

Les carottes de sédiments du Rhône aux rayons X : vers une estimation des trajectoires de contamination métallique ?

XRF scanning of sediment cores from the Rhône River: an estimation of trajectories of metal contamination?

Brice Mourier¹, J.F. Lenain¹, M. Desmet², A.L. Develle³, M. Babut⁴, G. Roux⁵, and T. Winiarski⁶

1 Groupement de Recherche Eau Sol Environnement (GRESE), Limoges, France 2 EA 6293 GéHCO Université François-Rabelais de Tours, Parc de Grandmont, 37200 Tours, France 3 EDYTEM, Université de Savoie 4 Irstea, UR MALY, 3 bis Quai Chauveau, CP220, F-69336 Lyon, France 5 éGéos, 6 rue Burdeau, 69001 Lyon 6 Université Lyon 1, UMR 5023 Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, ENTPE, CNRS, 3, Rue Maurice Audin, 69518 Vaulx-en-Velin, France

RÉSUMÉ

Dans les systèmes fluviaux, l'identification de trajectoire de contamination sur le long terme (e.g. 20-50 ans) contribue à une meilleure compréhension des risques associés à la qualité de la ressource en eau et met en évidence le niveau d'efficacité des mesures réglementaires visant à réduire l'impact des activités humaines. Néanmoins, les jeux de données de concentrations en contaminants dans l'eau, les sédiments et le biote à l'échelle pluri-décennale ne sont pas disponibles pour la plupart des grands systèmes fluviaux. Une des manières pour palier à ce manque de donnée est de reconstruire les trajectoires de contaminants à travers l'utilisation d'archives sédimentaires prélevées en milieu fluvial. Nous présentons ici un exemple de résultats obtenus à partir de mesures de core scanner XRF effectuées sur une carotte de sédiments prélevée dans une annexe fluviale du fleuve Rhône, la lône de la Morte (MTE 08.02). La méthode XRF core scanner permet d'extraire de façon non-destructive des intensités d'éléments avec un minimum d'effort analytique. Les mesures ont été faites à haute résolution (2 mm) ce qui permet d'obtenir un enregistrement continu de la distribution verticale des éléments, notamment de certains métaux. A partir d'une analyse statistique des profils élémentaires, cette étude permet d'évaluer les potentialités de la méthode pour caractériser les sédiments fluviaux et les trajectoires de contaminations métalliques.

ABSTRACT

The identification of long-term chemicals contamination trends in rivers contribute to a better understanding of current risks and can assist in the evaluation of the effectiveness of environmental policies aiming at reducing the impact of human activities. However, datasets at a multi-decadal time scale on chemicals concentrations in water, sediment, and biota are not available for most major rivers. One way to overcome this limitation is to reconstruct contamination histories through the use of natural sediment archives sampled in the riverine systems. Here, we present results obtained by XRF core scanner on a sediment core sampled in a secondary channel of the Rhône River, "la lône de la Morte" (MTE 08.02). XRF core scanner allows nondestructive extraction of element intensities from sediment cores with a minimum of analytical effort. Measurements were made at a 2 mm interval which provided a continuous record of elemental distribution within the core. From a statistical analysis of elementary profiles, this study assesses the potential of the method for characterizing river sediments and metal contamination trajectories.

MOTS CLES

Archive sédimentaire, Métaux, Rhône, XRF core scanner

1 ARCHIVES SÉDIMENTAIRES ET TRAJECTOIRES DE CONTAMINATION DU FLEUVE

A l'échelle d'un système fluvial, la qualité de la ressource en eau est liée aux rejets qui peuvent s'opérer de manière diffuse, ponctuelle et selon des voies très variées. Il convient de souligner que les sédiments jouent un rôle essentiel dans la distribution spatiale et temporelle de la contamination d'un cours d'eau car les contaminants présentent de fortes affinités particulières. Si actuellement, des recherches sont entreprises pour consolider un réseau de mesure des flux de matières en suspensions et des contaminants dans les grands fleuves, les jeux de données ne sont pas disponibles pour les dernières décennies. L'impact des activités humaines sur la qualité de la ressource en eau n'est pas qu'un phénomène récent induit par la révolution industrielle (et s'accéléralant pendant les 30 glorieuses). Une des solutions pour documenter ces dynamiques passées consiste à étudier les trajectoires de contamination en effectuant des rétro-observations à partir d'archives naturelles. Des contaminations beaucoup plus anciennes (période gallo-romaine par exemple) sont connues notamment grâce à des études réalisées sur des carottes sédimentaires lacustres et fluviales (et des séquences de tourbes), ces mêmes archives permettent également de documenter des évolutions plus récentes à des résolutions quasi-annuelles.

