

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



Workshop de restitution

04/07/2022 - I.S. Rivers

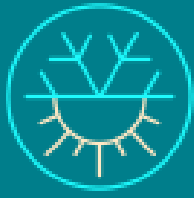
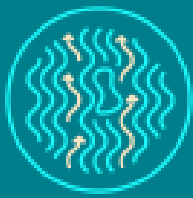
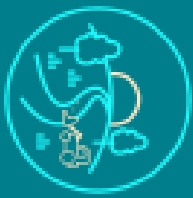
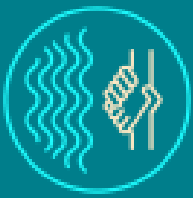


L'école de l'aménagement durable des territoires

ENTPE



EPOC
UMR5805



Workshop INTERPOL

Lundi 4 juillet 2022 Lyon

Préprogramme

Accueil 9h30

10h Restitution projet Interpol

- Introduction et objectifs – *Olivier Perceval (OFB) et Brice Mourier (LEHNA-ENTPE)*
- Base de donnée de la contamination sédimentaire des fleuves français : synthèse des données issues d'archives sédimentaires et du suivi réglementaire des masses d'eau – *Brice Mourier et André-Marie Dendievel (LEHNA-ENTPE)*
- Trajectoire spatio-temporelle de la contamination des sédiments par les polychlorobiphényles (PCB) dans quatre grands corridors fluviaux français (1945-2018) – *Brice Mourier (LEHNA-ENTPE)*
- Vers une comparaison internationale de la pollution des sédiments fluviaux : Facteurs clés influençant les concentrations de métaux le long de sept rivières d'Europe occidentale (1945-2020) – *André-Marie Dendievel (LEHNA-ENTPE)*

12h30 repas – buffet

14h Retours d'expériences

- Recommandations en matière d'échantillonnage, d'analyse et d'interprétation des archives sédimentaires pour une améliorer la comparaison des tendances à long terme de la contamination des fleuves – *Elie Dhivert (GEHCO – Univ. Tours)*
- Retour sur les Projets MetOrg - plus de 10 ans d'analyse des archives sédimentaires dans le bassin de la Loire – *Cécile Grosbois (GEHCO – Univ. Tours)*
- Une lecture du statut économique des grands bassins fluviaux par l'évaluation de leur niveau de contamination aux micropolluants hérités – *Hugo Delile (Archéorient-CNRS)*
- Trajectoire de la contamination à partir de sondages sédimentaires : nécessité d'étudier finement les processus de sédimentation au niveau des infrastructures fluviales – *Gabrielle Seignemartin (LEHNA-ENTPE)*

Introduction

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



ZA Zones
Ateliers
L'ESR FRANCE

Le projet INTERPOL est un dispositif national de comparaison des tendances à long terme de la contamination des grands fleuves basé sur des archives sédimentaires prélevées dans les sites de référence du réseau Inter-ZA de l'INEE.

Pour l'OFB, cette action vise à développer et mettre à disposition des méthodologies permettant de caractériser l'évolution des tendances temporelles à long terme de la contamination des milieux d'eau douce.

→ Inscrite au « Plan Micropolluants 2016-2021 pour préserver la qualité des eaux et de la biodiversité »

Durée : 2018-2021

Objectifs

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



1 - Recommandations en matière d'échantillonnage, d'analyse et d'interprétation des archives sédimentaires pour améliorer la comparaison des tendances à long terme de la contamination des fleuves

2 - Bilan de l'exploitation des données de contamination particulière (carotte, sédiment, MES) sur les grands axes fluviaux : tendances décennales, facteurs clefs

Partenaires et moyens techniques

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



ZA Zones
Ateliers
LTSER FRANCE

ZABR



Cartographie, géophysique,
carottage, caractérisation
sédimentaire, data mining

ZAL



Carottage, caractérisation
sédimentaire



Réseau des ZA
du CNRS-INEE

ZAS



Datation, carottage, logging
sédimentaire (hyperspectrale)



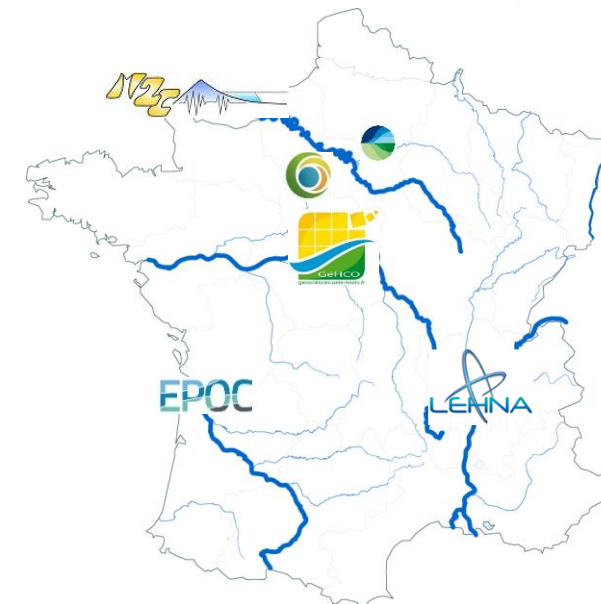
Direction de la
recherche et de
l'appui scientifique

BV Garonne
/ Gironde



Chimie environnementale:

- Eléments métalliques,
- POPs,
- Emergents.



Moyens humains

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



<p>Alexandra Coynel</p>	<p>brice.mourier</p>	<p>Nicolas Macorps</p>	<p>André-Marie Dendievel</p>
<p>helene budzinski</p>	<p>grosbois-bacchi</p>	<p>olivier.perceval</p>	<p>Quentin FAIVRE</p>
<p>thierry.winiarski</p>	<p>Olivier Evrard</p>	<p>Pierre Labadie</p>	<p>Maxime Debret</p>
<p>Sophie</p>	<p>Marc Desmet</p>		

Contexte

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Zones
Ateliers
L'ESR FRANCE

- Le changement global fait peser une **pression considérable** sur les masses d'eau
- **Le développement industriel et urbain** le long des fleuves européens après 1945 a entraîné des impacts majeurs et des détériorations de la qualité de l'eau et des sédiments (Meybeck, 2013)
- Les **pollutions chimiques** sont un des facteurs avérés de **l'érosion de la biodiversité** (aquatique et terrestre) et impactent la santé humaine (EEA, 2018)
- **Réponses** : début de l'évaluation de la qualité des masses d'eau dans les années 1970, 1^{ères} réglementations années 1980, loi sur l'eau en 1992 et directive cadre sur l'eau (DCE) en 2000 : « *l'évaluation de la qualité des eaux de surface repose, entre autres, sur l'établissement de **tendances sur le long terme.*** »



- **Moyens :**

Suivi des masses d'eau

Introduction des micropolluants - polluants métalliques ou organiques - dans les années 1990 et s'accélère après 2000
→ matrice sédimentaire

NAADES
Données sur la qualité des eaux de surface



Archives sédimentaires

Outil permettant de reconstruire à postériori les concentrations ayant transitées dans les fleuves à l'échelle pluri-décennale.



Contexte

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français

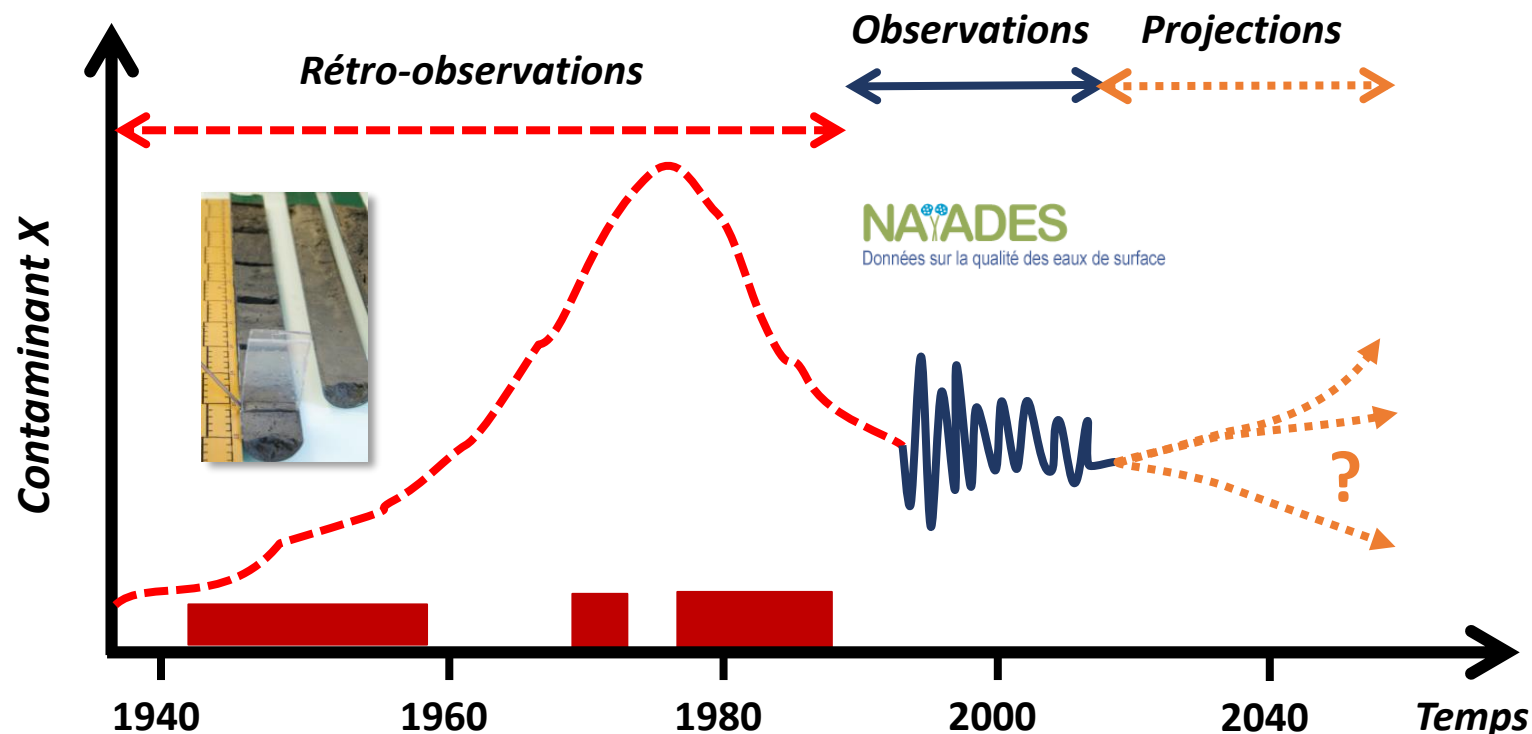


Hypothèse : l'analyse croisée des profils de contaminants dans les carottes et des suivis permettent d'évaluer les tendances de la contamination des fleuves à long terme (depuis 1945).

