



Observatoire  
des Sédiments  
du Rhône

# Quels sont les stocks et les bilans des flux de matières en suspension et de contaminants dans le Rhône ?

Brice MOURIER – LEHNA/ENTPE | Hugo DELILE\* – INRAE

\* Archéorient CNRS

## Connaître les stocks et les flux de contaminants d'une manière globale

- Evaluer les bilans et la dynamique saisonnière des flux de MES et de contaminants
- Comprendre la répartition longitudinale et latérale des stocks de contaminants
- Etablir des tendances de la contamination sur le long terme

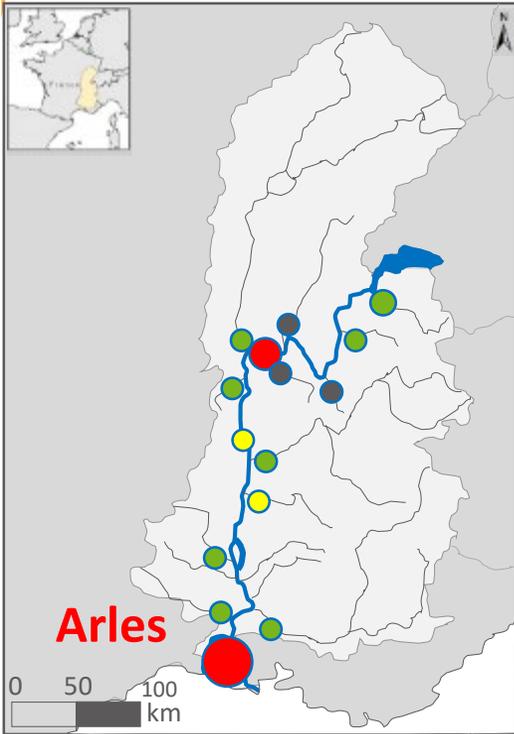
## Démarches mises en œuvre dans l'OSR depuis 12 ans

- Acquérir et traiter les données issues du réseau d'observation de l'OSR
- Identifier les tendances temporelles et spatiales le long du corridor et de ses affluents
- Comparer le Rhône avec d'autres bassins à l'échelle nationale et internationale
  - Evaluation flux et stocks, couplage MES et carotte, exemple PCB, comparaison inter-bassins

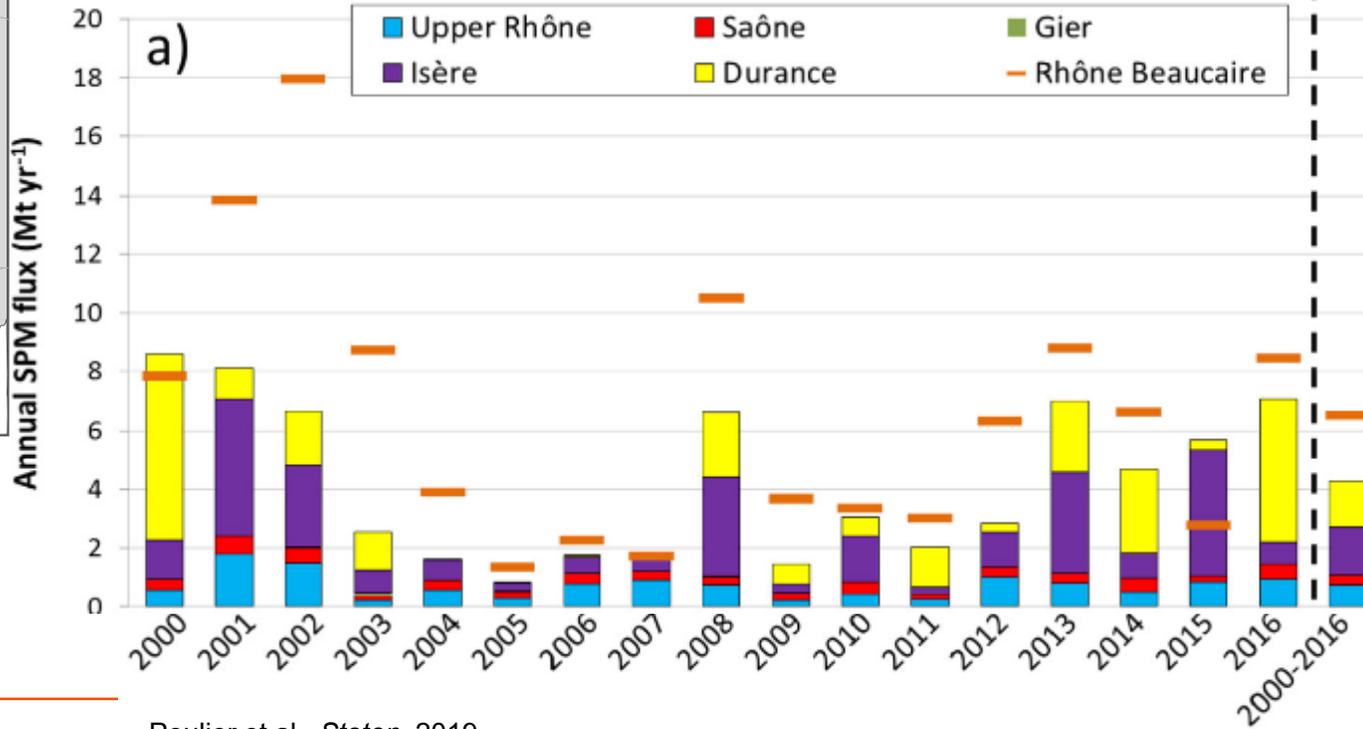
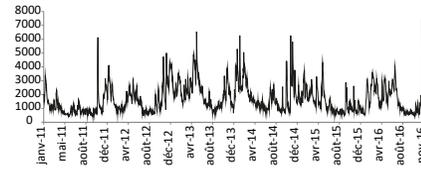
# Evaluer les flux et les stocks de contaminants

## Bilans et dynamique des flux

$$\text{Flux}_{\text{contaminants}} = \underbrace{\text{Débit}}_{\text{MES}} \times \underbrace{\text{Conc.}_{\text{MES}}}_{\text{MES}} \times \underbrace{\text{Conc.}_{\text{contaminant}}}_{\text{contaminant}}$$



- Stations permanentes (Rhône)
- Stations permanentes (affluents)
- Stations temporaires
- Stations permanentes depuis octobre 2018



Poulier et al., Stoten, 2019

**2009-2021 : 5,5 Mt an<sup>-1</sup> de MES**

Durance : 31 % du flux de MES

Isère : 31 % du flux de MES

Haut-Rhône : 11 % du flux de MES

Saône : 6 % du flux de MES

Déficit flux MES : 20 %

Déficit flux d'eau : 20 %

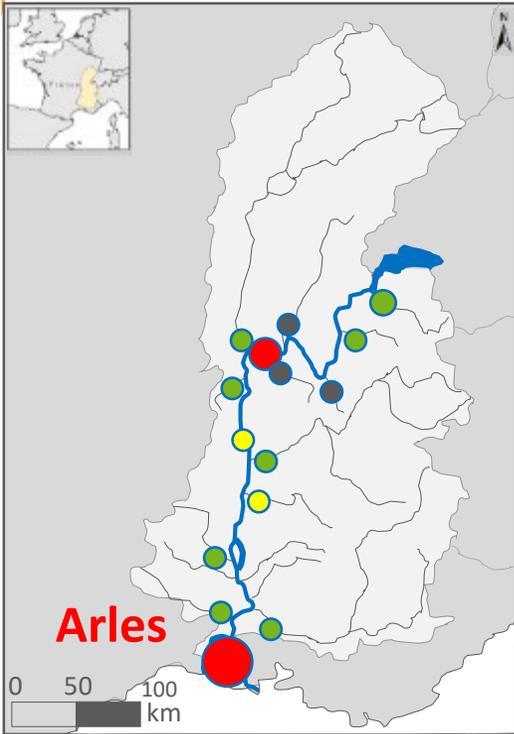
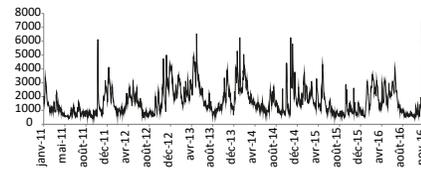
Surface BV non monitorée : 20 %

**Forte variabilité annuelle**  
**Forte variabilité spatiale**

# Evaluer les flux et les stocks de contaminants

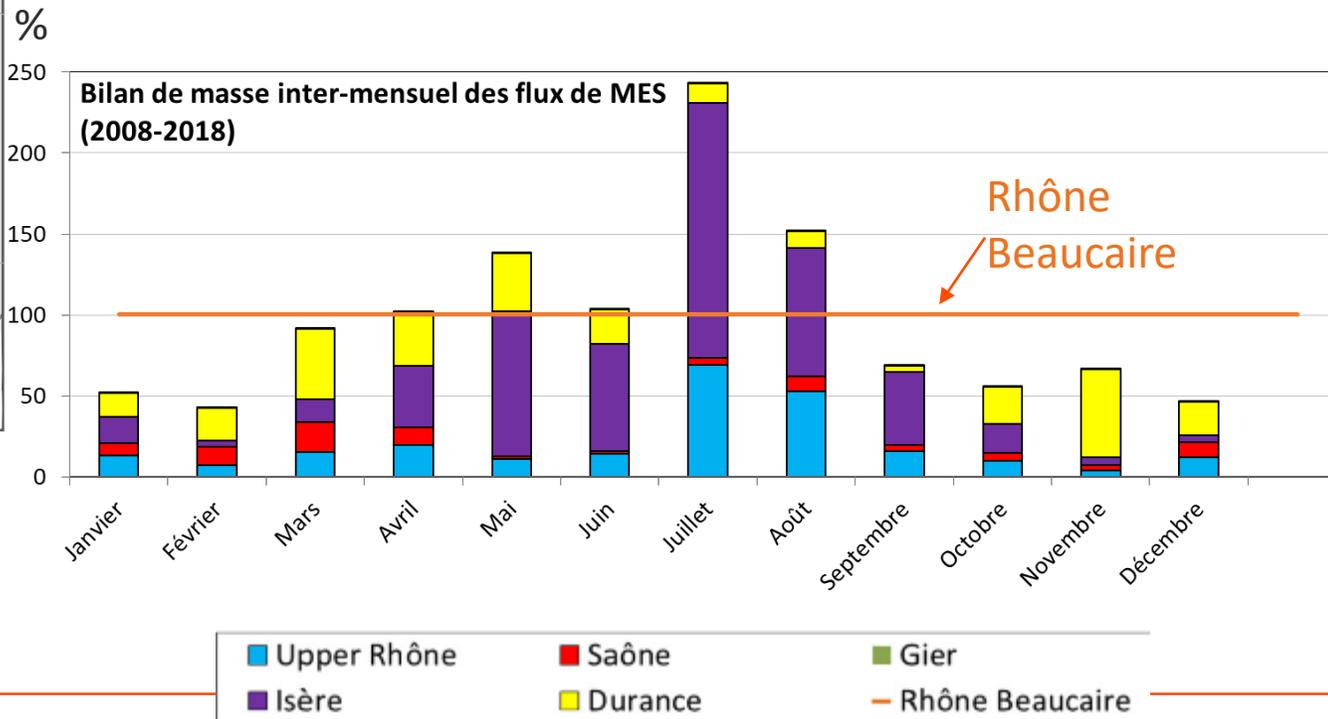
## Bilans et dynamique des flux

$$\text{Flux}_{\text{contaminants}} = \underbrace{\text{Débit}}_{\text{MES}} \times \underbrace{\text{Conc.}_{\text{MES}} \times \text{Conc.}_{\text{contaminant}}}_{\text{MES}} \times \text{Conc.}_{\text{contaminant}}$$



Arles

- Stations permanentes (Rhône)
- Stations permanentes (affluents)
- Stations temporaires
- Stations permanentes depuis octobre 2018

