

# Évaluation de la contamination des grands bassins fluviaux du monde à partir des flux spécifiques particuliers de micropolluants hérités

Assessment of the contamination of the world's larger river basins from the specific particulate flows of inherited micropollutants

Hugo Delile<sup>1,2\*</sup>, André-Marie Dendievel<sup>3</sup>, Anice Yari<sup>1</sup>, Matthieu Masson<sup>1</sup>, Cécile Miège<sup>1</sup>, Brice Mourier<sup>3</sup>, Marina Coquery<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRAE, UR RiverLy, 5 Rue de la Doua CS 20244, F-69625, Villeurbanne, France

<sup>2</sup> Univ. Lyon, CNRS, Archéorient, UMR 5133, Maison de l'Orient et de la Méditerranée, France

<sup>3</sup>Univ. Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENTPE, UMR 5023 LEHNA, F-69518 Vaulx-en-Velin Cedex, France

[\\*hugo.delile@cnrs.fr](mailto:hugo.delile@cnrs.fr)

## RÉSUMÉ

Depuis plus d'un demi-siècle, la contamination chimique s'est progressivement étendue à tous les grands bassins fluviaux du monde, dont les exutoires intègrent les multiples pressions anthropiques amont. La comparaison de la contamination chimique des grands bassins fluviaux du monde par les micropolluants particuliers n'est pas aisée, notamment en raison de la rareté des programmes de surveillance à long terme des fleuves. La question abordée dans cette étude est celle de la relation entre le niveau de contamination chimique des grands bassins fluviaux du monde et leur stade de développement économique. Afin de faciliter cette comparaison inter-bassins, nous nous sommes appuyés sur les flux spécifiques particuliers de micropolluants hérités (polychlorobiphényles [PCBi], hydrocarbures aromatiques polycycliques [HAP] et éléments traces métalliques [ETM]). À cet égard nous avons constitué une base de données sur les contaminants particuliers mesurés aux embouchures d'une vingtaine de grands bassins. Les résultats obtenus montrent un gradient de contamination générale distinguant les bassins fluviaux les plus fortement contaminés, situés dans les pays en développement et émergents à PIB faible ou moyen, des bassins les moins contaminés localisés dans les pays développés à PIB élevé. Une telle distinction suggère que le niveau de la contamination générale des grands bassins par les polluants hérités est associé à leur stade de développement économique et s'accorde ainsi plutôt bien au cadre conceptuel de la courbe environnementale de Kuznets (EKC).

## ABSTRACT

For more than half a century, chemical contamination has progressively spread to all the world's large river basins whose outlets integrate the multiple upstream anthropogenic pressures. Comparing particulate micropollutant contamination between the world's large river basins is a challenging task, especially due to the worldwide scarcity of long-term river monitoring programs. The issue addressed in this study is about the relationship between chemical contamination levels of the world's large river basins and their economic development stage. To make this inter-basin comparison easier, we relied on legacy particulate micropollutants (polychlorobiphenyls [PCBi], polycyclic aromatic hydrocarbons [PAHs], and trace metal elements [TME]) yields. In this regard, we built a database of concentrations of sediment-bound contaminants on nearly twenty major worldwide river outlets. Our results depict an overall contamination gradient splitting the most heavily contaminated river basins, located in developing and industrializing low-to-middle-income countries, from the least contaminated rivers hosted in developed high-income countries. We argue that chemical contamination levels on the world's large river basins depend on their stage of economic development, and therefore fairly closely fit with the Environmental Kuznets Curve (EKC) theory.

## MOTS CLÉS

Pressions anthropiques, grands bassins fluviaux, flux spécifiques de micropolluants hérités, polluants

organiques persistants, éléments traces métalliques

Anthropogenic pressures, large-scale river basins, legacy-micropollutant yields, Persistent Organic Pollutants, Trace Metal Elements