Echelle spatiale :
cluster géographique,
3 secteurs,
corridor

Limites

- Redressage de données hétérogènes (métrique, fréquence, méthode)
- Etudier finement les processus de sédimentation (infrastructures) et la trajectoire du fleuve



Contexte

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



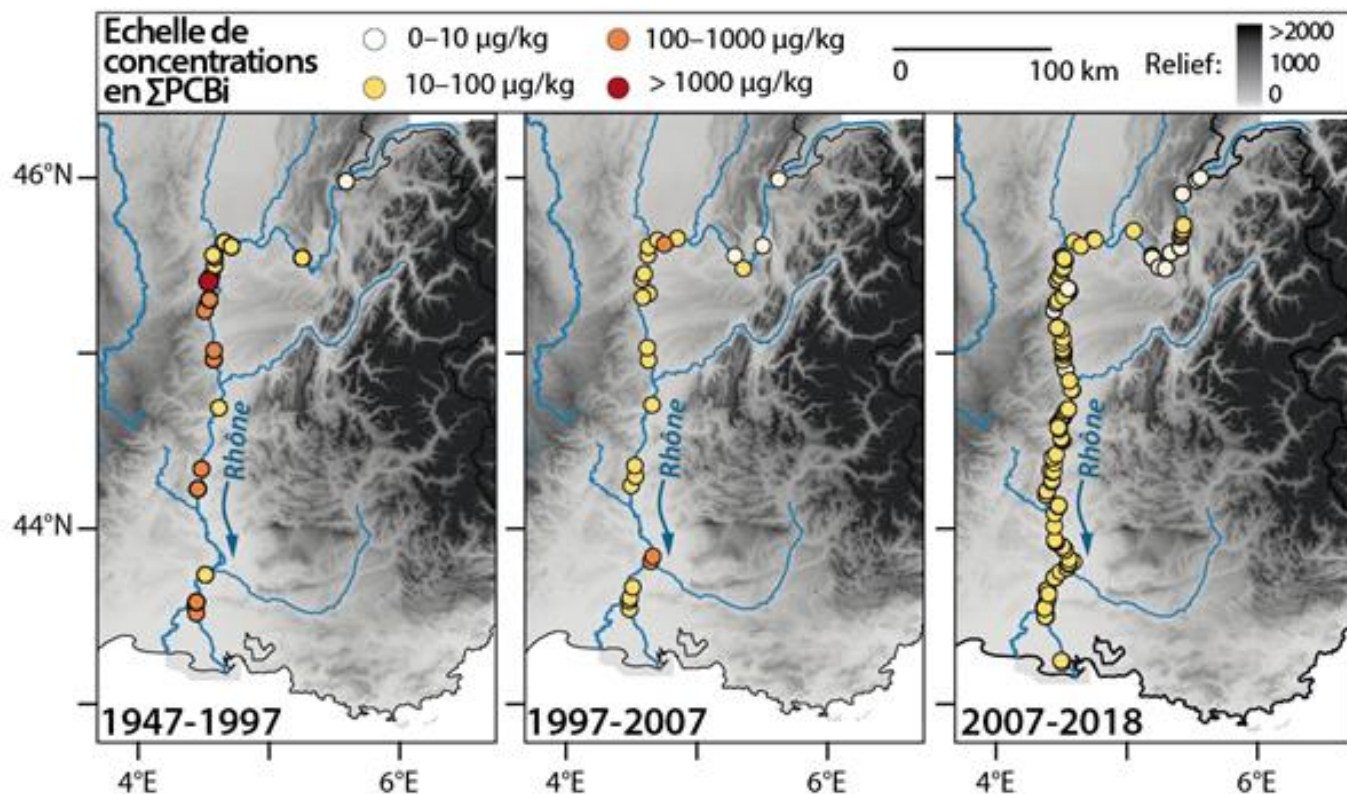
OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Zones
Ateliers
LTER FRANCE

Les archives sédimentaires améliorent sensiblement l'évaluation des tendances

Spatiale

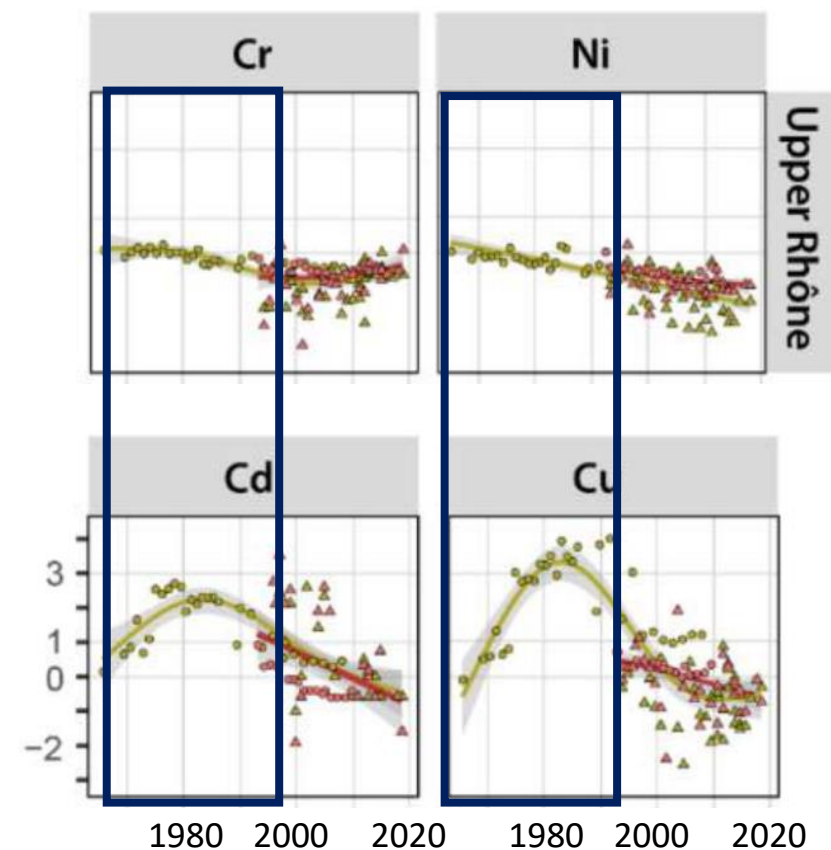


66 % (n=70)

51 % (n=51)

15 % (n=16)

Temporelle



+ 30 ans

Démarche générale

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



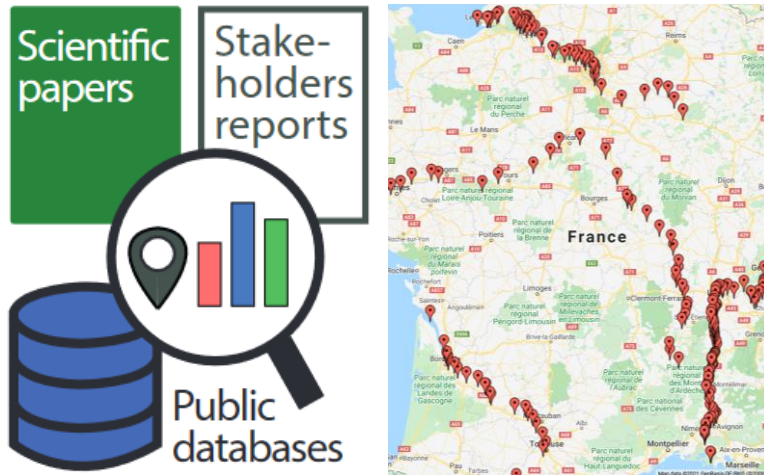
OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



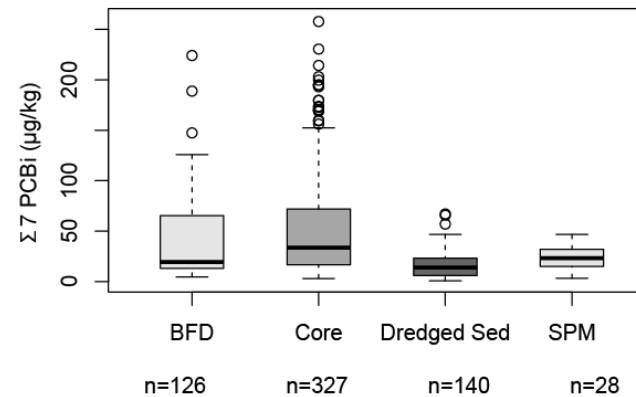
Zones
Ateliers
LTER FRANCE

Synthèse de données de la contamination particulaires sur les grands corridors fluviaux français

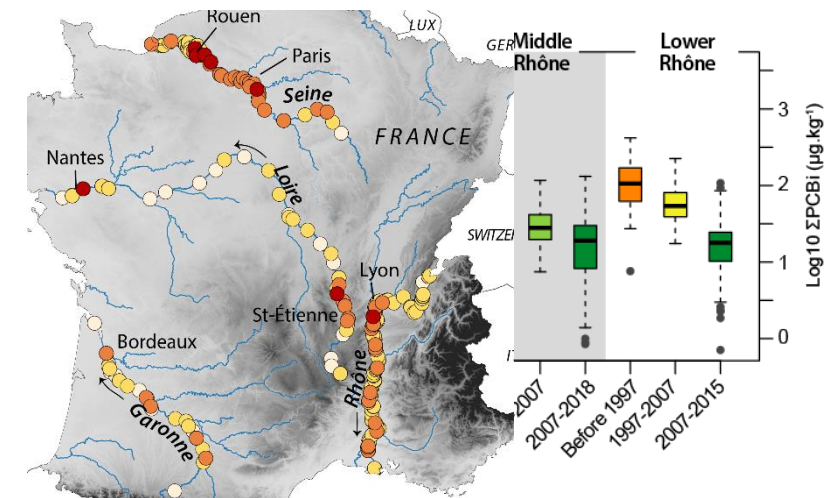
1 - Collecte de données et cartographie



2 - Control qualité et méta-analyse



3 - Projection, statistiques et tendances



- Base de données de la contamination particulaires sur les grands corridors
- **Micropolluants règlementés** : éléments métalliques (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb et Zn) et polychlorobiphényles (PCB) : somme des 7 PCB indicateurs
- **Facteurs pris en compte** : temps, espace, matrice, protocole

Restitution workshop INTERPOL

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



1 - Recommandations en matière d'échantillonnage, d'analyse et d'interprétation des archives sédimentaires pour améliorer la comparaison des tendances à long terme de la contamination des fleuves

- *Synthèse des archives sédimentaires existantes à l'échelle nationale*
- *Recommandations échantillonnage et analyse d'archive sédimentaire en milieu fluvial*

2 - Bilan de l'exploitation des données de contamination particulière (carotte, sédiment, MES) sur les grands axes fluviaux : tendances décennales, facteurs clefs

- *Synthèse PCB – 4 fleuves*
- *Synthèse métaux et facteurs clefs – 7 fleuves*

1 - Recommandations
en matière
d'échantillonnage,
d'analyse et
d'interprétation des
archives sédimentaires
pour améliorer la
comparaison des
tendances à long terme
de la contamination des
fleuves

**Synthèse des archives sédimentaires existantes
à l'échelle nationale et méta-analyse des
données disponibles**

Notion d'archive sédimentaire en milieu fluvial (1/2)

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Zones
Ateliers
LTSER FRANCE

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
- Événement

Archive sédimentaire fluviale

Continue

Discret

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

Evaluation des tendances de contamination

Notion d'archive sédimentaire en milieu fluvial (2/2)

