



**HAL**  
open science

# Traçage de l'origine des Matières En Suspension (MES)

Hugo Lepage, Aymeric Dabrin

► **To cite this version:**

Hugo Lepage, Aymeric Dabrin. Traçage de l'origine des Matières En Suspension (MES). [Rapport de recherche] IRSN; INRAE. 2023. hal-04228342

**HAL Id: hal-04228342**

**<https://hal.science/hal-04228342v1>**

Submitted on 4 Oct 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Observatoire  
des Sédiments  
du Rhône

# Traçage de l'origine des Matières En Suspension (MES)



# Traçage de l'origine des Matières En Suspension (MES)

Rapport scientifique final  
Version du 10 mars 2023

---

**Observatoire des Sédiments du Rhône – 6<sup>ème</sup> programme d'action**

---

**Axe B** – Comprendre les sources et la dynamique des MES et des contaminants particuliers dans le bassin du Rhône

---

**Action B1** – Détermination des sources de MES et des contaminants apportés au Rhône

---

**Sous-Action B1.1** – Traçage de l'origine des MES

---

## Personnes impliquées

Hugo Lepage (IRSN, LRTA) ; Aymeric Dabrin (INRAE, UR RiverLy, LAMA)

## Pour citer ce rapport

Lepage, H., Dabrin A. (2023). *Traçage de l'origine des Matières En Suspension (MES)*. Rapport scientifique final. Observatoire des Sédiments du Rhône – 6<sup>ème</sup> programme d'action. 9 p.

L'OSR est un programme animé par le Graie. Pour toute information vous pouvez contacter  
Bertrand Morandi (bertrand.morandi@graie.org)

---

## Résumé

L'objectif de cette action était d'exploiter les nombreux contaminants disponibles sur la base de données OSR BDOH pour déterminer l'origine des particules en appliquant un modèle de traçage sédimentaire. Malheureusement la répartition des contaminants entre les stations et les méthodes de prélèvement sont trop hétérogènes et ne permettent d'exploiter que les éléments trace métalliques et le mercure. Avec ces éléments, les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par les méthodes utilisées dans l'OSR5 avec :

- A Arles, une prédominance de la Durance et de l'Isère, avec une moindre contribution de l'Ardèche, de la Saône et du Rhône amont.
- A Jons, une prédominance de l'Arve, de la Bourbre et du Fier, avec une moindre contribution de l'Ain et du Guiers.

---

## Mots-clés

OSR ; Rhône ; Observatoire ; Sédiments ; Fingerprinting ; Modèle de mélange

---

## Table des matières

<b>1. Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Méthodologie .....</b>	<b>5</b>
2.1 Données utilisées.....	5
2.2 Modèle de mélange.....	7
<b>3. Traçage de l'origine des particules.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>8</b>
<b>5. Bibliographie .....</b>	<b>9</b>

---

## 1. Introduction

Cette action s'inscrit dans l'axe B de l'OSR 6 : *Comprendre les sources et la dynamique des MES et des contaminants particuliers dans le bassin du Rhône* et dans l'Action B1 : *Détermination des sources de MES et des contaminants apportés au Rhône*. Elle fait suite à l'action C1 de l'OSR5 Traçage des MES - Estimation des contributions relatives des affluents aux flux de MES sur le Rhône amont, intermédiaire et aval (Bégorre et al., 2021).

Jusqu'à présent, plusieurs approches ont été utilisées pour étudier l'origine des particules (empreintes chimiques : traçages géochimiques via les éléments traces et majeurs dans la fraction totale ou résiduelle des particules, traçage géochimique via les radionucléides naturels ; modélisation hydro-sédimentaire ; estimations des flux de MES à partir des données de débit et de turbidité). Si les principaux affluents contributeurs aux flux de MES ont clairement été identifiés par ces différentes approches, il subsiste toujours des incertitudes sur les contributions respectives des affluents qui ne sont pas toujours concordantes entre les diverses approches. De plus, les approches de traçage des particules s'appuyant sur les données de chimie (empreintes) n'ont jamais été combinées pour optimiser la déconvolution des empreintes des affluents.

