

Analyse des tendances de contaminations historiques multi-métalliques dans les archives sédimentaires de la Saône (années 1940 - actuel)

Auteurs : ECORSE Augustine¹, DHIVERT Elie¹, DENDIEVEL André-Marie¹, COYNEL Alexandra², PEUBLE Steve³, PARAN Frédéric³, WINIARSKI Thierry¹, MOURIER Brice¹, BEDELL Jean-Philippe¹

Affiliations : 1) ENTPE, UCBL, CNRS, UMR 5023 LEHNA, 2) Univ. Bordeaux, CNRS, UMR 5805 EPOC, 3) Mines Saint-Etienne, IMT, CNRS, UMR 5600 EVS

Mots-clés : Carottes sédimentaires, Contaminants métalliques, Lônes, Tendances multi-décennales, Transport hydrosédimentaire.

Pour comprendre l'évolution des flux de contaminants métalliques dans la Saône vers Lyon au cours du temps, deux carottes sédimentaires ont été étudiées. Elles témoignent de périodes d'enregistrement couvrant plus de 80 ans avec une sédimentation relativement continue et homogène. Les modèles d'âge ont été établis à partir des profils en radionucléides (¹³⁷Cs et ²¹⁰Pb), permettant de définir des taux de sédimentation (1 à 2 cm.an⁻¹) et d'étudier les tendances des contaminants à haute résolution temporelle. Ces analyses révèlent des phases de contamination distinctes en lien avec l'histoire industrielle du bassin. D'après la chronologie couverte par ces archives sédimentaires, des contaminations en cuivre, plomb et cadmium sont identifiées dès les années 1950, avec des maxima jusque dans les années 1970. Plus tardivement, alors que les niveaux de contamination des précédents métaux amorcent une amélioration, l'argent atteint des concentrations maximales, en deux temps, d'abord entre les années 1970-1980, puis dans les années 1990. Dans le contexte industriel du bassin, cette contamination en argent peut être reliée aux industries de la photographie. Ces résultats montrent que les bras secondaires de la Saône peuvent être affectés par des contaminations multi-métalliques accumulées depuis les années 1950. Ils jouent ainsi un rôle d'archives des pollutions, permettant de reconstituer les impacts des activités anthropiques sur les écosystèmes fluviaux. De surcroît, ce stock de contaminants métalliques nécessite une gestion intégrée dans le cadre de la restauration des bras secondaires.

Keywords: Sedimentary cores, Metal contaminants, Secondary channels, Multi-decadal trend, Hydrosedimentary transport.

In order to understand the evolution of metallic contaminant flux in the Saone River towards Lyon over time, two sediment cores were studied. These cores provide records spanning over 80 years with relatively continuous and homogeneous deposition. Age models were established based on radionuclide profiles (¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb), defining high deposition rates (1–2 cm. yr⁻¹) that enable to study contaminant trends at high temporal resolution. These analyses reveal distinct contamination phases linked to the industrial history of the basin. Based on the chronology covered by these sediment archives, copper, lead, and cadmium contamination can be identified as early as the 1950s, with peaks extending during the 1970s. Later, while contamination levels of these metals, silver reaches maximal concentrations at two periods, in the 1970s and 1980s, and then during the 1990s. Within the industrial context of the basin, silver contamination can be associated with the photographic industry. These findings show that secondary channels of the Saone River have been affected by multi-metallic contamination accumulated since the 1950s. They act as pollution archives, enabling the reconstruction of the consequences of anthropogenic activities on river ecosystems. Moreover, this stock of metallic contaminants requires integrated management within the framework of secondary channel restoration efforts.

La Saône constitue un corridor historique fondamental pour l'industrie de l'Est de la France, reliant le Rhin à la Mer Méditerranée. Cet axe de transport stratégique a joué un rôle déterminant dans le développement industriel de la région. Malgré la présence de sources industrielles, de zones urbaines et de zones agricoles conséquentes, les recherches sur les contaminations historiques et leurs tendances dans l'espace et le temps demeurent rares dans le corridor de la Saône. Dans ce contexte historique et géographique, l'exploration de carottes sédimentaires pourrait fournir des connaissances inédites contribuant à répondre aux questionnements des scientifiques et des gestionnaires. Cette étude traite de l'analyse de deux carottes sédimentaires prélevées dans deux endroits stratégiques de la Saône, en amont de Lyon, permettant de retracer 80 ans d'histoire des contaminants à l'échelle du bassin versant.

I. Caractérisation des apports sédimentaires des bras secondaires de la Saône

Les bras secondaires de la Saône, ou lônes, jouent un rôle écologique majeur en assurant des fonctions essentielles comme l'épuration des eaux et la préservation de la biodiversité aquatique. Néanmoins, les modifications des écoulements, notamment en lien avec les aménagements du cours d'eau, ont engendré un processus d'accumulation de sédiments pouvant aboutir, à terme, à leur comblement. Il s'agit d'un enjeu écologique majeur pour la conservation de ces écosystèmes remarquables.