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français

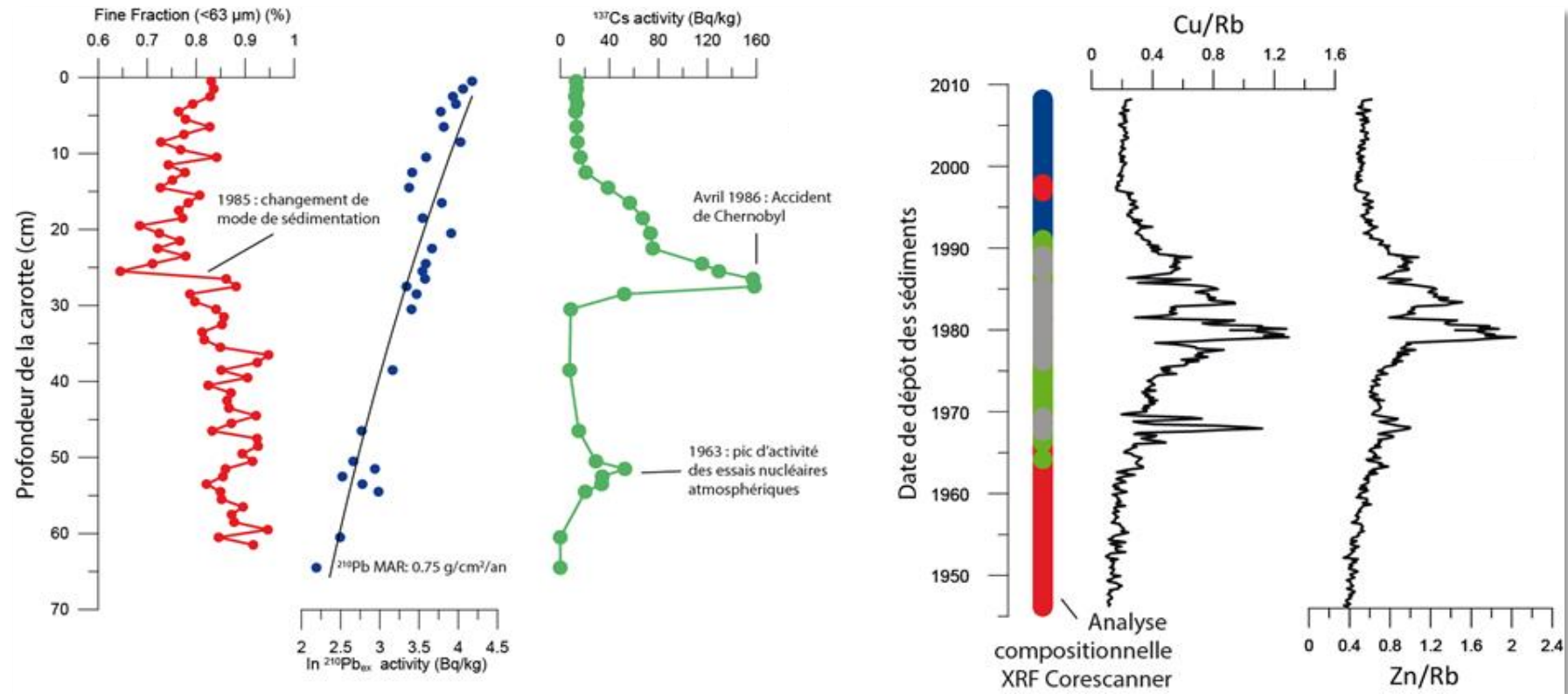


OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Zones
Ateliers
LTER FRANCE

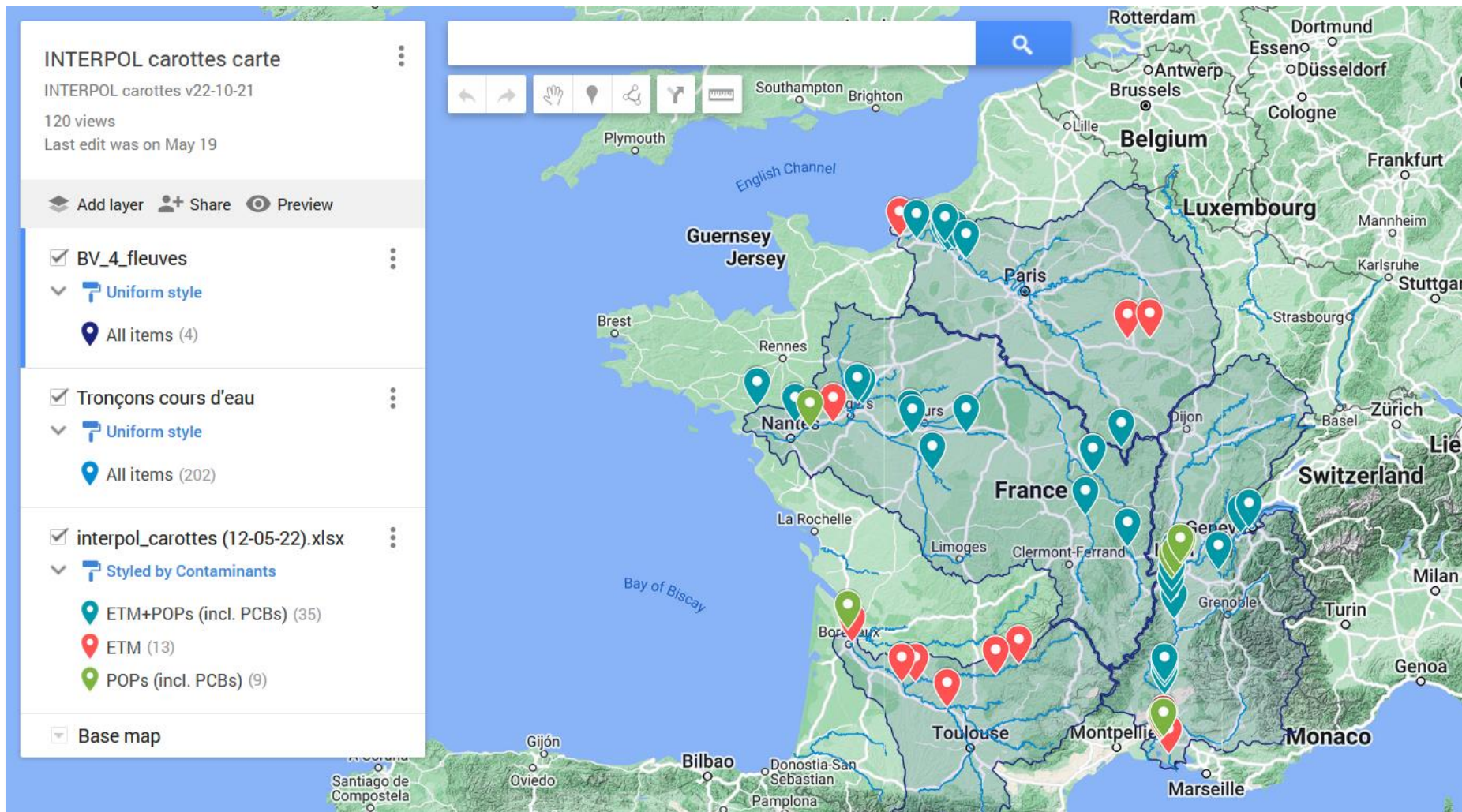
Exemple
« parfait » !?



Evolution temporelle de plusieurs pressions intervenants à différentes échelles :
globale (radionucléides), régionale (aménagement) et locale (viticulture) entre 1945 et 2010

Les archives sédimentaires disponibles en France

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



Tableur de synthèse des données carottes en France

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ

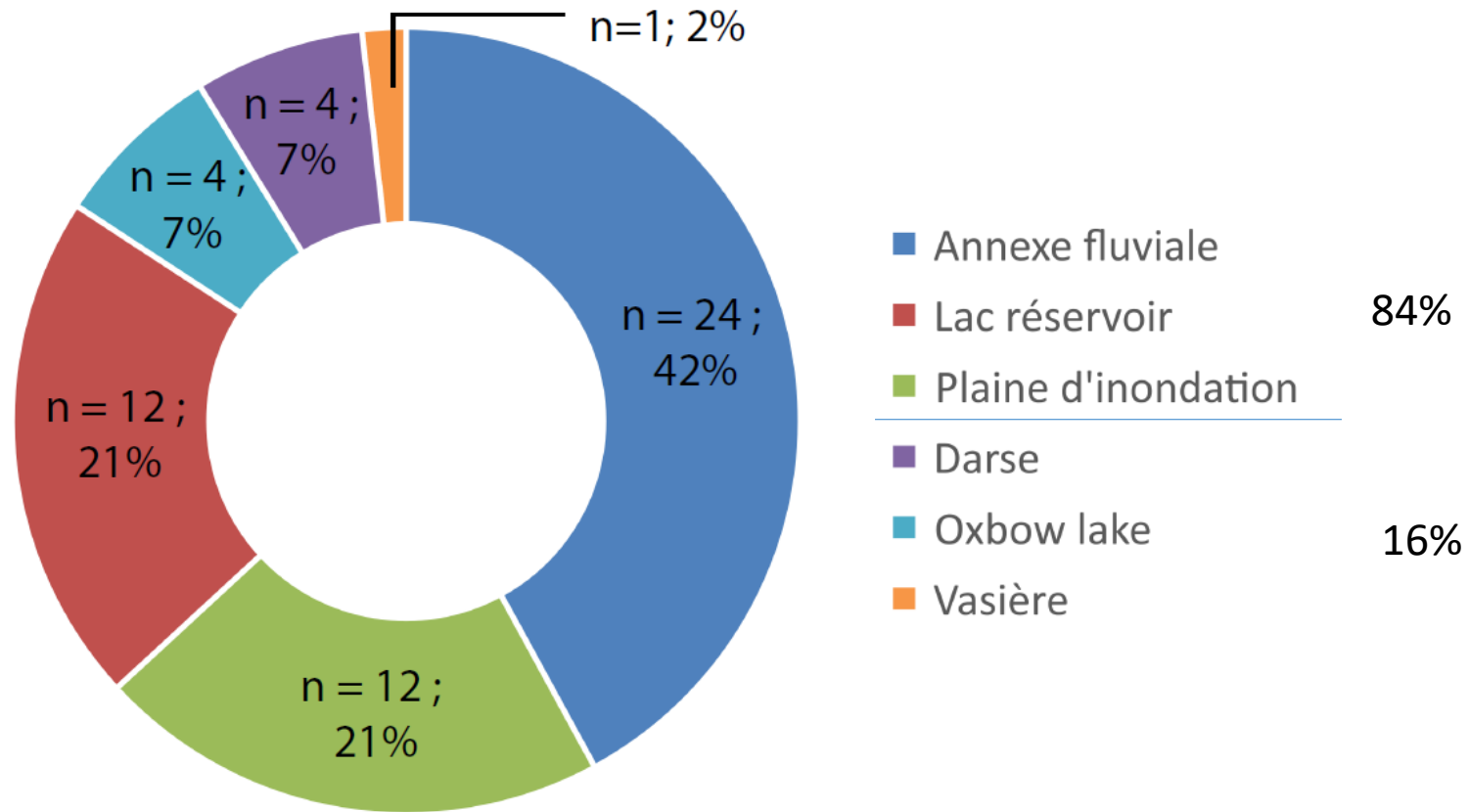


**Zones
Ateliers**
L'ESPERANCE

Localisation	Références	Environnement de dépôt, prélèvement	Datation	Caractérisation sédimentaire	Contaminants
<ul style="list-style-type: none">• ID core• Fleuve et section• Coordonnées• Commune• N° INSEE• Distance à l'estuaire	<ul style="list-style-type: none">• Personnes ressource• Adresse email• Lien vers les publications (DOI)	<ul style="list-style-type: none">• Typologie des milieux de dépôt• Informations rétrospectives• Méthode de prélèvement• Longueur et description des carottes• Géophysique	<ul style="list-style-type: none">• Méthode (^{137}Cs, $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, crues, etc.)• Marqueurs temporels• Début et fin de l'archive	<ul style="list-style-type: none">• Granulométrie: méthode, variables associées• Matière organique : méthode et variables associées• Core logging (XRF, hyperspectral, banc geotech)	<ul style="list-style-type: none">• Métaux réglementaires, PCB et autres POP• Méthode analytique• Fraction : bulk, <2 mm, <63 μm