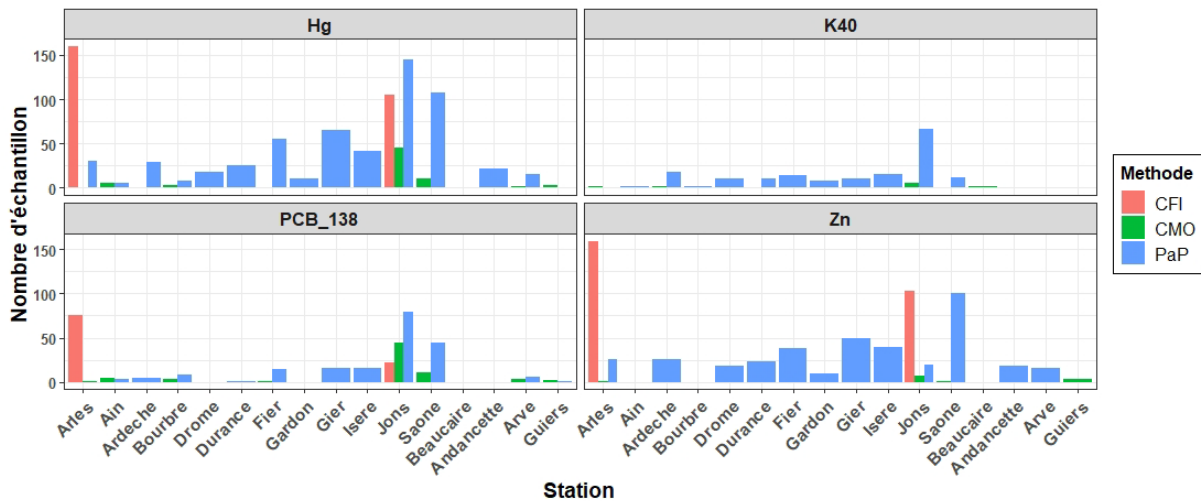
Nous proposons à travers cette sous-action d'estimer l'origine des MES en rassemblant l'ensemble des données de chimie acquises sur les MES (éléments majeurs et traces, contaminants organiques, radionucléides) pour avoir un maximum de traceurs potentiels permettant de mieux discriminer les affluents.

---

## 2. Méthodologie

### 2.1 Données utilisées

Pour cette étude, nous avons fait le choix d'exploiter l'ensemble des données de contaminants disponibles sur BDOH ainsi que certains contaminants non bancarisés mais mesurés dans le cadre de l'OSR. Ces données comprennent les contaminants métalliques, les PCB et les radionucléides. Malheureusement, la répartition des données entre les stations et les différentes méthodes de prélèvements sont trop hétérogènes et ne permettent pas d'exploiter l'ensemble des analyses car les différents contaminants ne sont pas systématiquement mesurés sur chaque prélèvement. On remarque ainsi sur la Figure 1 que les mesures de PCB (ici PCB\_138) n'ont été réalisées que sur des prélèvements par CFI à Arles et qu'ils n'ont pas été mesurés dans la Drôme, la Durance, le Gardon et à Andancette. A noter également une répartition inégale entre les périodes dites de base et celles en crue.



**Figure 1– Nombre d'échantillons avec des analyses de mercure (Hg), potassium-40 (K40), Polychlorobiphényle 138 (PCB\_138) et zinc (Zn), selon les stations et la méthode de prélèvement (centrifugeuse fixe (CFI) ou mobile (CMO) et piège à particules (PaP)).**

Au final, sans manipuler le jeu de donnée, il n'a été possible d'appliquer le modèle que sur le jeu de données des métaux sur prélèvements par piège à particules, hors des crues, et pour estimer les contributions des affluents du Sud (Ardèche, Durance, Isère, Saône et Jons) à Arles. Le jeu de données n'était pas suffisamment complet pour appliquer l'approche aux autres méthodes, lors des crues, et à Jons. Pour Jons par exemple, il y a très peu de mesure sur les affluents de l'Ain. Pour permettre de tracer les MES à Jons, il est nécessaire de combiner les différentes méthodes de prélèvements. Deux méthodes ont ainsi été appliquées dans cette étude, dont le nombre d'échantillons disponible par état hydrologique est indiqué dans le Tableau 1 :

- **Méthode 1** : contribution des affluents principaux à Arles en utilisant uniquement les échantillons de PaP avec les mesures des ETM et du Hg.
- **Méthode 2** : contribution des affluents principaux à Jons et Arles en utilisant les échantillons de toutes les méthodes avec les mesures des ETM et du Hg.

**Tableau 1 – Nombre d'échantillons disponible par station et par état hydrologique pour les différentes méthodes.**

Nombre d'échantillon	Méthode 1		Méthode 2			Méthode 2		
	Base	Crue	Base	Crue		Station	Base	Crue
Station	Base	Crue	Base	Crue		Station	Base	Crue
Arles (mélange)	24	2	185	41		Jons (mélange)	131	60
Ardèche (source)	23	13	24	13		Ain (source)	1	1
Durance (source)	19	7	23	7		Bourbre (source)	3	1
Isère (source)	31	12	32	16		Fier (source)	38	22
Saône (source)	100	18	101	19		Guiers (source)	3	3
Jons (source)	20	7	131	60		Arve (source)	14	1