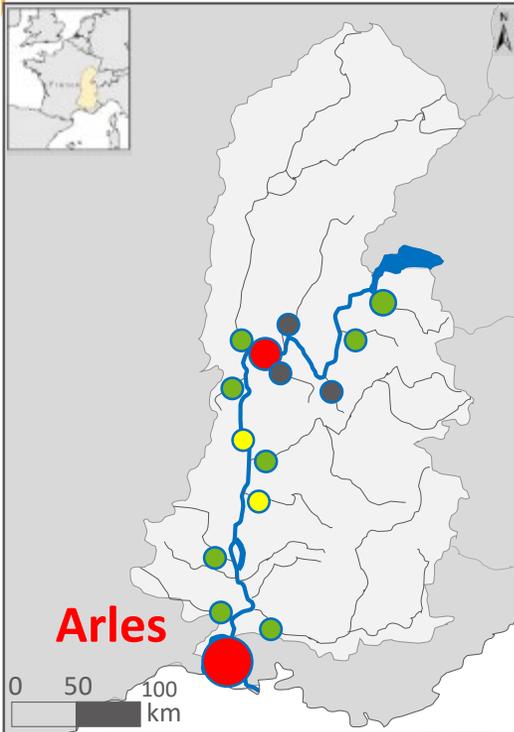


**Bilan en excès  
au printemps et été**

**Bilan en déficit  
en automne et hiver**

# Evaluer les flux et les stocks de contaminants

## Bilans et dynamique des flux

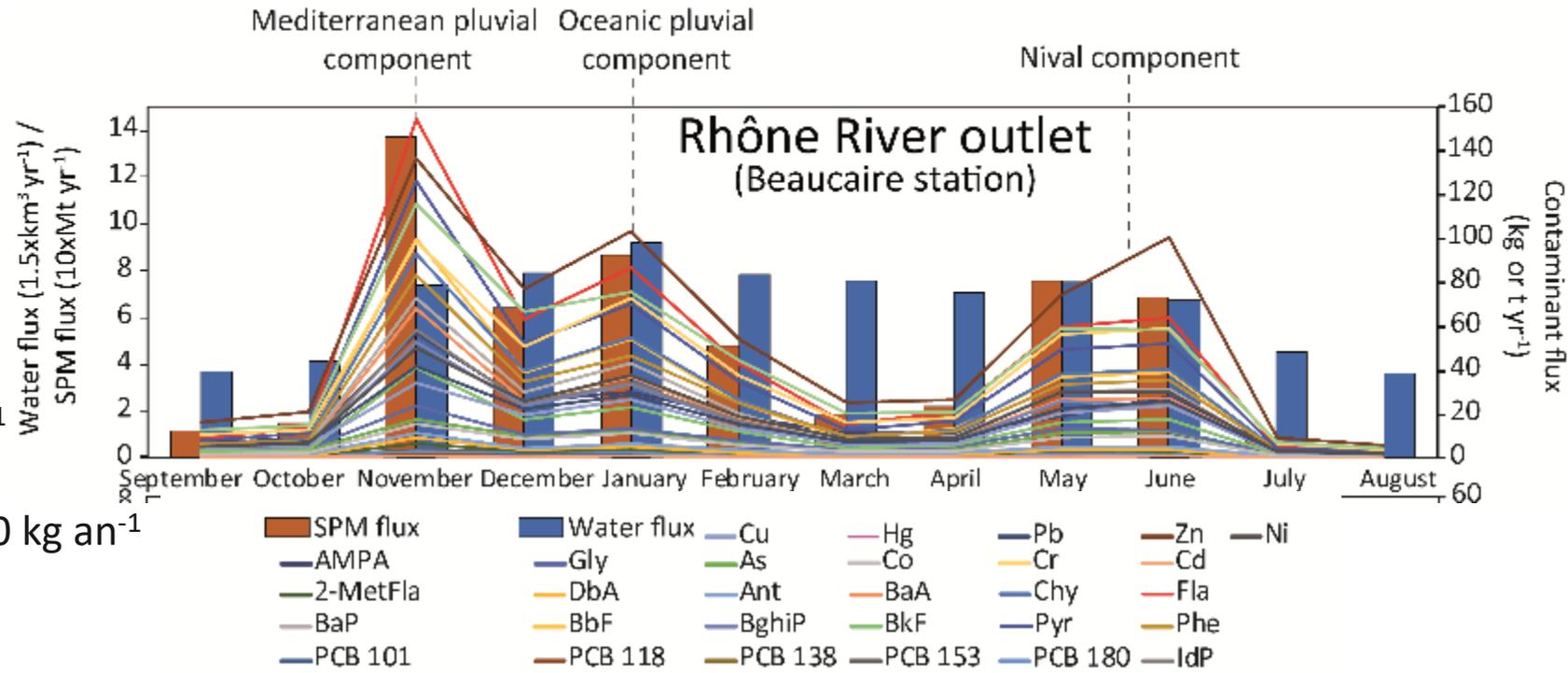


### Rhône Beaucaire

Novembre : 22 %  
 Janvier : 16 %  
 Mai : 12 %  
 Juin : 14 %

PCBi : ~ 60 kg an<sup>-1</sup>  
 HAP : ~ 3 t an<sup>-1</sup>  
 Glyphosate: ~ 100 kg an<sup>-1</sup>  
 Hg : ~ 500 kg an<sup>-1</sup>  
 Cd : ~ 2 t an<sup>-1</sup>  
 As : ~ 100 t an<sup>-1</sup>  
 Pb : ~ 200 t an<sup>-1</sup>

- Stations permanentes (Rhône)
- Stations permanentes (affluents)
- Stations temporaires
- Stations permanentes depuis octobre 2018

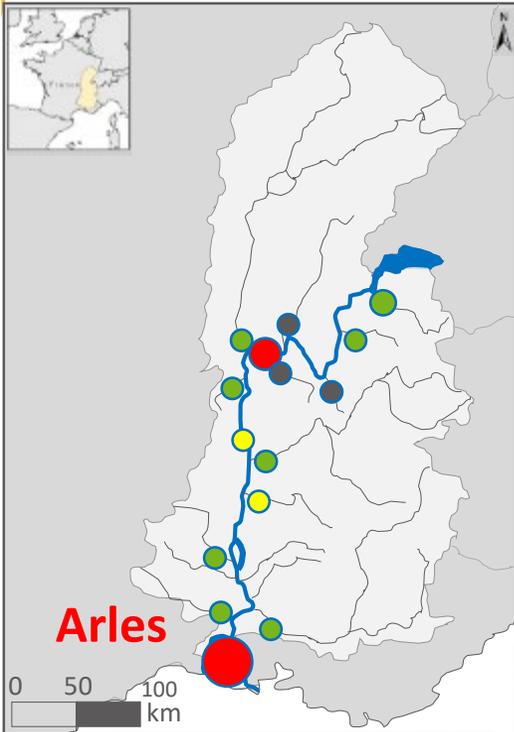


### Régime saisonnier tri-modal de la dynamique des flux de contaminants

Dynamique des flux contrôlée par les conditions hydro-climatiques du BV  
 2/3 des flux annuels de contaminants rejetés pendant 1/3 de l'année  
 70 % des flux totaux sont rejetés à la mer en période de crue ( $Q > 2900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )

# Evaluer les flux et les stocks de contaminants

## Bilans et dynamique des flux



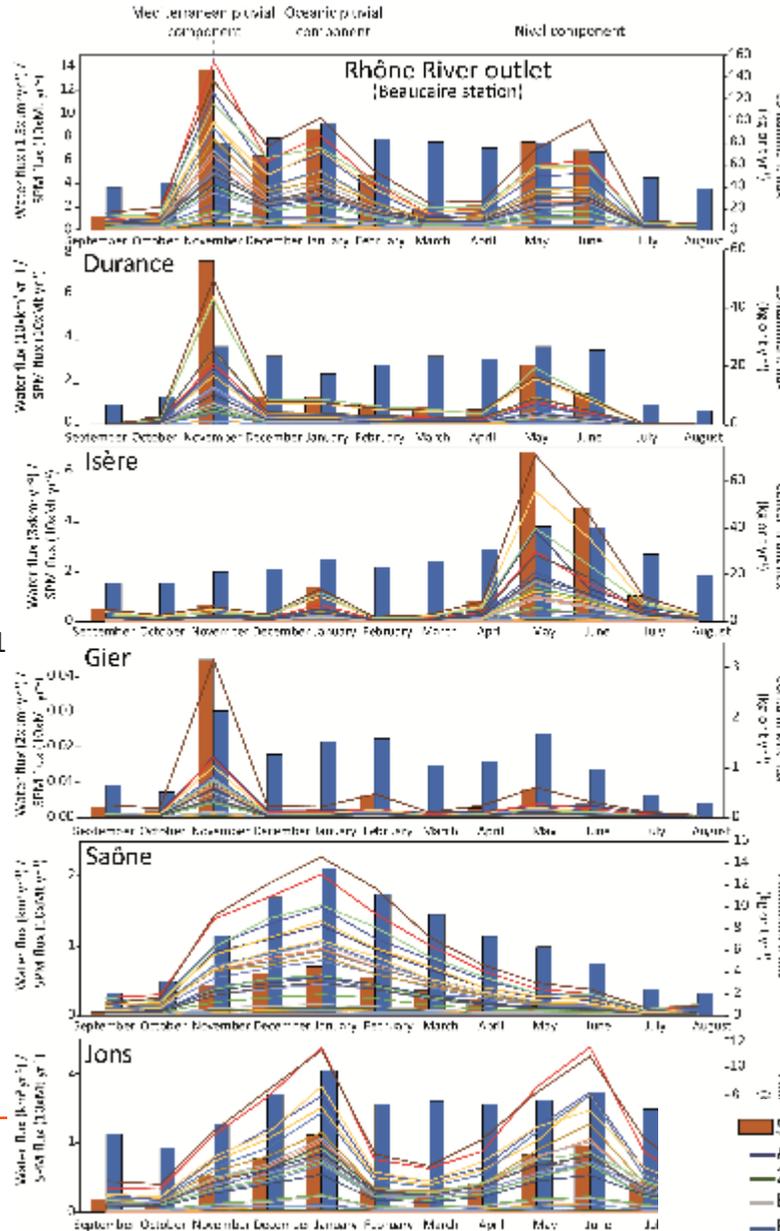
### Rhône Beaucaire

Novembre : 24 %  
 Janvier : 15 %  
 Mai-juin : 24 %

PCBi : ~ 100 kg an<sup>-1</sup>  
 HAP : ~ 3 t an<sup>-1</sup>  
 Glyphosate : ~ 100 kg an<sup>-1</sup>  
 Hg : ~ 500 kg an<sup>-1</sup>  
 Cd : ~ 2 t an<sup>-1</sup>  
 As : ~ 100 t an<sup>-1</sup>  
 Pb : ~ 200 t an<sup>-1</sup>

- Stations permanentes (Rhône)
- Stations permanentes (affluents)
- Stations temporaires
- Stations permanentes depuis octobre 2018

Delile et al., WR, 2020



Variabilité spatiale des sources de flux au cours de l'année :

**Durance** = 20 % de la composante Méditerranéenne

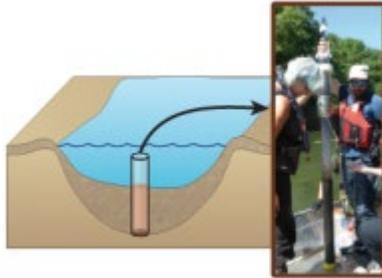
**Saône** (18%), Isère (14 %) et Haut-Rhône (10 %) = composante pluvio-océanique

**Isère** (84% et 34%), Durance (10 %) et Haut-Rhône (10 %) = composante nivale

# Evaluer les flux et les stocks de contaminants

## Notion d'archive sédimentaire en milieu fluvial

Comment une carotte devient-elle une archive sédimentaire de la contamination des fleuves?