## 1 INTRODUCTION

Depuis plus de cinq décennies les milieux aquatiques connaissent une détérioration de leur état chimique qui se manifeste sur l'ensemble de la surface du globe. L'évaluation de la contamination chimique des hydrosystèmes fluviaux à l'échelle globale se heurte à l'absence de bases de données issues de réseaux de surveillance des hydrosystèmes continentaux. Pour dépasser à cette lacune, nous nous sommes appuyés sur la capacité des embouchures fluviales à retranscrire les multiples pressions anthropiques qui s'exercent dans les bassins versants. Cette étude comparative a pour objectif d'évaluer la relation entre le niveau de contamination chimique des grands bassins fluviaux du monde et leur stade de développement économique. Le choix des micropolluants s'est porté sur les polluants dits « hérités » en raison de leur omniprésence à l'échelle planétaire et leur transport préférentiel sur les particules sédimentaires. Ainsi, nous avons ciblés deux familles de micropolluants : les polluants organiques persistants (POP : polychlorobiphényles [PCBi] et hydrocarbures aromatiques polycycliques [HAP]) ; et les éléments traces métalliques (ETM : As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb et Zn). Les grands bassins fluviaux sélectionnés sont le Rhône, la Garonne, la Loire, la Seine, la Volga, le Danube, l'Elbe, le Rhin, le Pearl (Zhujiang), le Liao, le Yangtze (Changjiang), le Fleuve jaune (Huang He), le Mékong, le Gange, le Brahmapoutre, le Mississippi, le Colorado, le Saint-Laurent, l'Amazone et le Niger.

## 2 MÉTHODES

### 2.1 Calcul des flux spécifiques particulaires de micropolluants hérités

L'évaluation de la contamination des grands bassins fluviaux a été réalisée en estimant des flux spécifiques particulaires interannuels de micropolluants hérités (g or kg km<sup>2</sup> yr<sup>-1</sup>). Le choix de cet indicateur a été motivé par sa capacité à comparer l'état de contamination des bassins entre eux indépendamment de leur superficie. Afin d'estimer les flux spécifiques de micropolluants associés aux sédiments transportés par chacun des bassins, nous avons utilisé des flux sédimentaires interannuels modélisés. Les flux de micropolluants ont ensuite été calculés en multipliant les flux sédimentaires par la concentration médiane de chaque micropolluant. Cette dernière étape a nécessité la construction d'une base de données de concentrations de micropolluants particulaires.

### 2.2 Élaboration d'une base de données des micropolluants particulaires

La base de données élaborée comprend des échantillons de sédiments prélevés entre 2000 et 2020 à l'exutoire des bassins et intègre plusieurs matrices sédimentaires avec des sédiments de lit mineur, de plaine d'inondation, de crue, de matière en suspension (MES) et de carottes. Les données collectées proviennent de la littérature grise et scientifique, ainsi que de réseaux de surveillance. Par exemple, pour le Rhône qui sert de cas d'étude, il s'agit notamment des données de l'OSR (<https://bdoh.irstea.fr/OBSERVATOIRE-DES-SEDIMENTS-DU-RHONE/>) (Delile et al., 2020). Une fois les flux inter-annuels de micropolluants particulaires calculés, ils ont été normalisés par la taille des bassins versants afin d'établir les flux spécifiques

## 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 Relation entre les flux spécifiques particulaires de micropolluants et les flux spécifiques de sédiments

Le recours aux flux spécifiques particulaires de micropolluants pour caractériser l'état de contamination des bassins a nécessité d'évaluer dans un premier temps leur sensibilité aux flux spécifiques de sédiments. À cet égard, les analyses statistiques ont établi trois niveaux de dépendance (figure 1) :

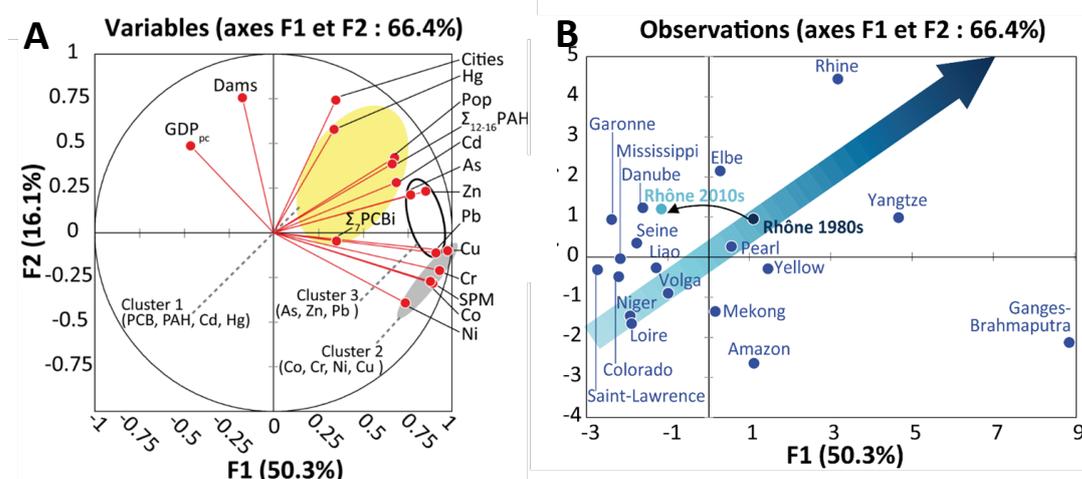
- PCB, HAP, Cd et Hg : totalement indépendants des flux de sédiments ;
- As, Zn et Pb : faiblement dépendants des flux de sédiments ;
- Co, Cr, Ni et Cu : fortement dépendants des flux de sédiments.

