in India. Water Research 211, 118054. DOI: [10.1016/j.watres.2022.118054](https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118054)

- Vdović, N., Billon, G., Gabelle, C., Potdevin, J.-L., 2006. Remobilization of metals from slag and polluted sediments (Case Study: The canal of the Deûle River, N. France). Env. Poll. 141, 359–369. DOI: [10.1016/j.envpol.2005.08.034](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.08.034)
- Wazne, M., Mermilliod-Blondin, F., Vallier, M., et al., 2023. Microplastics in Freshwater Sediments Impact the Role of a Main Bioturbator in Ecosystem Functioning. Environ. Sci. Technol. 57, 3042–3052. DOI: [10.1021/acs.est.2c05662](https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05662)
- Wen, B., Jin, S.-R., Chen, Z.-Z., et al., 2018. Single and combined effects of microplastics and cadmium on the cadmium accumulation, antioxidant defence and innate immunity of the discus fish (*Symphysodon aequifasciatus*). Environmental Pollution 243, 462–471. DOI: [10.1016/j.envpol.2018.09.029](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.029)
- Zhu, X., Qiang, L., Shi, H., Cheng, J., 2020. Bioaccumulation of microplastics and its in vivo interactions with trace metals in edible oysters. Marine Pollution Bulletin 154, 111079. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2020.111079](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111079)