*Terrain*

*Validation  
Archive*

*Analyse  
multicritère*

*Mesures des  
contaminants*

*Conclusion*

**Prélèvement d'une carotte aquatique ou terrestre en milieu fluvial**

**Trajectoire du fleuve**

- Géomorphologie
- Aménagement
- Environnement de dépôt

**Nature des particules**

- Origine (Allo/Autoch)
- Minéralogie
- Taille des grains

**Chronologie des dépôts**

- Analyse diachronique
- Datation absolue
- Evénement

**Archive sédimentaire fluviale**

Continue

Discret

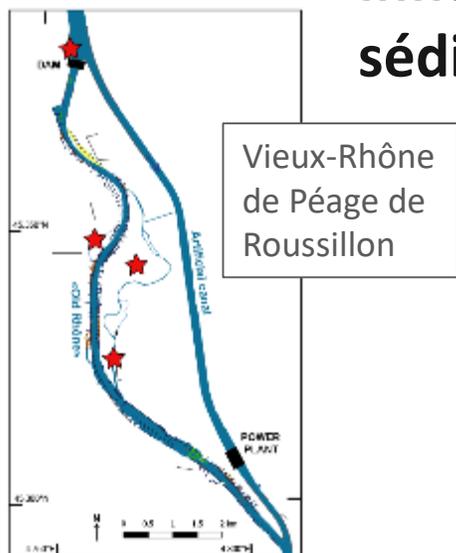
- Contaminants réglementés : évaluation des politiques publiques
- Contaminant d'intérêt émergent : aide à la réglementation

**Evaluation des tendances de contamination**

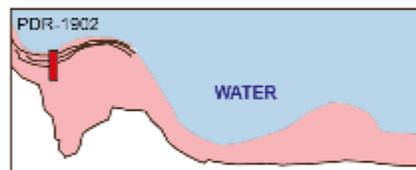
# Evaluer les flux et les stocks de contaminants

## Archive sédimentaire en milieu fluvial

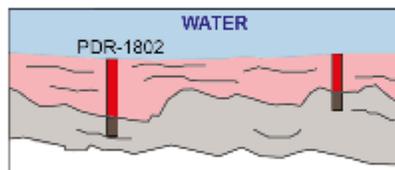
### Influence des environnements de dépôt sur les enregistrements sédimentaires de contaminants (ex. PCB, PBDE)



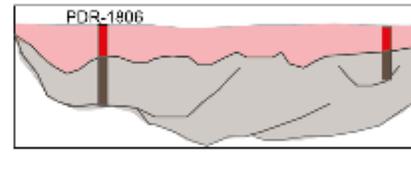
Réservoir de barrage



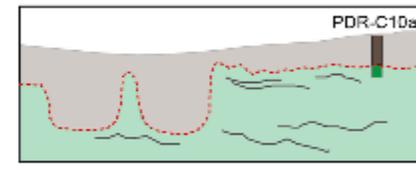
Chenal secondaire actif



Chenal secondaire semi actif



Plaine d'inondation

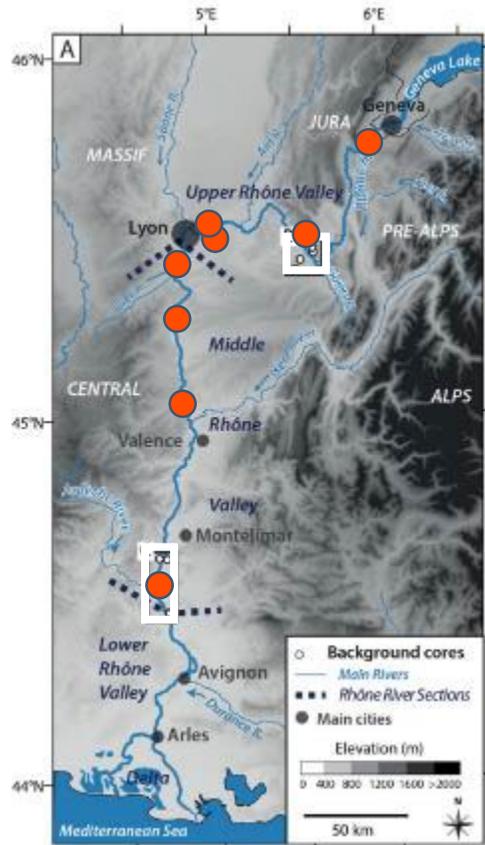


Les stocks les plus contaminés sont ceux qui ont enregistré une forte sédimentation au moment où les flux de contaminants étaient les plus importants

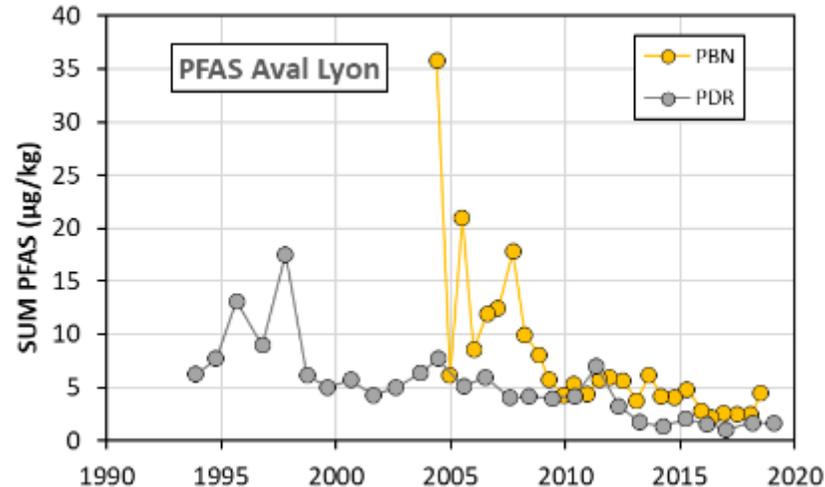
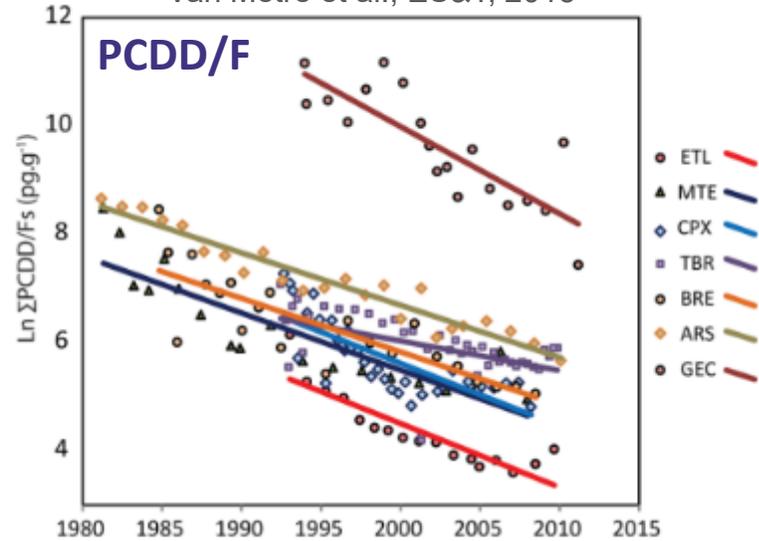
# Evaluer les flux et les stocks de contaminants

## Archive sédimentaire en milieu fluvial

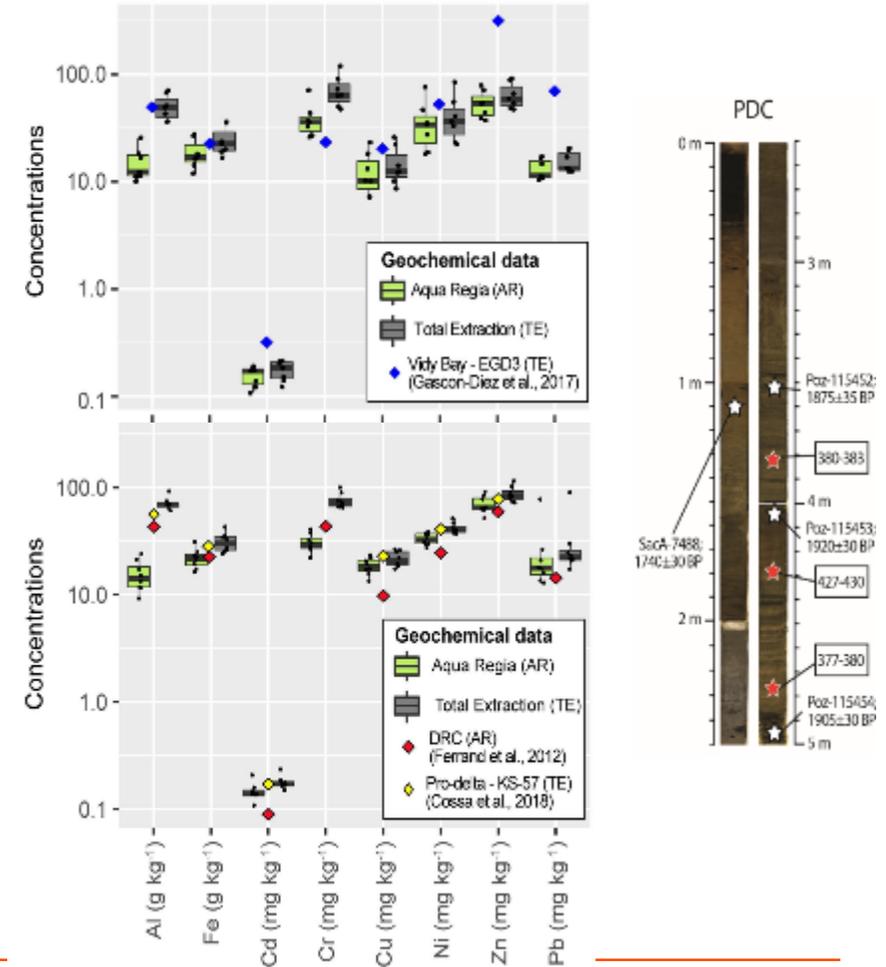
### Détermination de tendances



Van Metre et al., ES&T, 2015



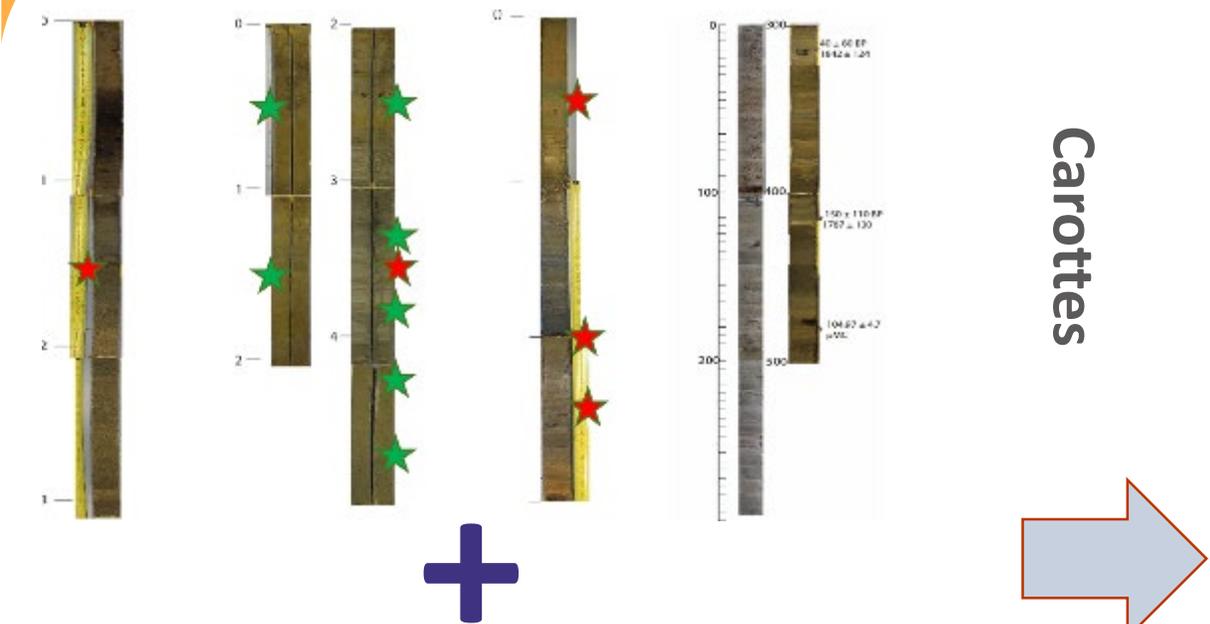
### Fond géochimique médian (MGB)



Dendievel et al., DIB, 2020

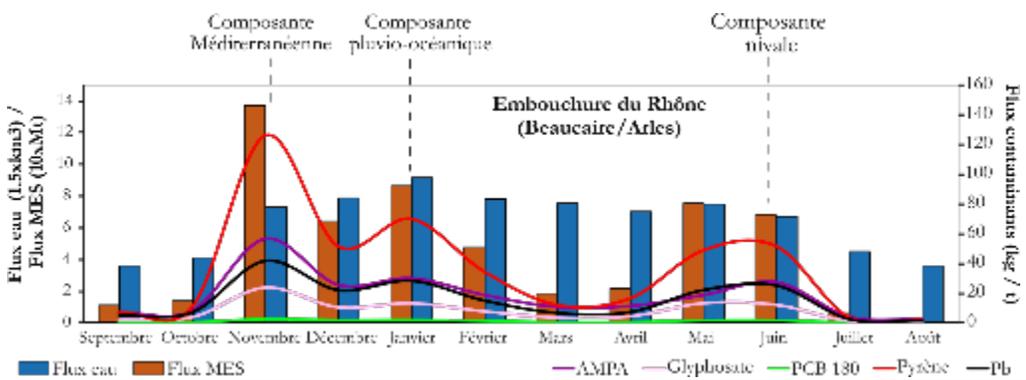
# Utilisation combinée des flux de contaminants en transit et stockés