Ces résultats montrent que la comparaison de la contamination des bassins à l'aide de cette méthode

est surtout adapté pour les PCI, HAP, Cd, Hg, As, Zn et Pb.

### 3.2 Rôle du développement économique sur les flux spécifiques de micropolluants particulaires

L'analyse statistique multivariée des flux spécifiques de micropolluants particulaires montre un gradient du niveau de contamination générale des bassins depuis les moins contaminés jusqu'aux plus contaminés (figure 1B). La distribution des grands bassins fluviaux le long de ce gradient indique que les niveaux de contamination les plus élevés concernent les bassins des pays en voie de développement et émergents à PIB faible ou moyen, alors que les niveaux de contamination les moins élevés renvoient aux bassins des pays développés à PIB élevé. Sur la base des tendances à long terme observées sur le bassin du Rhône, il apparaît que son niveau général de contamination chimique durant les années 80 était similaire à celui observé actuellement dans les pays en transition économique. Depuis lors, l'amélioration de son état chimique s'exprime par un déplacement de sa position dans le graphique vers le champ des fleuves les moins contaminés.



**Figure 1.** Analyse en Composantes Principales des flux spécifiques de micropolluants particulaires, des densités de barrages, d'habitants et de villes et du PIB par habitant dans les grands bassins fluviaux étudiés. Le **panel A** présente le cercle des corrélations où trois groupes de flux spécifiques de micropolluants ont été identifiés (cf. champs elliptiques) à partir de leurs corrélations avec les flux spécifiques de sédiments et les concentrations médianes des micropolluants (cf. § 3.1. pour la signification des trois groupes). Le **panel B** montre que la distribution de la contamination générale des bassins par les micropolluants hérités suit une graduation croissante (flèche en dégradé bleu).

Ce modèle général d'amélioration de la qualité chimique des bassins fluviaux selon le niveau de développement économique auquel ils sont associés est renforcé par la relation inverse qui semble s'exercer entre le PIB par habitant et le niveau des flux spécifiques de micropolluants particulaires (figure 1B). Une telle relation s'accorde relativement bien au cadre conceptuel de la courbe environnementale de Kuznets qui prédit une période de croissance économique initiale préjudiciable pour l'environnement. Cette dégradation est ensuite suivie d'une amélioration à mesure que le niveau de richesse s'accroît en parallèle de la mise en œuvre de réglementations environnementales nationales et internationales sur le contrôle des émissions et l'utilisation des substances chimiques.

## 4 CONCLUSION

Ces travaux montrent comment le modèle dominant de développement des sociétés s'exprime à travers un processus d'urbanisation croissant en réponse à l'explosion démographique mondiale, qui exige une consommation d'énergie et de ressources naturelles de plus en plus élevée, toutes deux sources majeures de contamination chimique des grands bassins fluviaux du monde. Cette étude souligne la nécessité d'élargir les réseaux de surveillance aux embouchures des plus grands fleuves afin de quantifier le plus précisément possible les pressions anthropiques exercées dans les bassins.

## BIBLIOGRAPHIE

Delile, H., Masson, M., Miège, C., Le Coz, J., Poulhier, G., Le Bescond, C., Radakovitch, O., Coquery, M., 2020. Hydro-climatic drivers of land-based organic and inorganic particulate micropollutant fluxes: The regime of the

largest river water inflow of the Mediterranean Sea. *Water Research* 185: 116067