## 2.2 Modèle de mélange

L'approche de traçage dite par « fingerprinting » est utilisée depuis de nombreuses années pour déterminer l'origine des particules en sortie de bassin versant de toutes tailles. Cette approche consiste à déterminer les signatures des différentes sources à l'aide de tests statistiques, puis de déterminer la proportion de ces sources dans les échantillons dits de mélange. Elle est décrite dans le livrable OSR5 C1.1 (*Bégorre et al., 2021*). Pour simplifier la démarche, nous avons utilisé le package FingerPro disponible sous R et qui permet de réaliser facilement les différents tests statistiques et l'application du modèle de mélange (*Lizaga et al., 2018 ; 2020*). A noter qu'ici, aucune correction granulométrique n'a été réalisée car les données de granulométrie sont également très hétérogènes et réduiraient la base de données utilisées (voir livrable OSR6 B4.2).

## 3. Traçage de l'origine des particules

Les résultats des différentes méthodes pour Arles et Jons sont synthétisés dans les tableaux 2 et 3. A Arles, les deux méthodes confirment que les apports proviennent majoritairement de la Durance et de l'Isère, et dans une moindre mesure de la Saône. Une saisonnalité des contributions a pu être identifiée avec une plus forte contribution de la Durance durant la période hivernale et une plus forte contribution de l'Isère lors de la fonte des neiges en période estivale (Figure 2). Les résultats sont similaires aux autres études mais il est difficile de comparer les contributions car les autres études n'ont pas considéré les mêmes sources (absence de l'Ardèche dans le bilan des flux et l'approche géochimique, prise en compte du Gardon dans la thèse de C. Bégorre) (*Bégorre et al., 2021 ; Piégay et al., 2022*). La faible contribution de la Durance en appliquant la méthode 2 aux échantillons de crue s'explique par la très faible proportion d'échantillons avec une crue de la Durance dans la base de données, ce qui amène à une sous-estimation de la contribution de la Durance. A noter que comme la méthode 2 regroupe des échantillons prélevés par PaP et par CFI, les résultats sont à interpréter avec précaution car les concentrations des contaminants peuvent varier selon la méthode de prélèvements (voir livrable OSR6 B4.2 et *Masson et al., 2018*). Pour cette 2<sup>ème</sup> approche pour les crues, les paramètres retenus en entrée pour discriminer les sources ne comprennent que 4 éléments : Cd Cu Ni et Zn. Pour les autres approches, les tests statistiques n'ont écarté aucun élément.

**Tableau 2 – Moyenne et écart type de la contribution des différentes sources pour la station d'Arles selon l'état hydrologique et la méthode appliquée pour l'ensemble des échantillons de l'OSR.**

Méthode	Méthode 1				Méthode 2			
	As Cd Co Cr Cu Hg Ni Pb Zn	As Cd Co Cr Cu Hg Ni Pb Zn	As Cd Co Cr Cu Hg Ni Pb Zn	Cd Cu Ni Zn				
Hydrologie	Base (n=24)	Crue (n=2)	Base (n=185)	Crue (n=41)				
Ardèche	4.6 ± 5.2	6.7 ± 6.7	4.1 ± 6.6	3.3 ± 6.1				
Durance	46.3 ± 26.2	31.6 ± 18.3	32.8 ± 32.2	11 ± 21.8				
Isère	27.7 ± 26.1	42.2 ± 30.0	31.4 ± 25.5	45.5 ± 26.4				
Saône	14.0 ± 11.3	9.6 ± 3.5	29.5 ± 23.9	32.3 ± 26.9				
Jons	7.4 ± 13.9	9.8 ± 11.9	2.1 ± 4.5	7.9 ± 9.8				