## Les flux particuliers subactuels de contaminants



Carottes

Flux sub-actuels



Flux

OSR

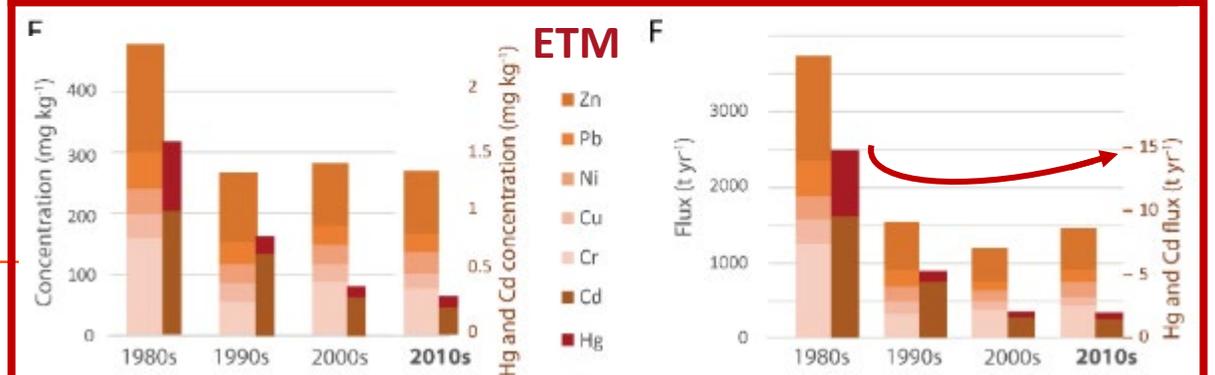
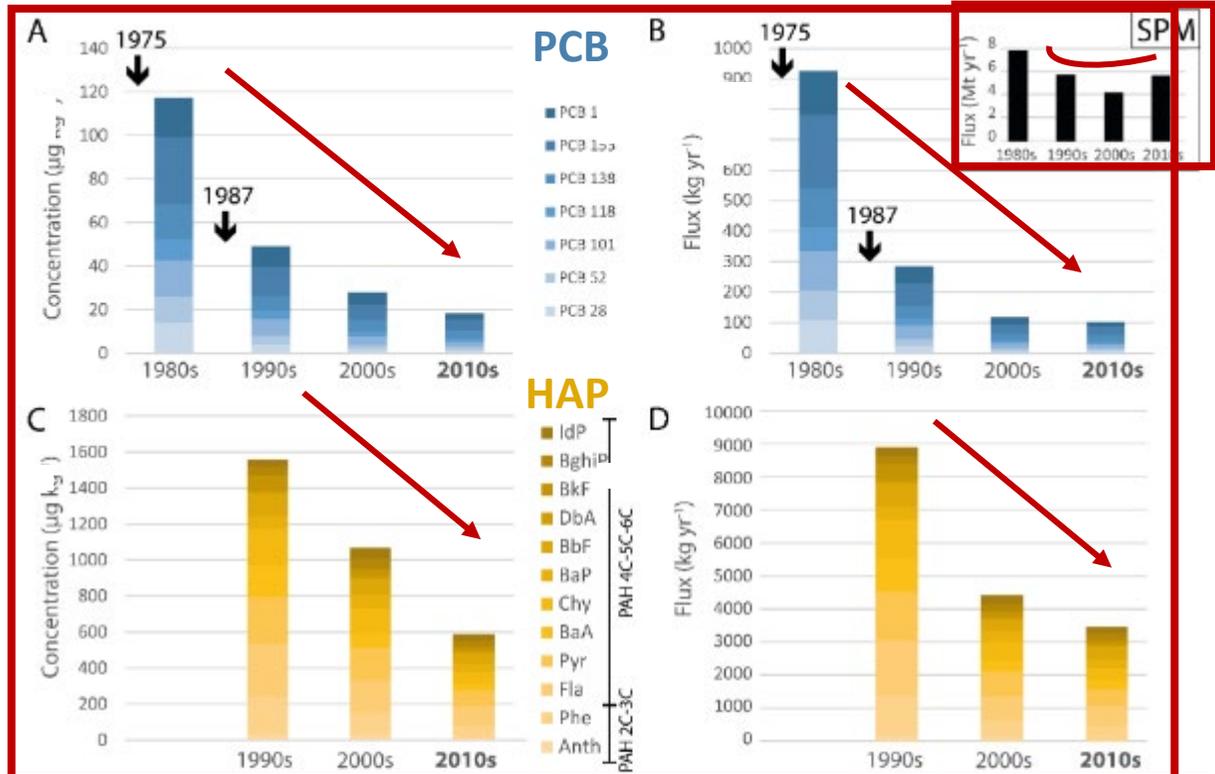
Delile et al., WR, 2020

Delile et al., HP, 2022

Concentrations contaminants

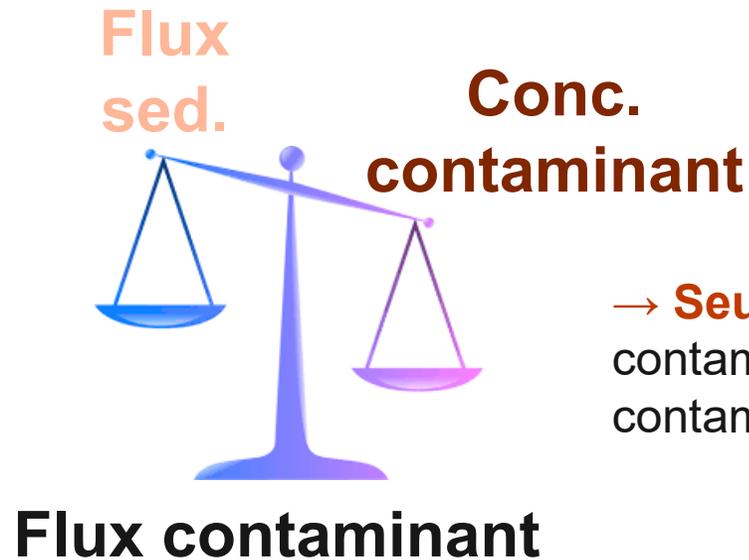
Flux contaminants

Flux MES



# Utilisation combinée des flux de contaminants en transit et stockés

## Impact des flux sédimentaires et des concentrations de contaminants sur les flux de contaminants

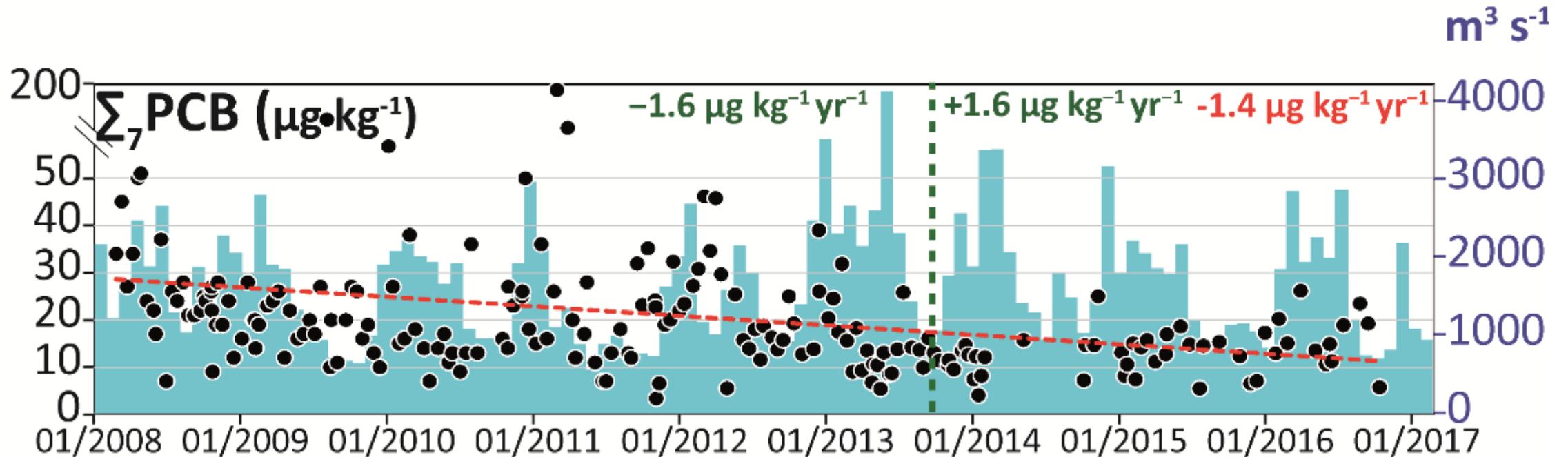


→ **Seuil à 30 %** : toute variation de concentration de contaminant supérieure à ce seuil impacte les flux de contaminants

- 1) **PCB et HAP** : flux contrôlés exclusivement par les concentrations ;
- 2) **Cr, Hg et Cd** : flux contrôlés principalement par les concentrations ;
- 3) **Pb, Zn et radionucléïdes** : flux contrôlés principalement par les flux sédimentaires;
- 4) **Cu et Ni** : flux contrôlés exclusivement par les flux sédimentaires.

# L'exemple des PCB dans le Rhône et ses zones de stockage

## Tendance temporelle des concentrations à l'embouchure

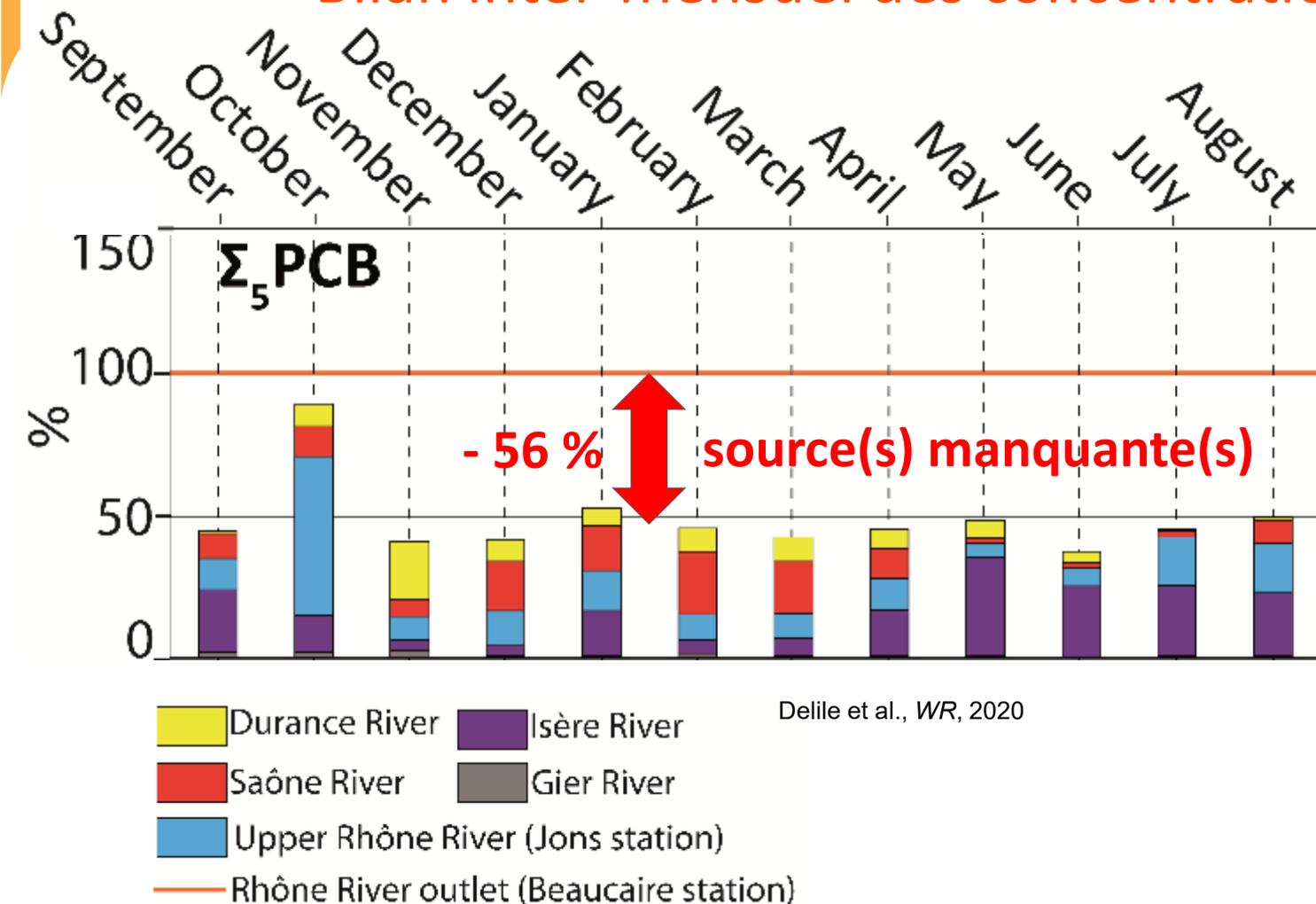


Delile et al., *HP*, 2022

- Diminution significative entre 2008 et 2017 (de  $30$  à  $15 \mu\text{g kg}^{-1}$ )
- Influence hydrologique nulle
- Rémanence depuis 5 ans des PCB dans le Rhône ( $15 \mu\text{g kg}^{-1}$ )