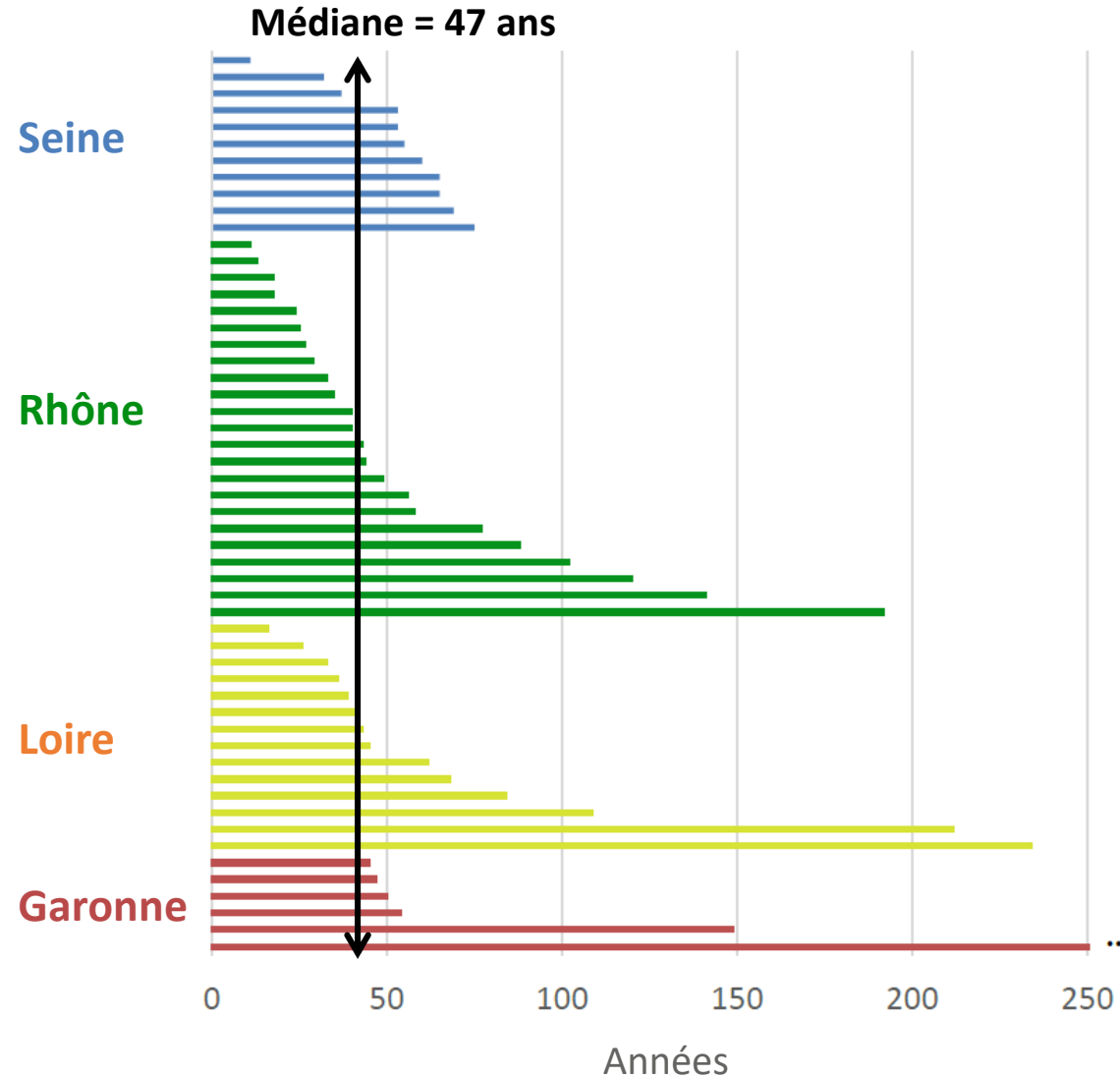
Environnements de dépôt échantillonnés

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



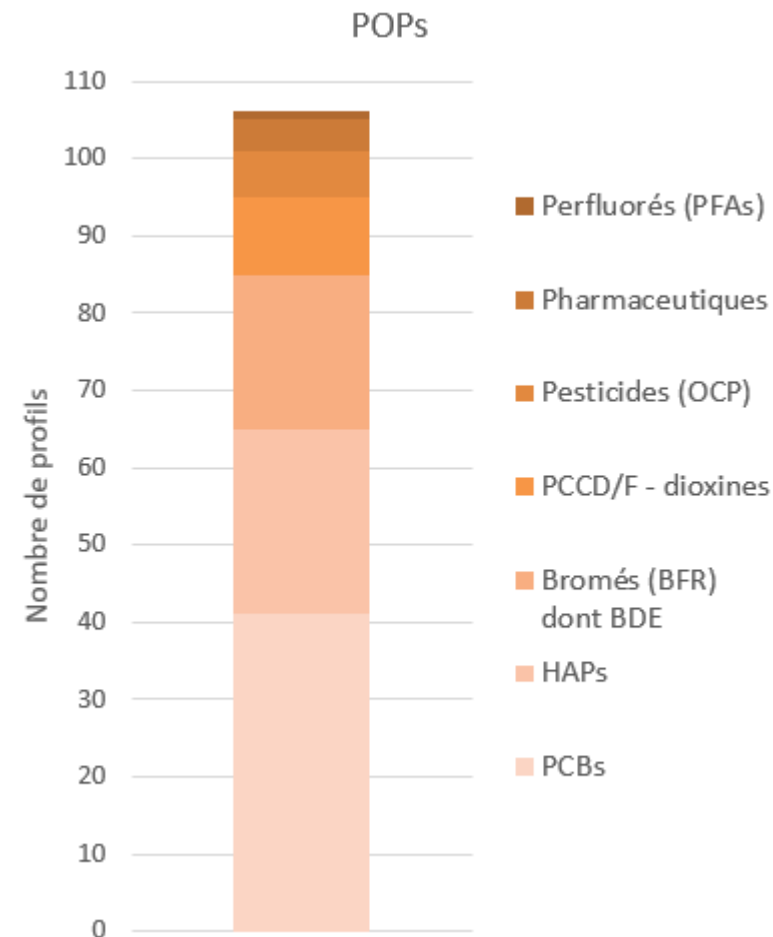
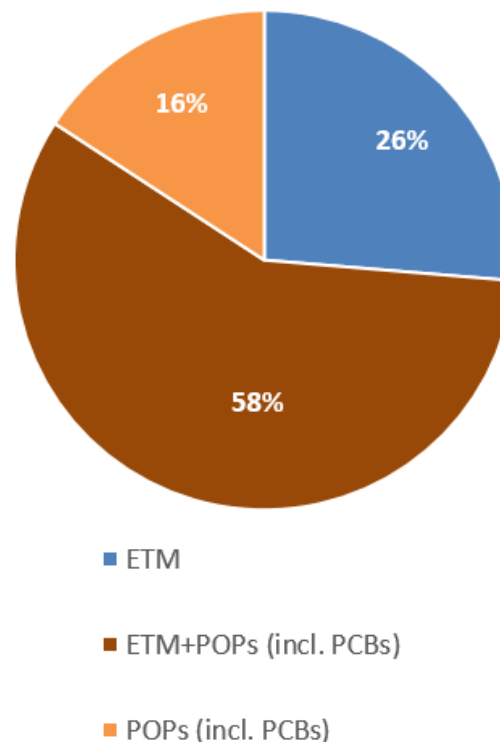
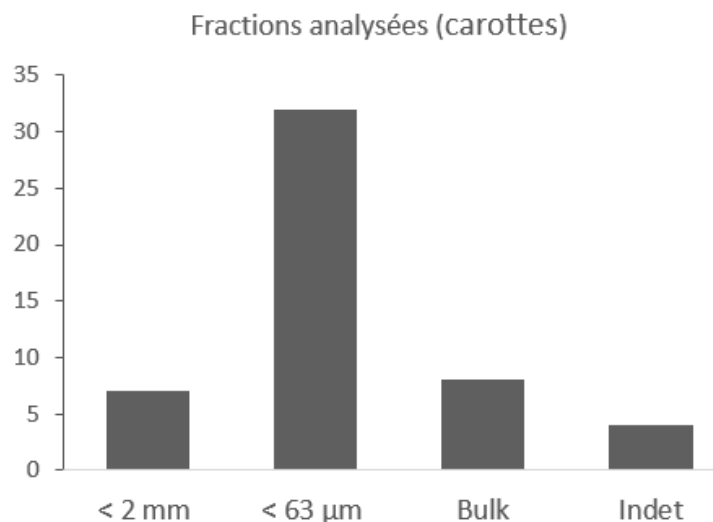
Etendue chronologique des archives

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



Géochimie : fractions et contaminants analysés

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français





1 - Recommandations
en matière
d'échantillonnage,
d'analyse et
d'interprétation des
archives sédimentaires
pour améliorer la
comparaison des
tendances à long terme
de la contamination des
fleuves

Recommandations échantillonnage et analyse d'archive sédimentaire

Recommandation prélèvement et analyse d'archive sédimentaire

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



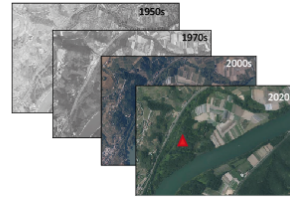
Etape 1 - Analyse pré-intervention du secteur ciblé

Données géohistoriques

- Photographies aériennes
- Informations historiques

Données de suivis

- Hydrologie (débit, hauteur d'eau, crues)
- Suivi sédimentaire, bathymétrie



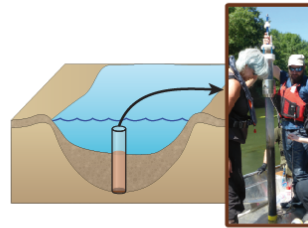
Etape 2 - Structure et caractérisation du dépôt sédimentaire

Géophysique

- Terrestre : GPR
- Aquatique : WGPR, SBP

Carottage

- Terrestre : manuel, percussion
- Aquatique : manuel, gravitaire, battage-fonçage



Etape 3 - Analyse sédimentologique et datation des carottes

Caractérisation

- Ouverture et description
- Echantillonnage, conditionnement
- Granulométrie, COT, core-logging

Datation

- Radiochronologie (^{137}Cs , ^{210}Pb)
- Marqueurs événementiels



Etape 4 - Détermination de tendances de contamination

Analyses

- Mesure de polluants règlementés ou d'intérêt émergent
- Screening ciblé ou non ciblé