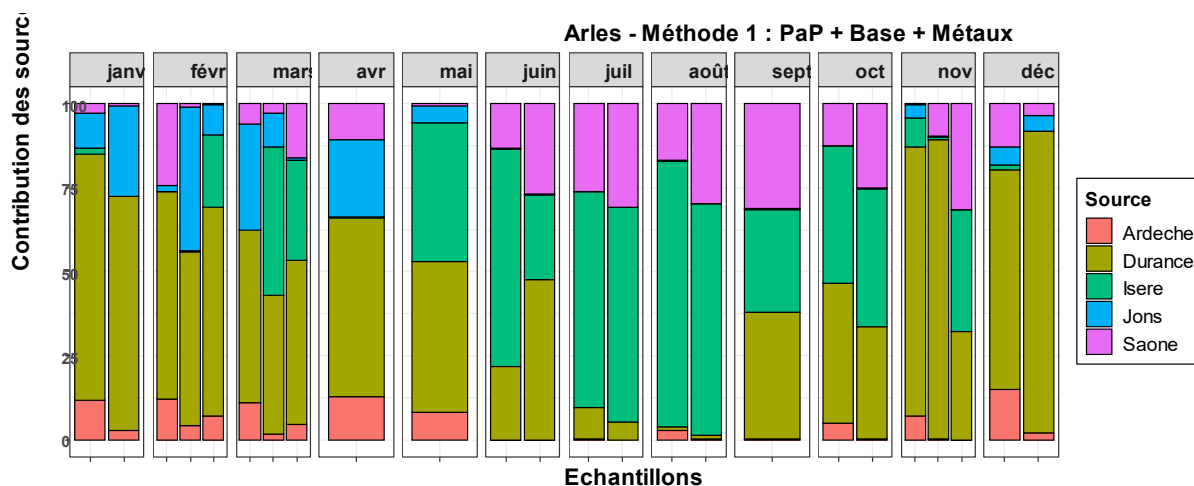


Figure 2 – Contribution des sources pour la station d’Arles selon le mois de prélèvement.

A Jons, les résultats de cette étude diffèrent avec les études précédentes car si l’Arve est effectivement le contributeur principal, sa contribution est sous-estimée par rapport aux autres méthodes qui indiquent une contribution comprise entre 70% et 90% (Bégorre et al., 2021). Cela peut s’expliquer par le très faible nombre d’échantillons disponibles pour déterminer les paramètres discriminants (Table 1).

Tableau 3 - Moyenne et écart type de la contribution des différentes sources pour la station de Jons selon l’état hydrologique et la méthode appliquée.

Méthode	Méthode 2	
	As Cd Cr Ni Pb	As Cr Ni Pb
Hydrologie	Base (n=59)	Crue (n=28)
Arve	40.7 ± 26.8	29.1 ± 31.8
Fier	24.5 ± 22.6	17.2 ± 18.8
Guiers	6.1 ± 14.6	19.2 ± 29.2
Bourbre	20.1 ± 15.2	23.5 ± 27.3
Ain	8.6 ± 16.2	11.0 ± 22.3

## 4. Conclusion

Si cette étude avait pour but de valoriser au mieux les données disponibles dans la base de données OSR, elle a surtout mis en évidence les problèmes liés à l’hétérogénéité de celle-ci. L’évolution des questions scientifiques, des besoins et de la logistique a conduit les équipes de l’OSR à ajuster les méthodes de prélèvements et les contaminants suivis. Ainsi, sans utiliser de fortes hypothèses, il est difficile d’exploiter l’ensemble des données des contaminants pour tracer les sources de MES. Les travaux de cette action ont toutefois montré qu’une approche relativement simple (sans correction granulométrique) permet d’obtenir des résultats similaires avec ceux obtenus par les autres méthodes et confirme donc les résultats observés.

## 5. Bibliographie

Bégorre C. (2021). *Origine des matières en suspension et des sédiments déposés dans le bassin versant du Rhône : historique des apports et réactivité des traceurs*. Thèse de Doctorat, Chimie environnementale, Université de Lyon – INRAE. <https://tel.archives-ouvertes.fr/OSR/tel-03322601v1>

Bégorre H., Dabrin A., Grisot G., Dherret L., Masson M., Coquery M. (2021). *Traçage des MES - Estimation des contributions relatives des affluents aux flux de MES sur le Rhône amont, intermédiaire et aval. Rapport Final*. Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), 5<sup>ème</sup> Programme d'Actions. <https://hal.science/OSR/hal-03292653v1/>

Lizaga, I., Latorre, B., Gaspar, L., Navas, A. (2018). FingerPro: An R package for sediment source tracing, <https://doi.org/10.5281/zenodo.1402029>.

Lizaga, I., Latorre, B., Gaspar, L., Navas, A. (2020). FingerPro: an R package for tracking the provenance of sediment. *Water Resources Management*, 272, 111020. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02650-0>.

Masson, M., Angot, H., Le Bescond, C., Launay, M., Dabrin, A., Miège, C., Le Coz, J., and Coquery, M., (2018). Sampling of suspended particulate matter using particle traps in the Rhône River: Relevance and representativeness for the monitoring of contaminants. *Science of the Total Environment*, 637–638, 538–549. <https://hal.science/OSR/hal-02015899v1>

Piégay H., Radakovitch O., Arnaud F., et al. (2022). *L'Observatoire des Sédiments du Rhône. 12 années de recherche pour la connaissance et la gestion hydro-sédimentaire du fleuve. Bilans et perspectives scientifiques*. Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR). <https://hal.science/OSR/hal-03869998v1>



Observatoire  
des Sédiments  
du Rhône

### Dispositifs scientifiques cadres



### Partenaires scientifiques



### Partenaires techniques et financiers



Cofinancé par  
l'Union européenne