# L'exemple des PCB dans le Rhône et ses zones de stockage

## Bilan inter-mensuel des concentrations des PCB



**Déficit :**  
 concentrations sortantes (Arles) - somme  
 des concentrations entrantes (affluents)

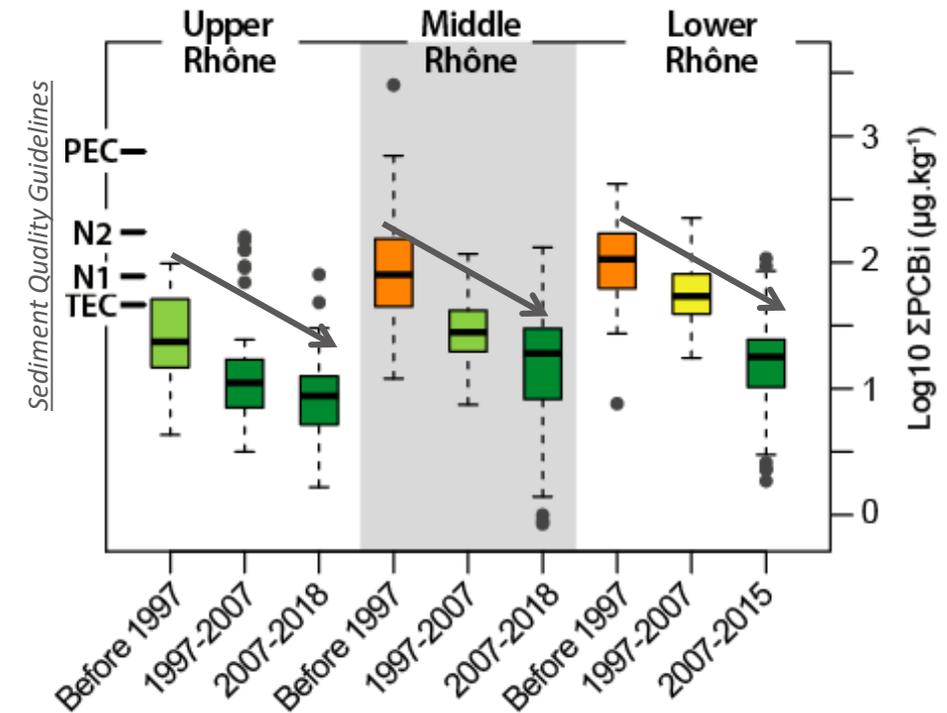
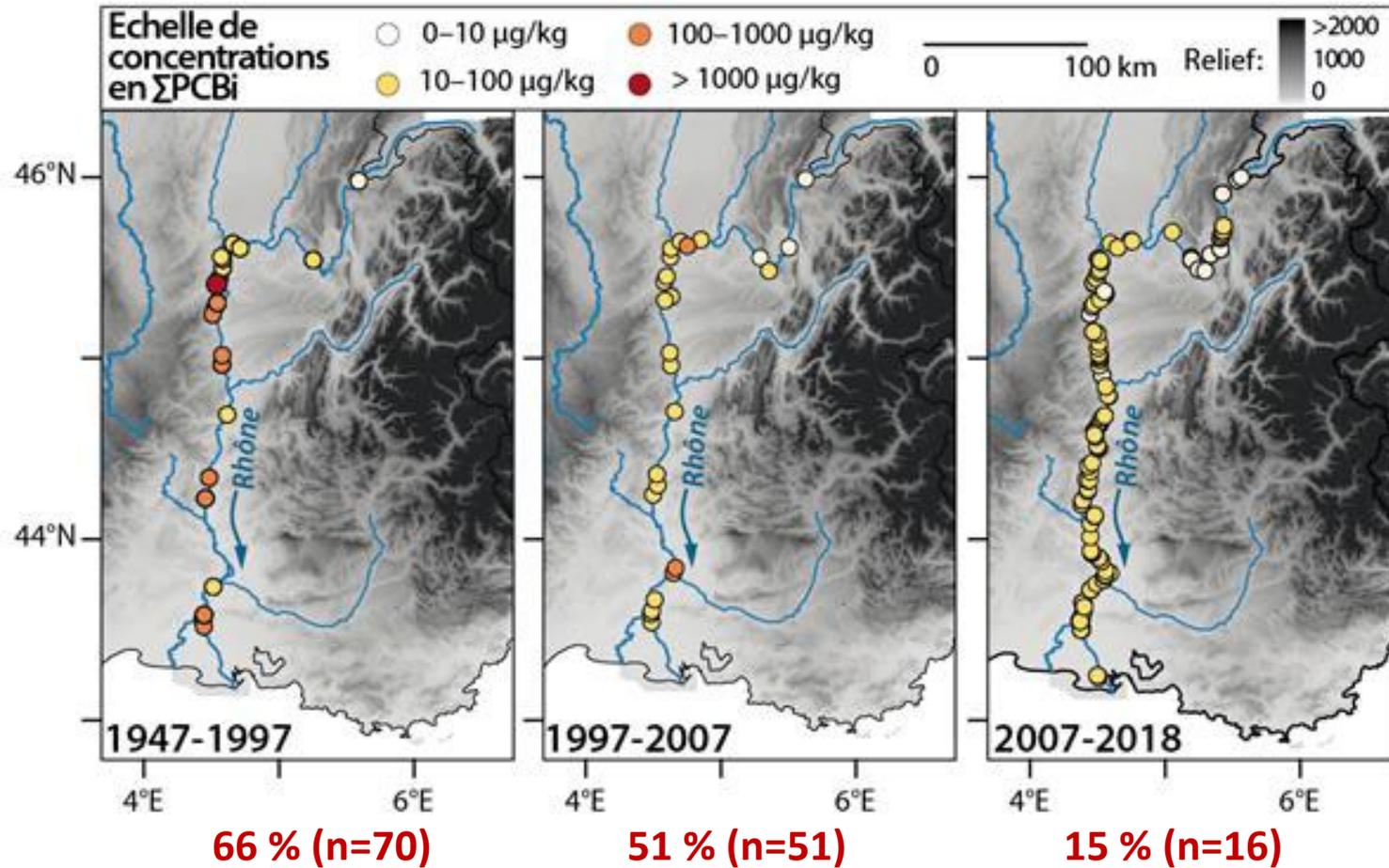
### SOURCES MANQUANTES POTENTIELLES :

- Déstockage des marges alluviales
- Opérations de dragage/chasses
- Charge de fond non captée par le réseau
- Affluents non monitorés au moment de l'étude

# L'exemple des PCB dans le Rhône et ses zones de stockage

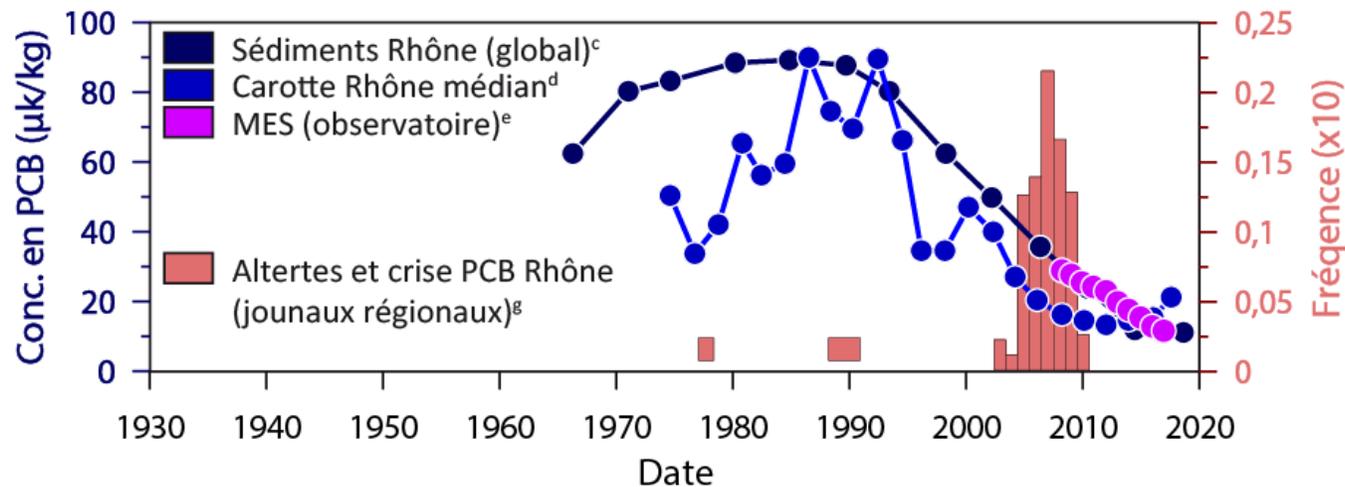
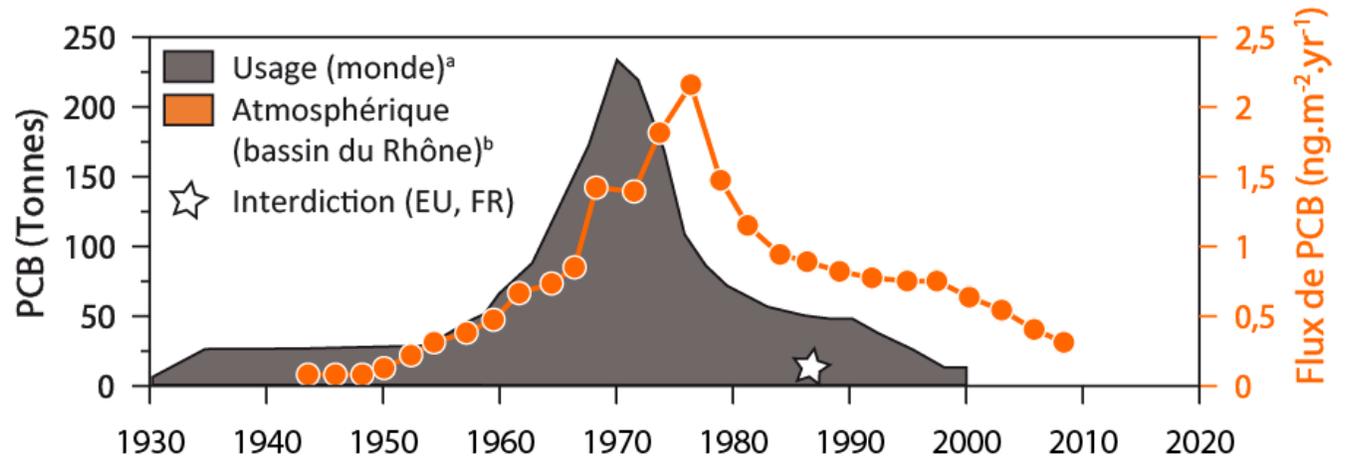
## Évaluation des tendances le long du corridor depuis 1945

Synthèse de données existantes (OSR, questionnaires, Naïades, etc.)