Interprétation

- Niveaux préindustriel, historique et actuel
- Contamination locale, régionale (section fluviale) ou globale



Recommandation prélèvement et analyse d'archive sédimentaire

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



**Zones
Ateliers**
L'ESPERANCE

Exemple de
matériel pour
un carottage
en milieu
aquatique peu
profond



Objectifs

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



**Zones
Ateliers**
L'ESPERANCE

1 - Recommandations en matière d'échantillonnage, d'analyse et d'interprétation des archives sédimentaires pour améliorer la comparaison des tendances à long terme de la contamination des fleuves

- *Synthèse des archives sédimentaires existantes à l'échelle nationale*
- *Recommandations échantillonnage et analyse d'archive sédimentaire en milieu fluvial*

2 - Bilan de l'exploitation des données de contamination particulière (carotte, sédiment, MES) sur les grands axes fluviaux : tendances décennales, facteurs clefs

- *Synthèse PCB – 4 fleuves*
- *Synthèse métaux et facteurs clefs – 7 fleuves*



Évaluation des tendances des PCB le long des grands corridors fluviaux français entre 1945 et 2018 - Seine, Loire, Garonne, Rhône

André-Marie Dendievel¹, Brice Mourier¹, Alexandra Coynel², Olivier Evrard³, Pierre Labadie², Sophie Ayrault³, Maxime Debret⁴, Quentin Faivre⁵, Thomas Gardes⁴, Sophia Vauclin¹, Hélène Budzinski², Cécile Grosbois⁵, Marc Desmet⁵ & Thierry Winiarski¹



Contexte : de l'utilisation à l'interdiction (1/2)

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



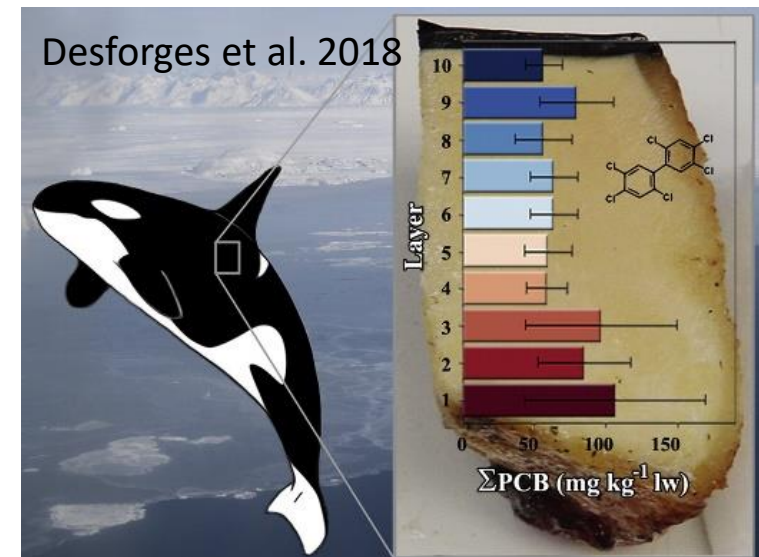
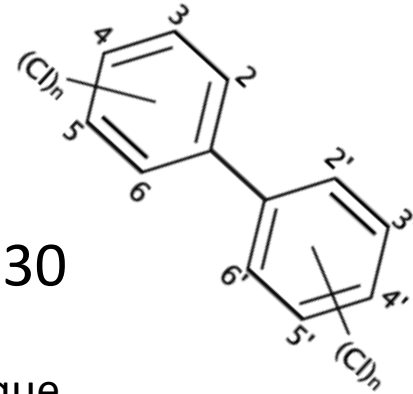
OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Zones
Ateliers
LTSER FRANCE

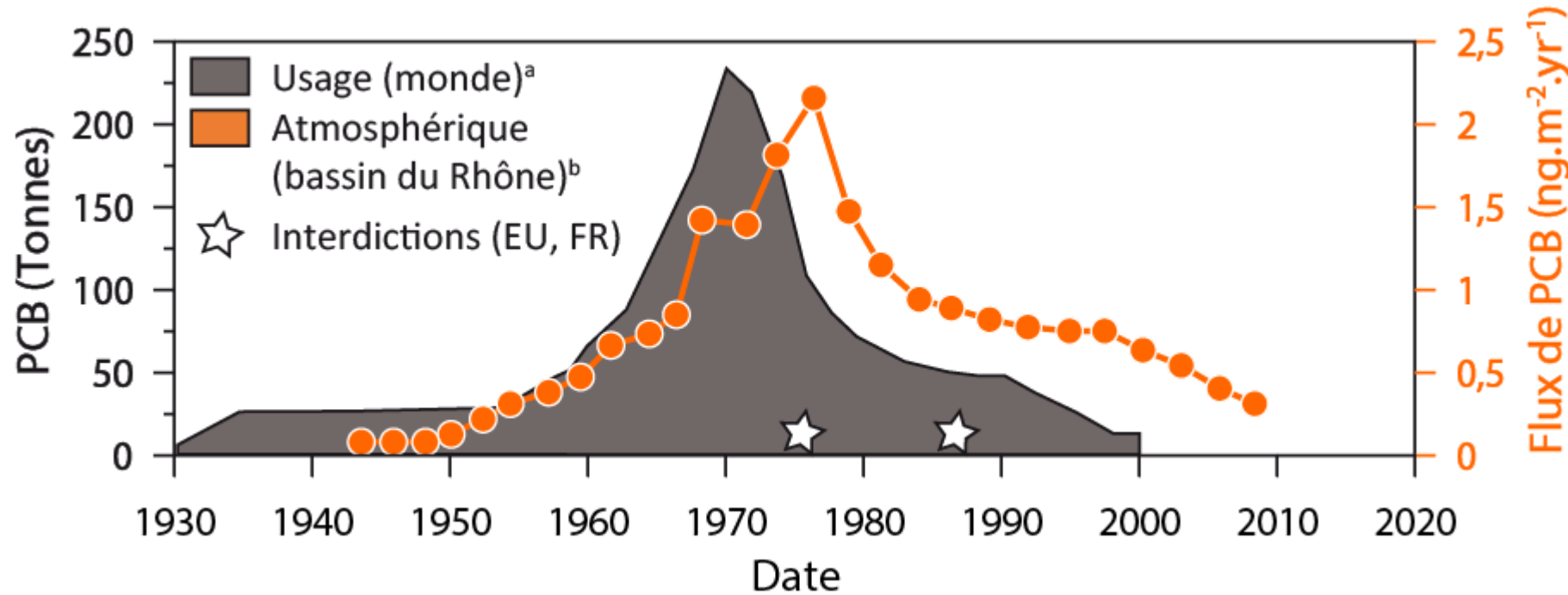
Les polychlorobiphényles (PCB) sont des polluants organiques persistants

- Fabriqués à grande échelle à partir des années 1930
 - Transformateurs et condensateurs électriques
 - Additifs dans les produits à base de bois, de papier, de plastique, d'encre...
- Ubiquitaires, hautement toxiques et persistants
 - Accidents marquants en Asie dans les années 70
 - Alimentation : principale source d'exposition aux PCB (90% de l'exposition totale)
- Bioaccumulation et bioamplification du bas en haut de la chaîne alimentaire
 - Les orques (*Orcinus orca*) présentent un risque élevé d'effondrement de leur population en raison des PCB



Contexte : de l'utilisation à l'interdiction (1/2)

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



^a Breivik et al. (2002)
^b Desmet et al. (2012)

- Plus de 1.5 millions de tonnes de PCB commercialisés dans le monde, dont environ 10% produits en France.
- Production et utilisation des PCB interdites depuis 1987
- La diffusion des PCB dans l'environnement s'est opérée depuis leur apparition sans contrôle ni suivi réglementaire effectifs

Collection des données et cartographie (1/2)

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français

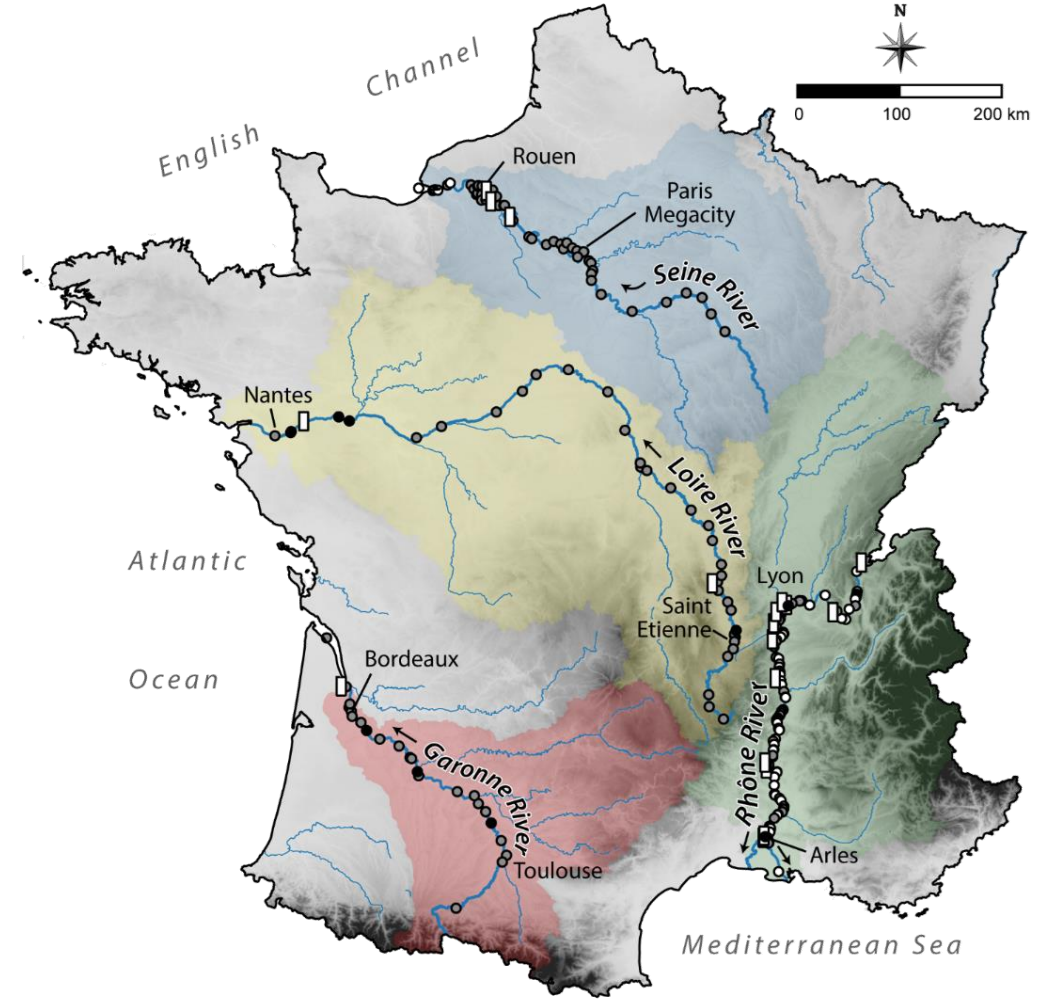


OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Zones
Ateliers
LTER FRANCE

- **Quatre corridors fluviaux :**
 - Garonne, Loire, Rhône et Seine
 - 3 tronçons par fleuve, 3 fenêtres temporelles
- **Collecte de données :** a travaux de recherche, Agences de l'eau, autorités locales et portuaires, autres gestionnaires (CNR, EDF).
- **Catégories de données :**
 - 19 carottes de sédiments datées
 - 135 stations de dépôt de fond et de crue
 - 9 stations MES
 - 81 points de dragage