Néanmoins, ces accumulations sédimentaires peuvent également être des ressources précieuses et permettre de retracer l'histoire des altérations hydrosédimentaires et géochimiques des écosystèmes riverains d'amont en aval du cours d'eau. C'est dans cette perspective que les lônes d'Uchizy (UCH, en aval de Châlon-sur-Saône, 125 km en amont de Lyon) et de Port-Bernalin (POR, 27 km en amont de Lyon) ont été étudiées. Ces sites ont enregistré une histoire sédimentaire pluri-décennale le long de la Saône.

Ces annexes ont été déconnectées du lit principal à la suite d'aménagements, notamment la mise en place de clayonnages, puis de perrés et d'un chemin de halage entre 1842 et 1846. Des travaux d'aménagements dans les années 1970 ont accentué l'envasement conduisant au comblement sédimentaire progressif qui nécessite aujourd'hui des actions de restauration. En parallèle, l'abaissement de la ligne d'eau dans les années 1970-1980 a été observé suite aux travaux de mise en grand gabarit fluvial.

En 2022, des carottages ont été réalisés, révélant des séquences sédimentaires de 139 cm à UCH et de 126 cm à POR, particulièrement pertinentes pour étudier l'évolution de ces milieux en lien avec les actions de restauration passées et à venir.

II. Analyse sédimentologique des carottes sédimentaires et modèles d'âge

Afin de caractériser les dépôts sédimentaires au cours du temps, différentes analyses sédimentologiques détaillées des carottes sédimentaires ont été réalisées :

- **Susceptibilité magnétique** (résolution 1 cm)
- **Granulométrie** (résolution 1 cm), dont les données ont été étudiées par une analyse statistique multimodale (méthode EMMA) pour identifier les tendances évolutives des dépôts
- **Perte au feu** (résolution 2 cm)

Ces données ont été repositionnées dans le temps à l'aide de modèles d'âge basés sur les profils en radionucléides (¹³⁷Cs et ²¹⁰Pb). Ce protocole, développé pour l'analyse des carottes sédimentaires du Rhône, a démontré son intérêt pour la reconstitution des tendances des contaminants dans un contexte de sédimentation similaire à celui des lônes de la Saône.

La continuité de la sédimentation peut être évaluée par concordance des profils en ²¹⁰Pb avec des données de susceptibilité magnétique et de la granulométrie. Les taux de sédimentation, évalués à 1,2 cm.an⁻¹ à UCH et 1,7 cm.an⁻¹ à POR, permettent d'analyser les tendances des contaminations métalliques avec une résolution temporelle élevée (1 à 2 années par couche analysées).

La corrélation entre ces données sédimentologiques et les datations a permis de révéler l'impact d'événements hydrologiques majeurs (crues) et des activités anthropiques (rejets et aménagements). Les flux de contaminants métalliques déposés dans les lônes pouvaient être importants et ces événements ont pu être responsables de la remobilisation de sédiments potentiellement contaminés. De plus, la compartimentation de ces bras secondaires, consécutive aux aménagements est davantage responsable de l'eutrophisation et contribue à réduire leur rôle d'atténuation des crues.

III. Analyse des contaminants métalliques et liens avec les activités industrielles passées

Les analyses des éléments traces métalliques (ETM), réalisées par fluorescence X (XRF) et spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif triple quadripole (TQ-ICP-MS, iCAP Thermo®) ont mis en lumière des tendances distinctes entre les éléments.