Un certain nombre d'études ont déjà été mené sur le corridor Rhodanien. Une première étude encadrant la ville de Lyon (Desmet et al., 2012) et une seconde sur tout le corridor Rhodanien ont permis de mettre en évidence un gradient amont-aval de concentrations en PCB (effet cumulatif des affluents), l'influence de sources ponctuelles anciennes (années 70-90) et de sources diffuses (agglomération Lyonnaise) pour les périodes récentes (Mourier et al., 2014). Les trajectoires de contaminations issues de ces carottes permettent l'estimation des résiliences des stocks sédimentaires fluviales vis à vis d'une pollution passée.

L'objectif de ces travaux vise à tester l'utilisation du core scanner XRF sur une carotte de sédiments prélevée en amont de l'agglomération Lyonnaise pour (i) évaluer la composition des sédiments d'annexes fluviales du corridor Rhodanien et pour (ii) identifier des trajectoires de contamination métallique à l'échelle pluri-décennale.

2 MATERIEL ET METHODES

Cette étude présente les résultats obtenus sur une archive sédimentaire prélevée dans une lône à connexion aval, environ 80 km en amont de l'agglomération Lyonnaise (X=5.554050 ; Y=45.701586). La méthodologie employée repose sur la description fine de la carotte ainsi que sur des analyses multi-paramètres couramment employé dans l'étude des séquences sédimentaires. Un modèle âge-profondeur a pu être déterminé à partir des mesures de radioéléments, principalement les pics d'émissions de ^{137}Cs (Mourier et al., 2014). La carotte a été passée au core scanner XRF (Avaatech) de l'université de Savoie (Laboratoire EDYTEM). L'analyse par fluorescence des rayons X (XRF) donne une information chimique semi-quantitative des éléments présents dans la carotte. Les mesures ont été faites à haute résolution (2 mm) ce qui permet d'obtenir un enregistrement continu de la distribution verticale des éléments.

3 ANALYSE DE COMPOSITION

Les données XRF des carottes ont fait l'objet d'analyses statistiques compositionnelles (CoDaPack V2.01.14). L'analyse de composition a été effectuée à partir des données brutes transformées en Log Ratios Centrés (LRC). Les statistiques compositionnelles permettent d'étudier les variations relatives des éléments les uns par rapport aux autres. Parallèlement, toujours à partir des données transformées, des analyses en composantes principales permettent d'identifier les pôles élémentaires, caractéristiques de la composition du sédiment. L'évolution temporelle d'un élément au sein de la carotte peut également être étudié en normalisant par un élément référent (Ti, Rb), connu pour être peu affecté par les processus bio-physico-chimiques.

4 EXEMPLE DE LA CAROTTE DE LA LONE DE LA MORTE (MTE 08.02)

Les statistiques de composition et l'ACP permettent d'identifier quatre pôles compositionnels distincts (Figure 1A) : un pôle constitué de Si, Al, typique des apports sédimentaires du bassin versant, un pôle constitué de Ca et Sr lié à la production de carbonate au sein de la lône, un pôle constitué de S interprété comme caractéristique de l'état d'oxydation de la lône et un pôle constitué de Cu et Zn pouvant être interprété comme des apports anthropiques. Les variations temporelles des

coordonnées des observations dans l'espace F1 et F2 de l'ACP donnent une image de la composition du sédiment en rapport aux pôles définies préalablement (Figure 1B).