Deposited sediments	Mobile sediments	Catchment Areas	Elevation (m)
□ Cores	● Bed & flood sediments	■ Garonne	0 400 800 1200 1600 >2000
○ Bed & flood sediments	● Suspended Particulate Matter (SPM)	■ Loire	
○ Dredged sediments	○ Dredged sediments	■ Rhône	

Collection des données et cartographie (2/2)

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



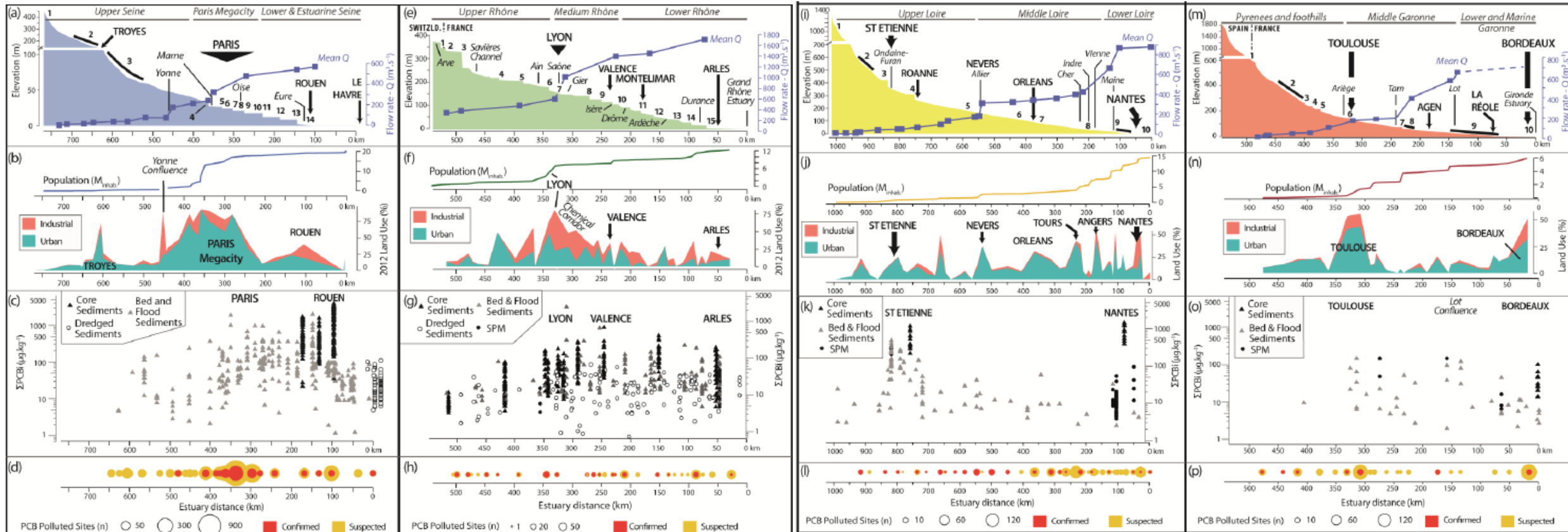
Données socio-environnementales : Population, utilisation des sols, principaux paramètres physiques et concentrations de PCB le long de chaque rivière

Seine

Rhône

Loire

Garonne



Meta-analyse qualitative des données collectées (1/2)

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



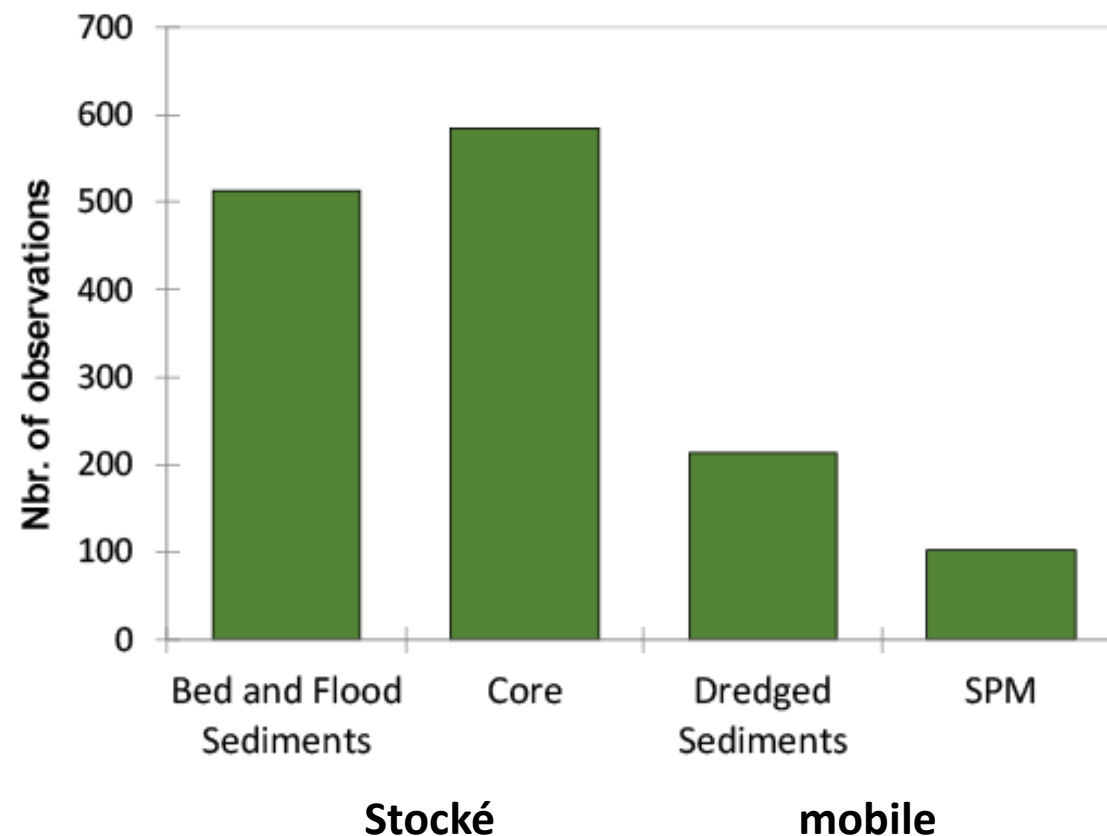
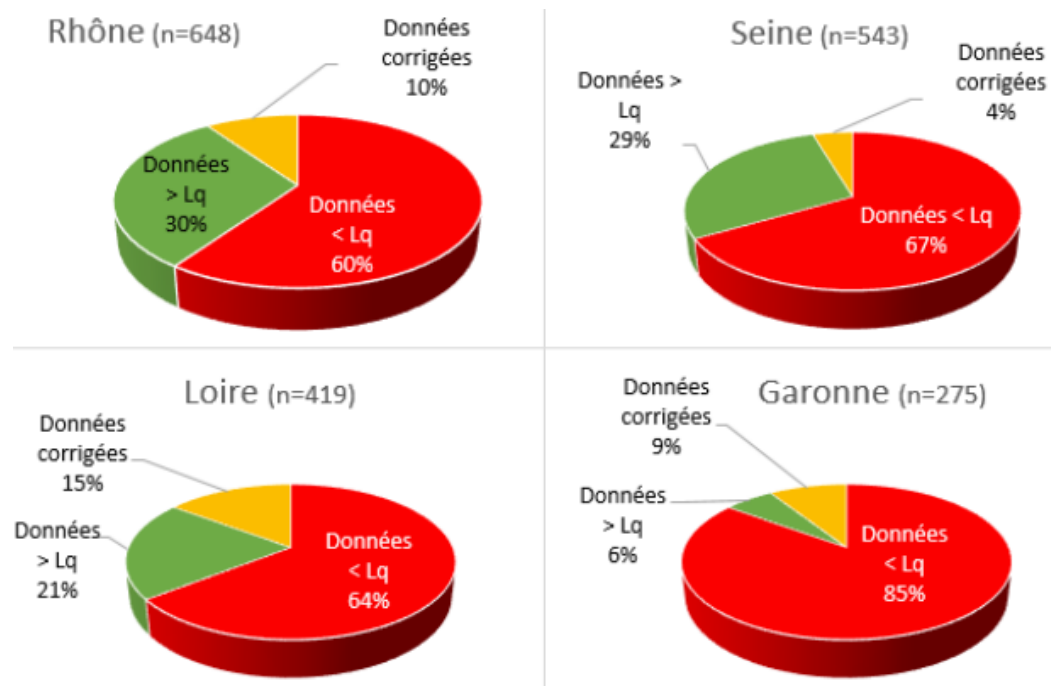
OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



**Zones
Ateliers**
L'ESSE FRANCE

~70% des données collectées sont soit
<LOQ, soit insuffisamment renseignées.

n = 1416, somme des 7 PCBi



Meta-analyse qualitative des données collectées (1/2)