# L'exemple des PCB dans le Rhône et ses zones de stockage

## Dissymétries socio-environnementales de la crise PCB du Rhône

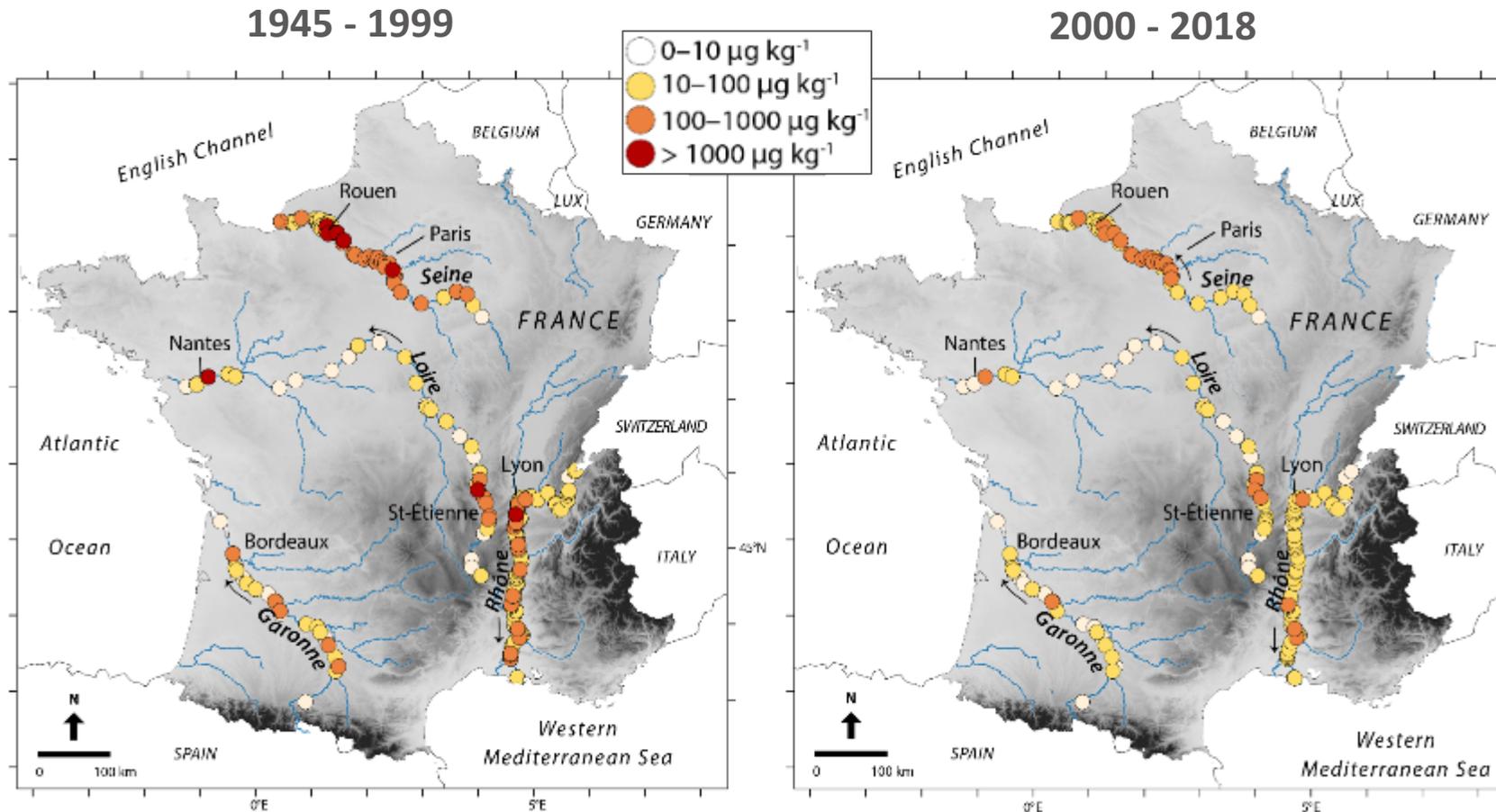


- Décalage entre la baisse d'utilisation des PCB (années 80) et la réponse du milieu récepteur : 20 à 30 ans d'écart
- Pas de corrélation entre quantité de PCB dans le milieu et la « crise » socio-politique - dont la durée est courte
- A partir de 2010 : pollution ambiante stable ( $15 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), mais il reste des stocks.
- Surveillance de la tendance sur quelques sites sera une réponse de gestion suffisante.

# Comparaison inter-bassins de la contamination

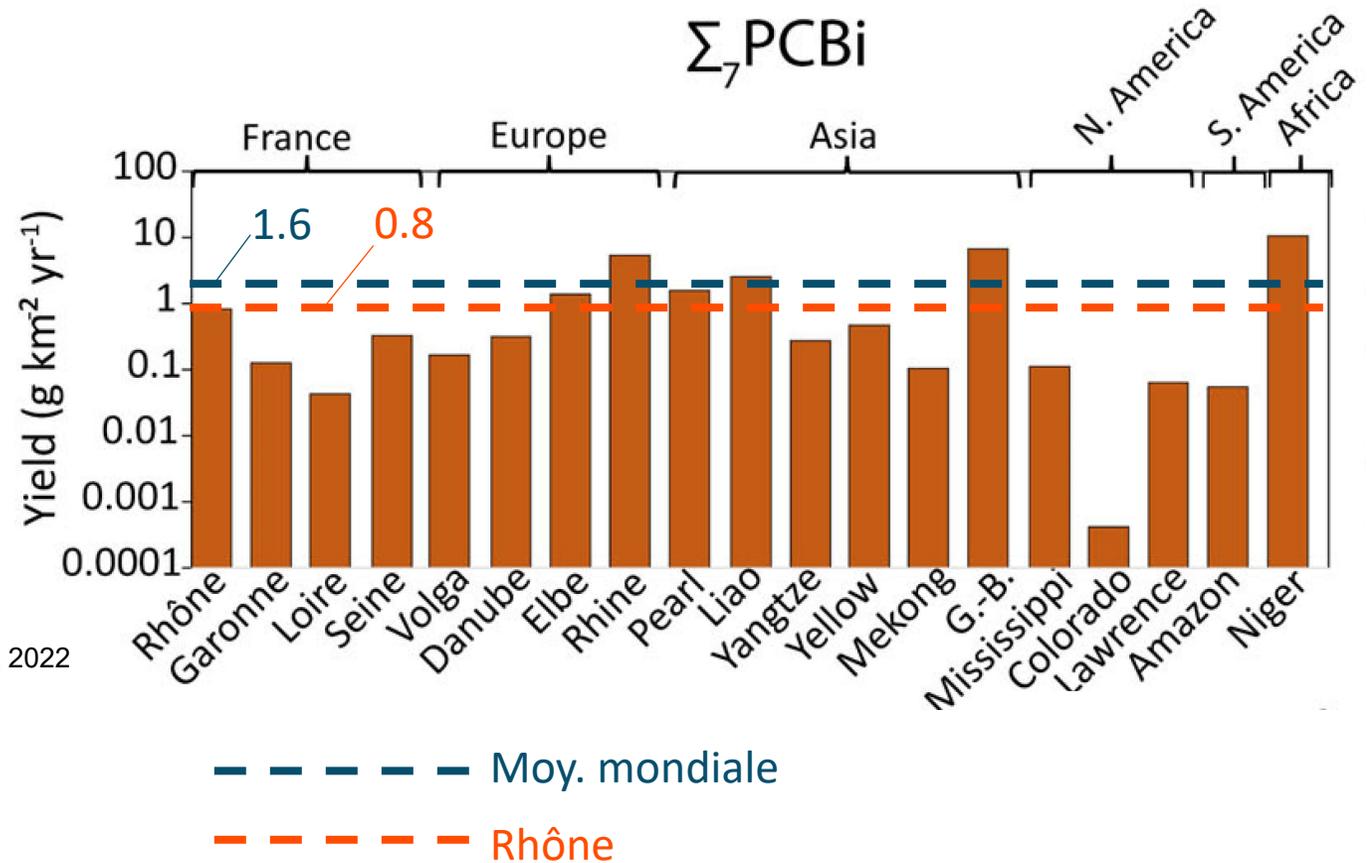
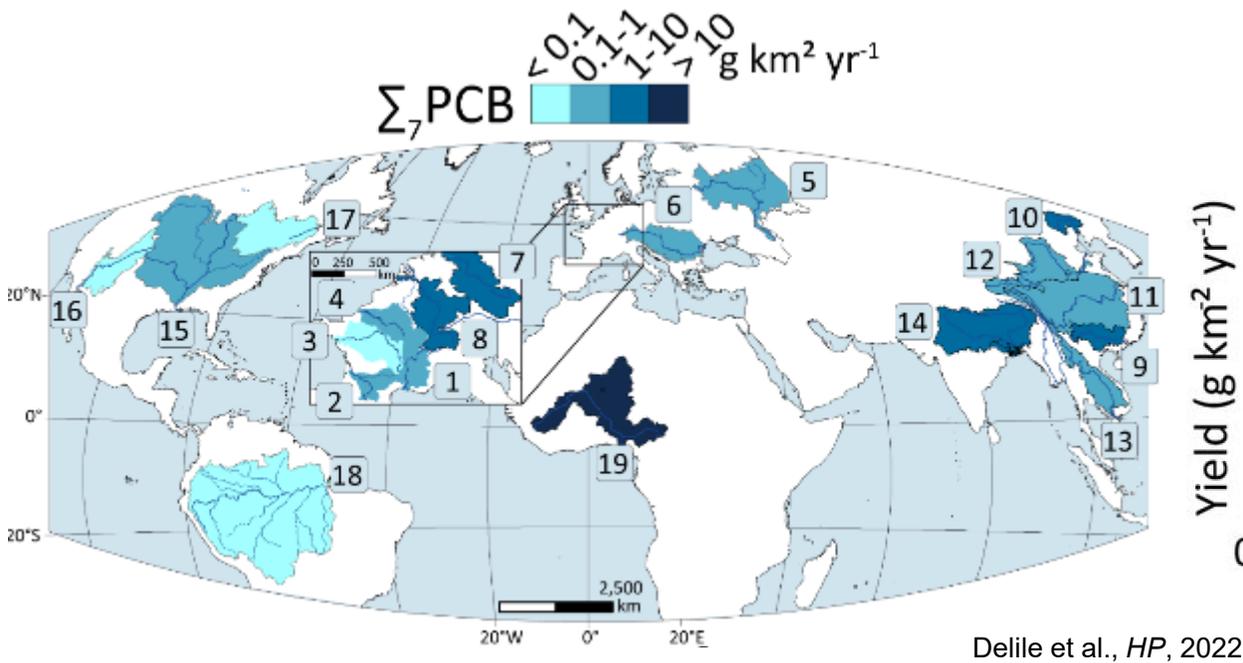
Le cas des PCB à l'échelle nationale : 4 fleuves, 2 périodes

Tendance générale l'atténuation des concentrations en PCB : effet des politiques publiques



# Comparaison inter-bassins de la contamination

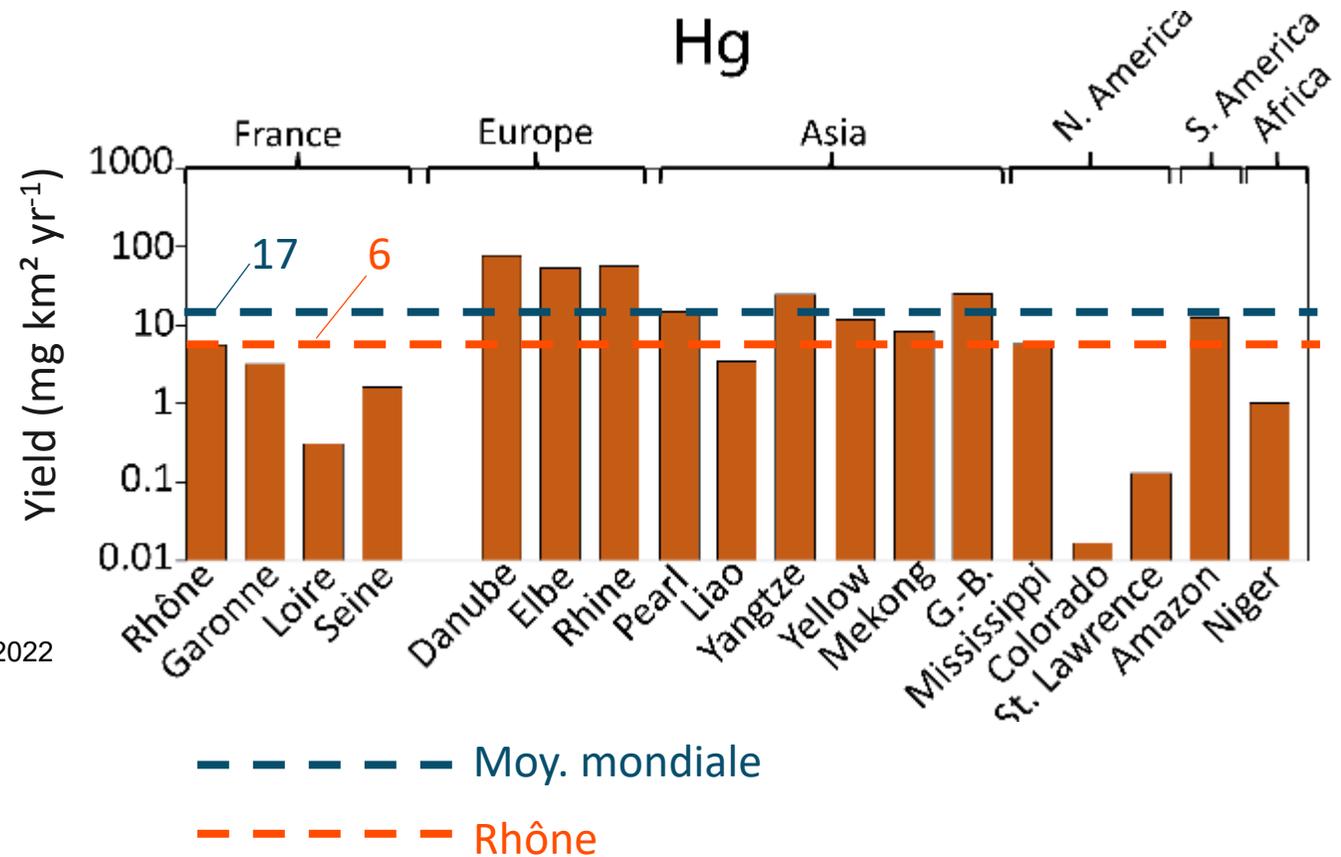
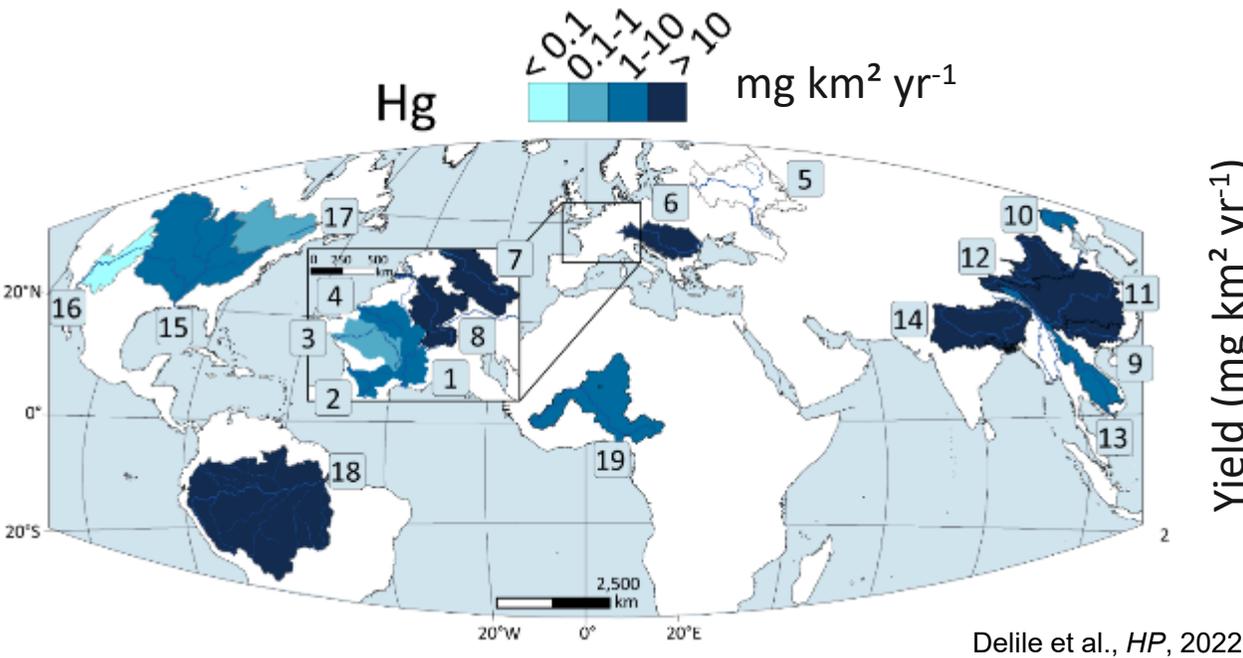
## Le cas des PCB dans les grands bassins fluviaux du monde