Les métaux peuvent être accumulés à des concentrations élevées dans les sédiments. Si la méthode XRF ne fournit pas de données quantitatives, elle peut néanmoins fournir des trajectoires de contamination. Dans le cas de la carotte MTE l'analyse de composition a mis en évidence que les variations de Cu et Zn ne sont probablement pas liées aux apports de sédiments du fleuve (pôle Si, Al) ou de la productivité de la Lône (Ca, Sr). Les teneurs de ces deux métaux sont donc suspectées d'avoir une origine anthropique. Elles sont maximales entre 1975 et 1985 avec un pic en 1980 (Figure 1C).

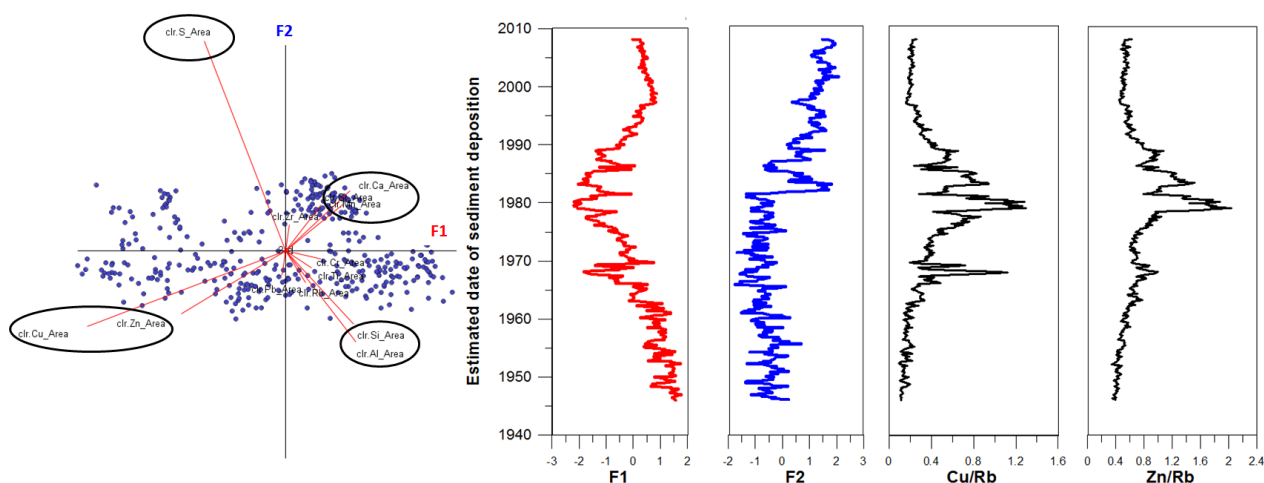


Figure 1 A) Biplot de l'ACP effectuée sur les données géochimiques obtenues à partir des mesures de XRF core scanner. F1 et F2 expliquent 87% de la variance totale. B) Variations temporelles des coordonnées des observations des axes F1 et F2. C) Variations temporelles des ratios Cu/Rb et du Zn/Rb. L'élément Rubidium est utilisé comme traceur des apports sédimentaires du fleuve.

5 CONCLUSION

Ces travaux constituent une première étape quant à l'utilisation de la technique de fluorescence des rayons X sur des archives sédimentaires fluviales et sera prochainement généralisée à l'ensemble des carottes prélevées dans le lit majeur du Rhône. Ces mesures offrent des perspectives intéressantes pour tracer l'origine des sédiments au sein des annexes fluviales du Rhône (notamment pour différencier les apports de sédiments de bassin versant de la production autochtone) ainsi que pour reconstruire les trajectoires de contaminations métalliques.

BIBLIOGRAPHIE

- Desmet M., Mourier B., Mahler B., Van Metre P., Roux G., Persat H., Lefevre I., Peretti A., Chapron E., Simmoneau A., Miège C., Babut M. (2012). Spatial and Temporal Trends in PCBs in Sediment along the Lower Rhône River, France. *Science of the Total Environment*, 433, 189-197.
- Mourier, B., Desmet, M., Van Metre, P.C., Mahler, B.J., Perrodin, Y., Roux, G., Bedell, J.-P., Lefèvre, I., Babut, M. Historical records, sources, and spatial trends of PCBs along the Rhône River (France) (2014) *Science of the Total Environment*, 476-477, pp. 568-576.