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ

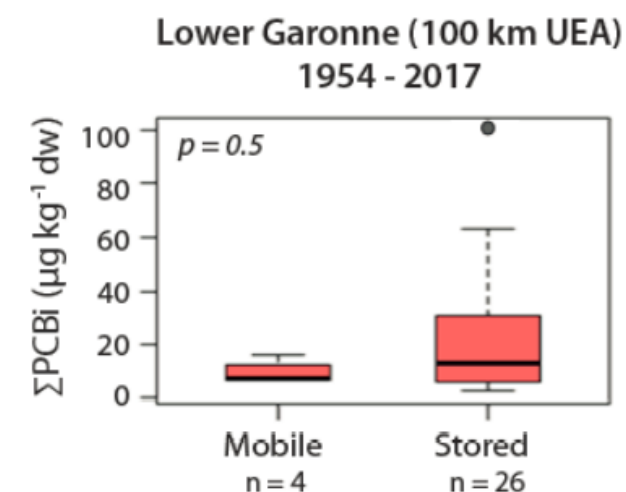
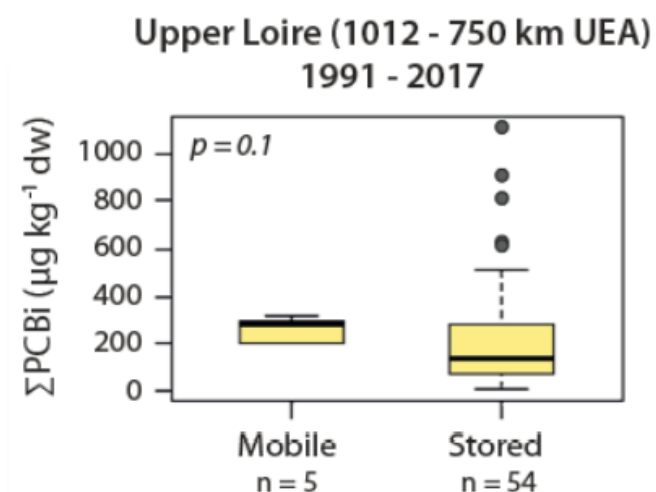
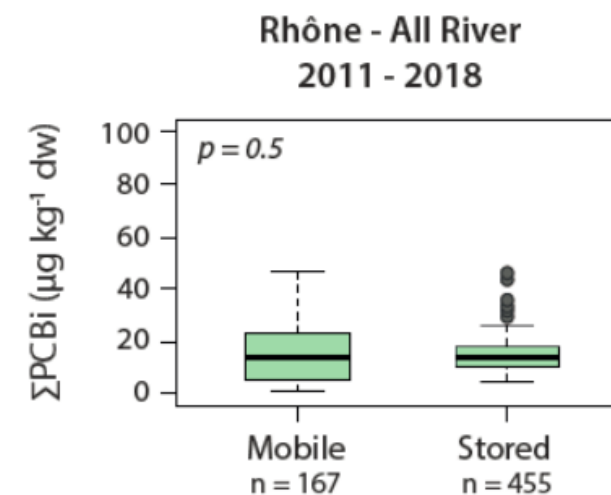
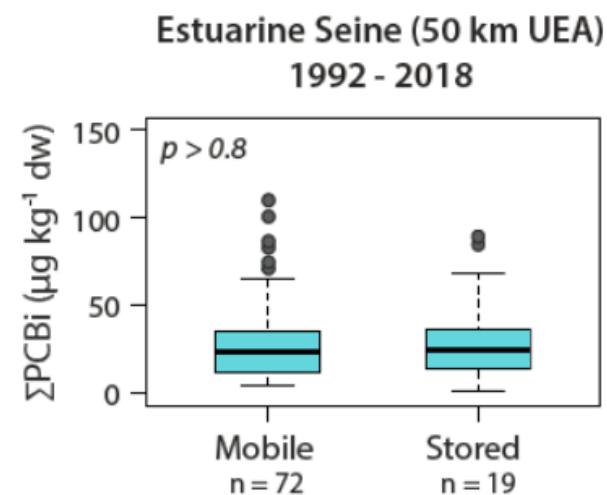


Zones
Ateliers
LTER FRANCE

- Comparaison des teneurs en PCB dans les matrices solides :
 - Mobile (MES, dragage)
 - Stocké (sédiment, carotte)

- Même période, même section

→ pas de différence significative

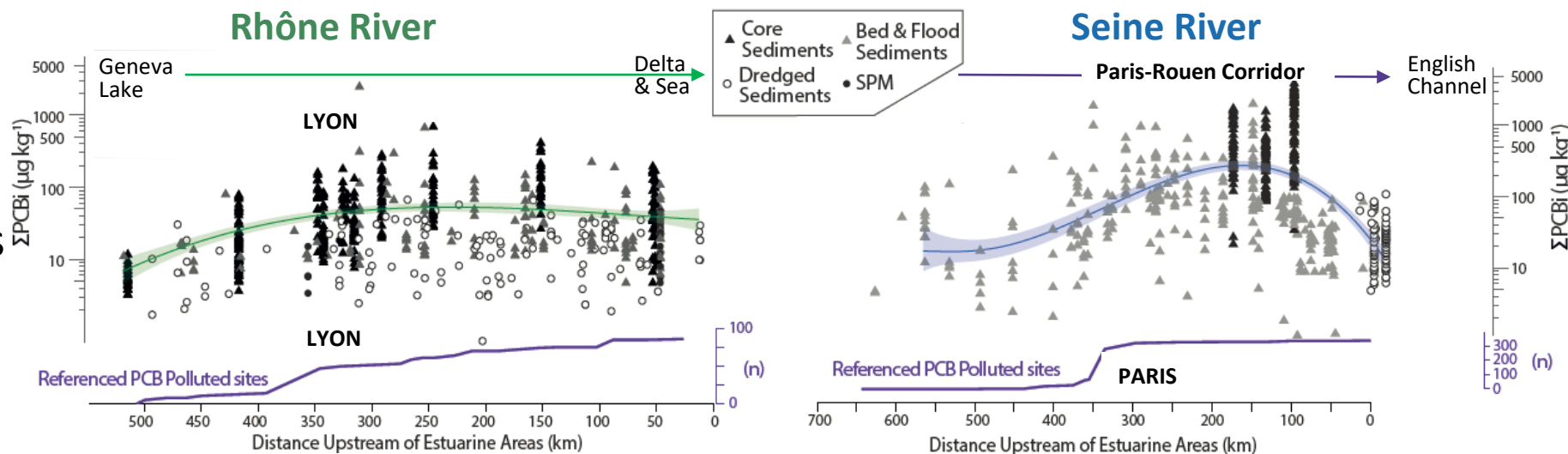


Projection longitudinale des données de PCBs

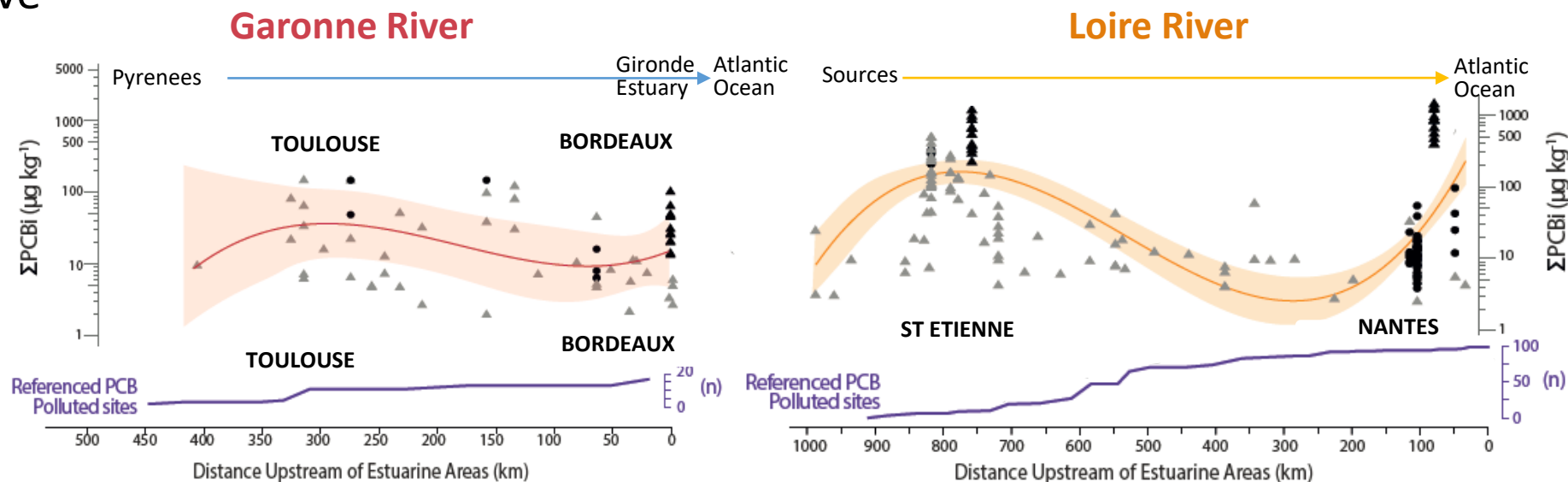
INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



- **Groupe 1:** Augmentation tendancielle de la contamination en PCBs en lien avec les corridors urbains et indus. des moyenne basse sections du fleuve



- **Groupe 2:** Sources locales de PCBs (bassins urbains/industriels), peu de données exploitables



Projection temporelle des données de PCBs

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français

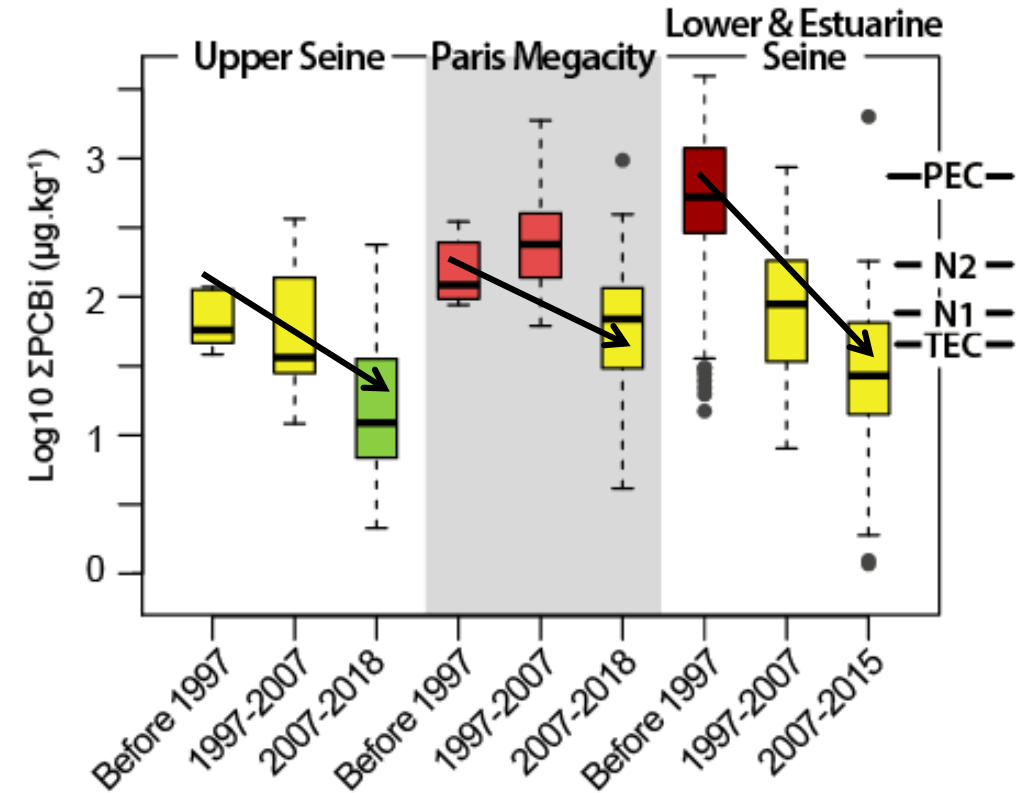
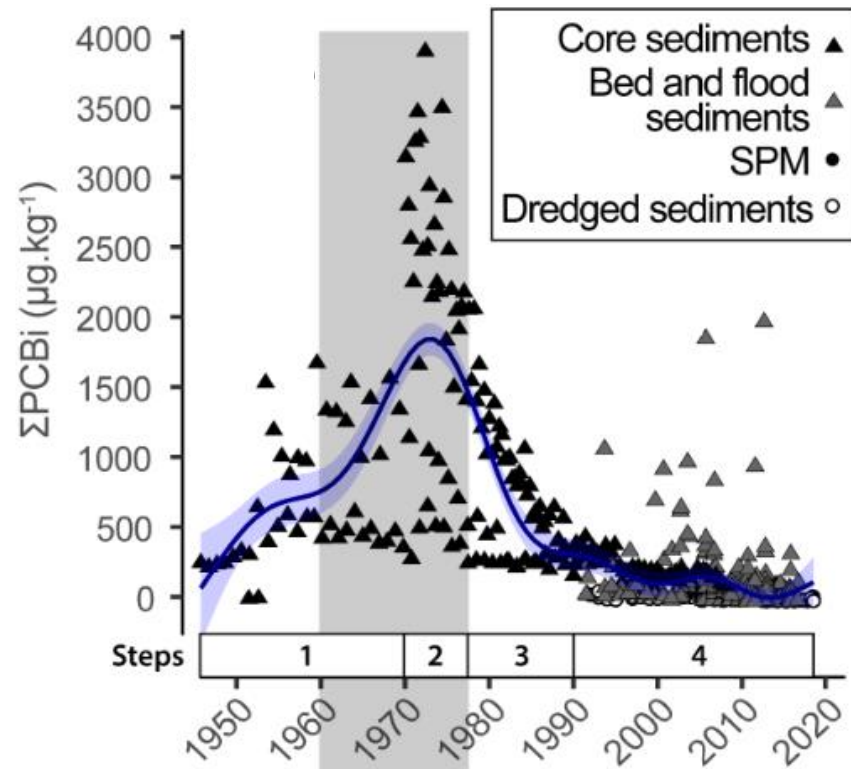


OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Zones
Ateliers
LTER FRANCE

La Seine



- **Concentrations critiques de PCBs de 1955 à 1980** ($> 500 \mu\text{g}/\text{kg}$; max ca. $4 \text{ mg}/\text{kg}$)
- Zones sources et augmentation de la Mégapole de Paris à Rouen, dans la partie basse et estuarienne de la Seine (rejets urbains et industriels).
- Tendence générale l'atténuation (médiane actuelle = $60 \mu\text{g}/\text{kg}$, i.e. $< \text{PEC}$), mais situation tjs préoccupante.