Rhône vs. France : contamination supérieure  
 Rhône vs. Europe : contamination similaire  
 Rhône vs. monde : contamination inférieure

# Comparaison inter-bassins de la contamination

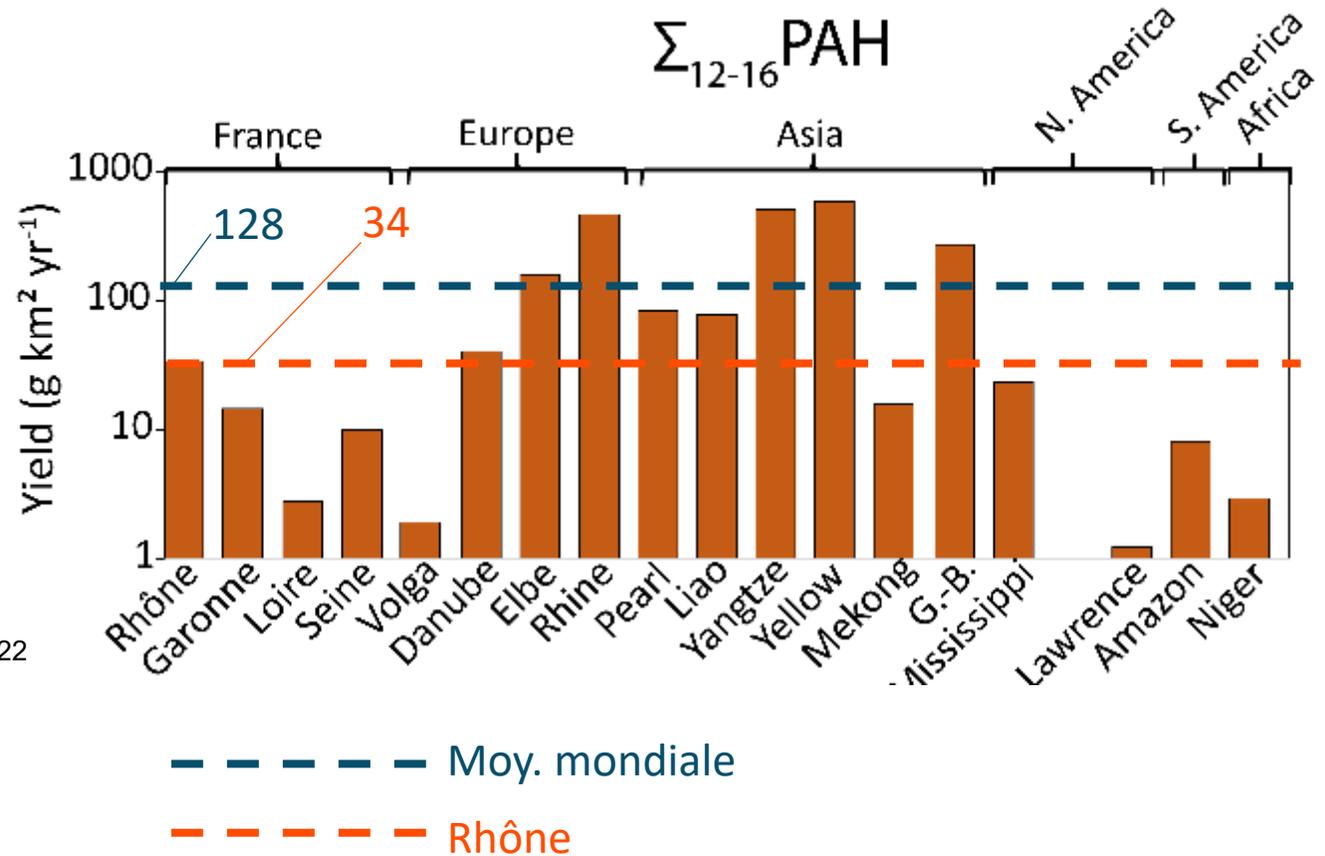
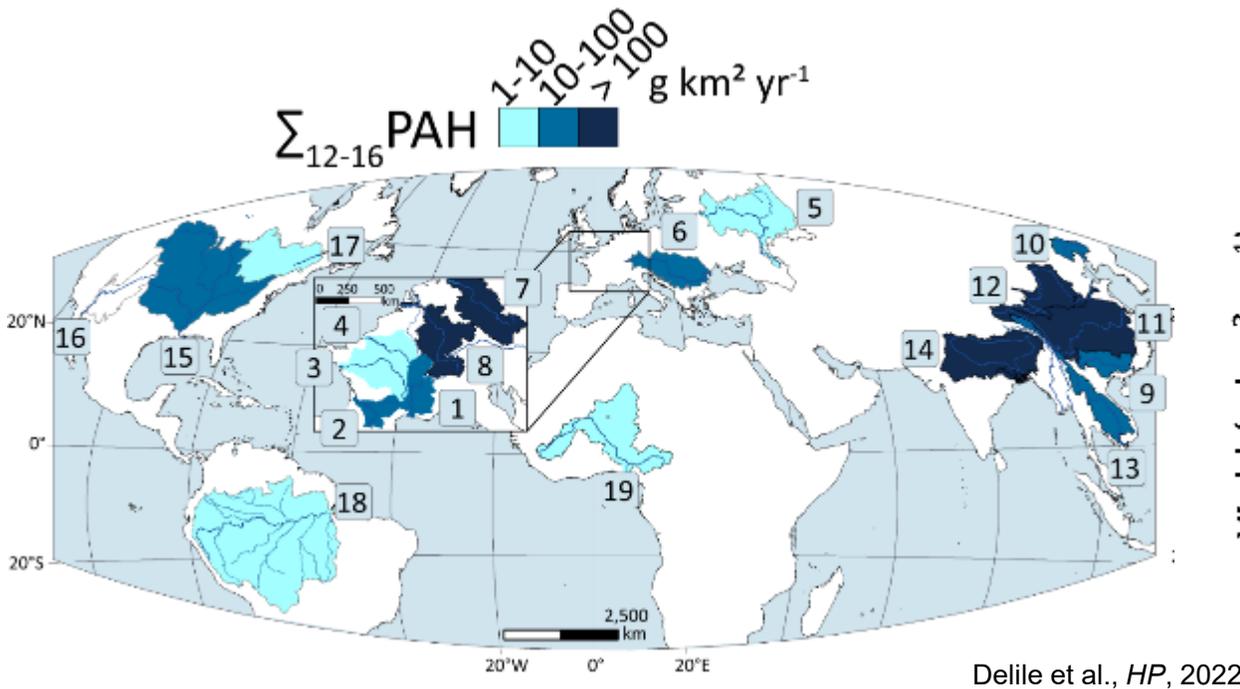
## Le cas du Hg dans les grands bassins fluviaux du monde



Rhône vs. France : contamination supérieure  
 Rhône vs. Europe : contamination nettement inférieure  
 Rhône vs. monde : contamination inférieure

# Comparaison inter-bassins de la contamination

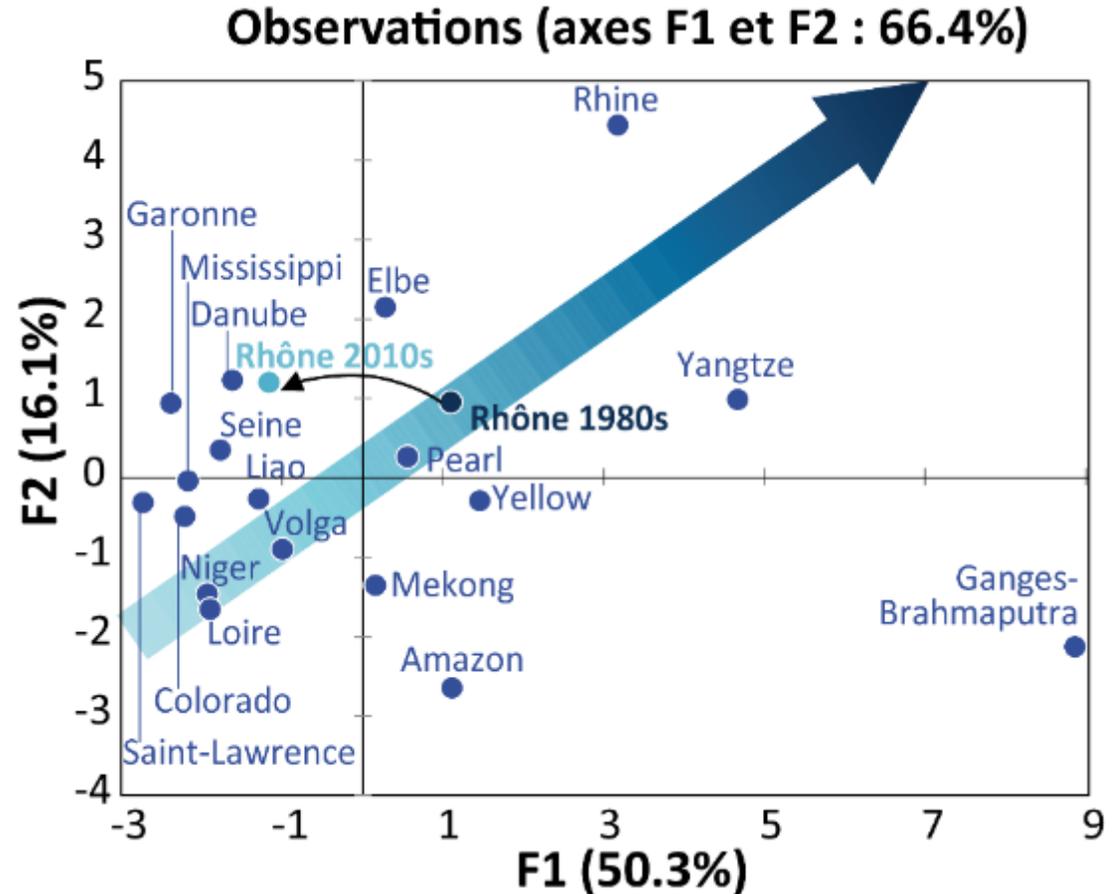
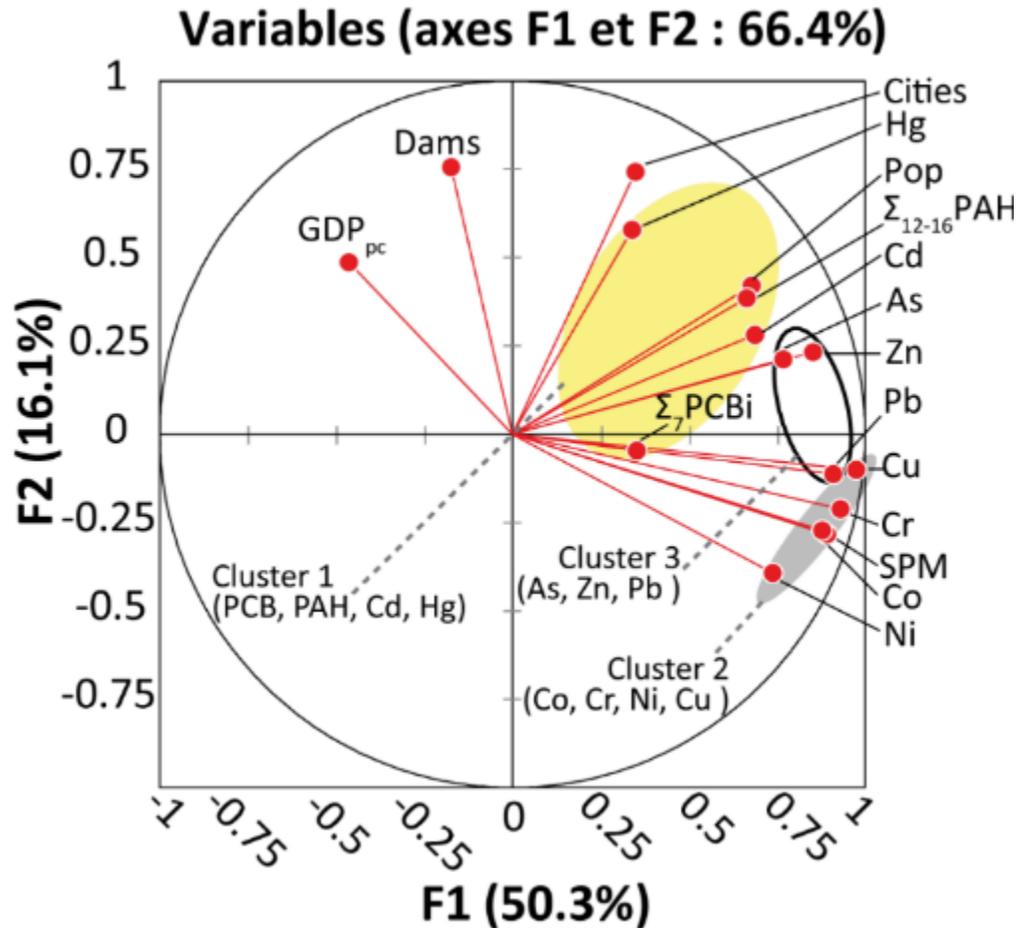
## Le cas du PAH dans les grands bassins fluviaux du monde