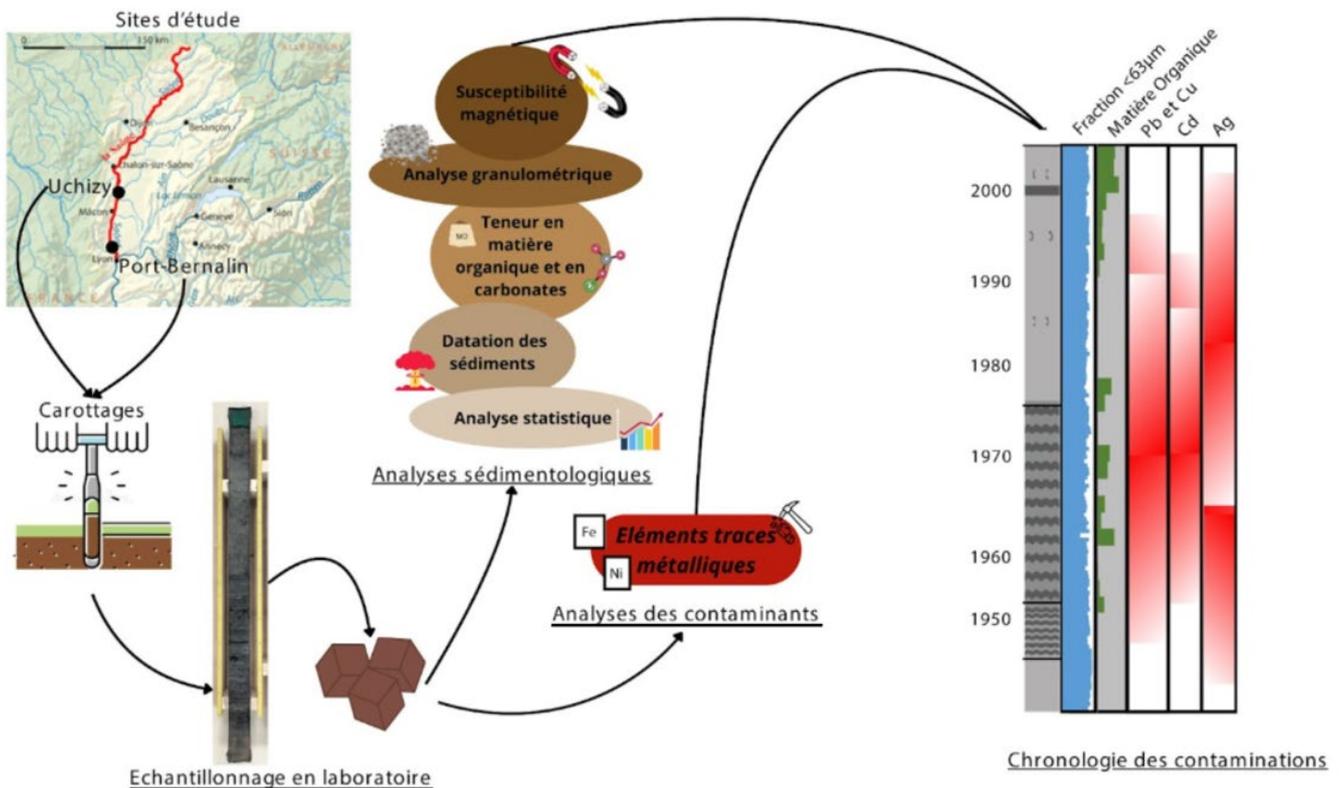
Les observations les plus marquantes sont les suivantes :

- Cuivre (Cu) et plomb (Pb) : les phases de contamination les plus anciennes documentées dans les carottes de la Saône concernent ces deux éléments. Leurs niveaux de contamination sont élevés dès la base des

enregistrements. Une augmentation des concentrations est observée dès les années 1950 pour atteindre des maxima dans les années 1960-1970. Après cette période, les concentrations diminuent progressivement jusqu'en surface.

- Cadmium (Cd) : bien que sa tendance soit proche de celle de Cu et Pb, Cd diffère en termes d'emprise temporelle des contaminations. En effet, les concentrations en Cd sont relativement basses jusqu'au début des années 1960 avant d'augmenter rapidement pour atteindre un maximum au milieu des années 1970, retrouvant les niveaux d'avant les années 1960 à partir des années 2000..
- Argent (Ag) : une contamination marquée en Ag est enregistrée dans les sédiments de la Saône et apparaît comme typique. La tendance en Ag est polyphasique avec des teneurs relativement basses jusque dans les années 1960, suivies par deux phases de contamination maximale entre la fin des années 1970-début 1980 pour la première et au milieu des années 1990 pour la seconde. A partir des années 2000, les contaminations retrouvent rapidement les niveaux d'avant 1960. A la différence des autres ETM cités précédemment (Cu, Pb et Cd) la pollution en Ag peut être mise en relation avec une source plus ciblée - les industries de la photographie en activité des années 1960 à 2006, et implantées plus en amont dans le corridor de la Saône.

En perspective de ce travail, les teneurs sédimentaires en contaminants métalliques seront comparées à des seuils écotoxicologiques afin d'évaluer l'évolution temporelle de l'état écologique du cours d'eau à partir de ce proxy à valeur rétrospective.



Analyses réalisées et les principales tendances des contaminants métalliques enregistrées dans les archives sédimentaires

IV. Conclusion et perspectives

L'étude de ces archives sédimentaires de la Saône a permis de révéler la succession des tendances de contamination en éléments traces métalliques. Ces résultats soulignent le rôle clé des lômes dans l'archivage des perturbations hydrologiques et anthropiques, tout en offrant une lecture précise de l'évolution des flux sédimentaires et de leur charge contaminante au fil du temps.

Cette meilleure compréhension des grandes tendances de contamination éclaire les mécanismes de transport et d'accumulation des polluants. Ces informations sont essentielles pour évaluer les impacts des activités humaines passées et anticiper les pressions futures sur les écosystèmes aquatiques. Dans le cas des bras secondaires déjà restaurés ou dont la restauration est à venir, ces connaissances soulignent la nécessité d'une gestion intégrée des stocks de sédiments et des contaminants.