Rhône vs. France : contamination supérieure  
 Rhône vs. Europe : contamination inférieure  
 Rhône vs. monde : contamination inférieure

# Comparaison inter-bassins de la contamination

Le cas des ETM, PCB, HAP dans les grands bassins fluviaux du monde



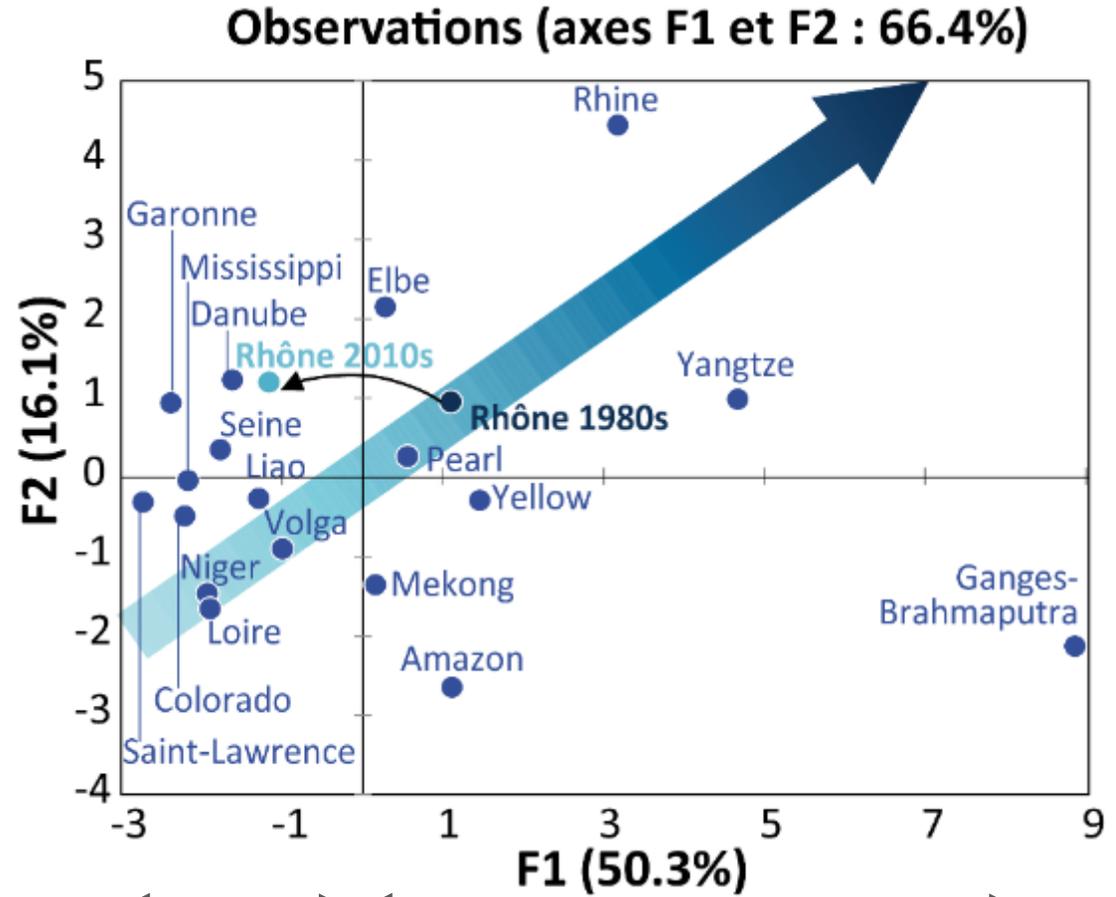
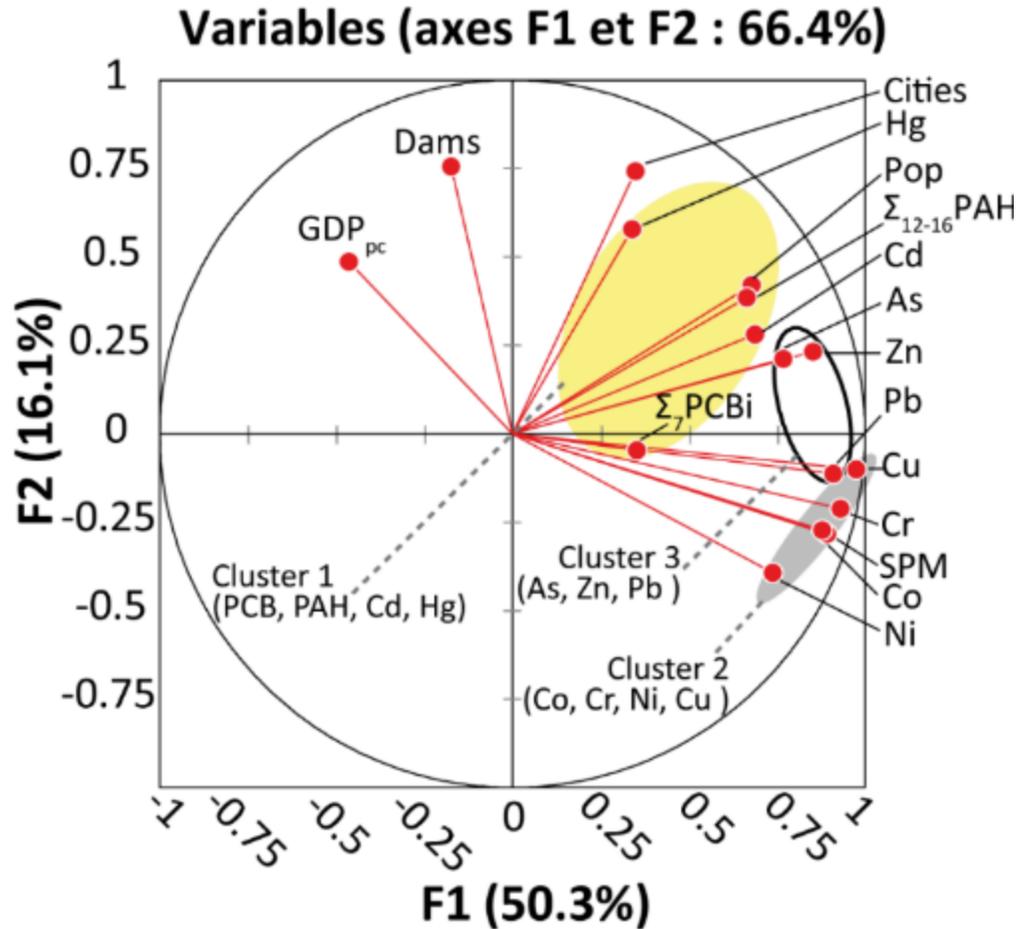
Delile et al., *HP*, 2022



Intensité croissante du niveau de la contamination générale des bassins par les contaminants hérités

# Comparaison inter-bassins de la contamination

Le cas des ETM, PCB, HAP dans les grands bassins fluviaux du monde



Pays développés  
à revenu élevé

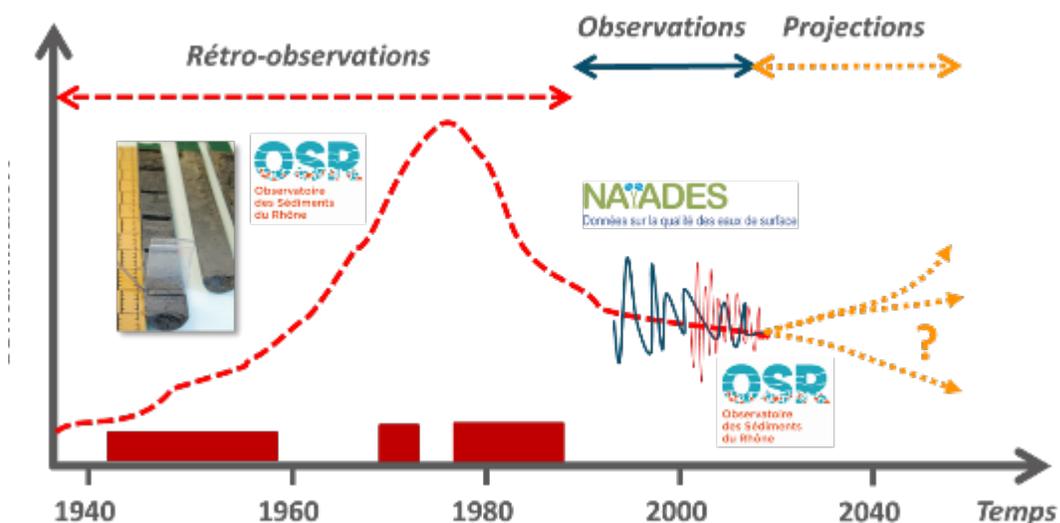
Pays en développement  
à revenu faible à moyen

# Conclusions

- Forte variabilité annuelle et intra-annuelle des flux de MES et de contaminants
- Forte disparité spatiale (Nord-Sud) des flux de MES et de contaminants à l'échelle du BV
- Les conditions hydro-climatiques contrôlent la dynamique des flux de MES et de contaminants
- La qualité des eaux du Rhône s'est significativement améliorée. Stabilité, fond ambiant pour les ETM depuis 1990; PCB, PCDD/F (2000); Bromés (2010); PFAS (2010-2015)
- Déconnexion des alertes avec les niveaux de contamination, les réseaux d'acteurs régionaux et le choc perspectif font écho

# Perspectives

- Pérenniser le réseau d'observation : substances d'intérêt émergent, screening non ciblé, microplastiques...
- Modélisation des flux de contaminants (transit, stock)
- Scénarios dans un contexte de changement





Observatoire  
des Sédiments  
du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres



Partenaires techniques et financiers



AVEC LE SOUTIEN DE L'UNION EUROPÉENNE