Projection temporelle des données de PCBs

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français

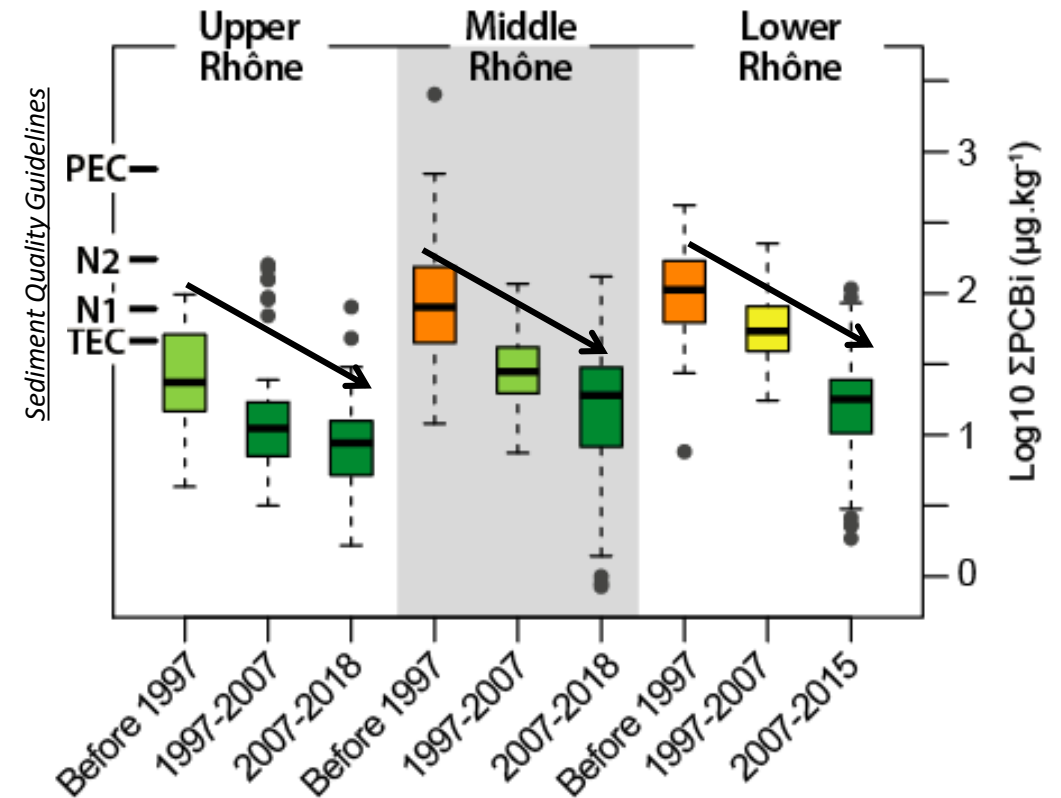
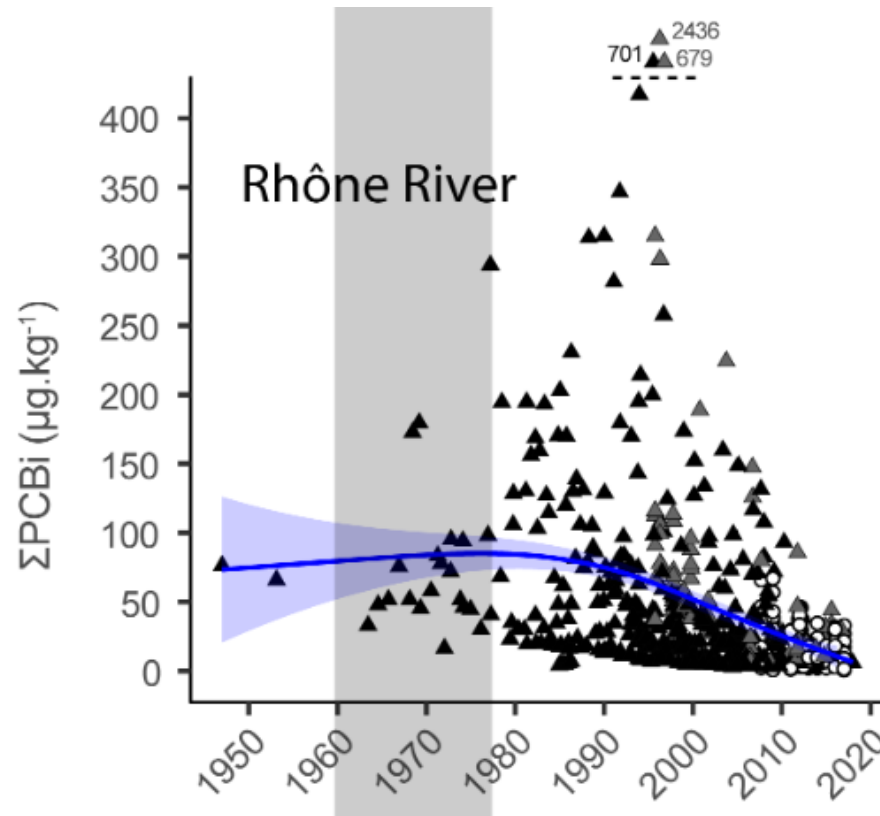


OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Zones
Ateliers
L'ESR FRANCE

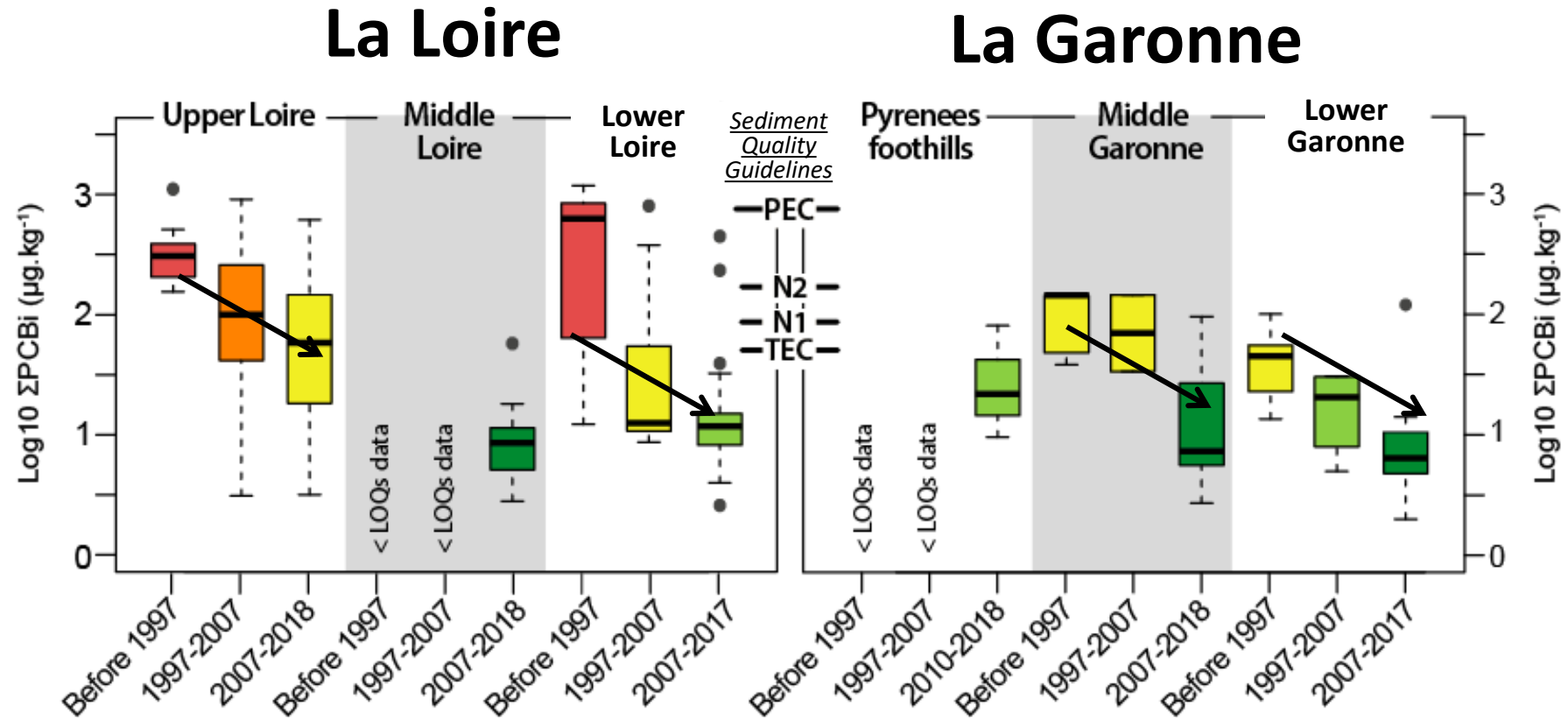
Le Rhône



- **Concentrations critiques de PCBs de 1980 à 2000** (>200µg/kg; max = 2,4 mg/kg) mais << Seine.
- Zones sources en aval du Rhône moyen (Lyon-Corridor chimique-Vallée du Gier)
- Tendence générale l'atténuation depuis la fin des années 1990 (médiane actuelle = 18 µg/kg).
- Décalage entre la baisse d'utilisation des PCB (années 80) et la réponse du milieu récepteur : 20 à 30 ans !

Projection temporelle des données de PCBs

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



- **Tendance à l'atténuation depuis 1997** (Loire et Garonne)
- Zones sources en Haute et Basse Loire (St-Etienne, Nantes)
- Manque de données en Loire moyenne et piémont pyrénéen : des efforts doivent être faits.

Projection nationale (4 fleuves, 2 périodes)

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



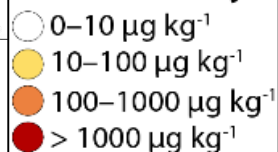
OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



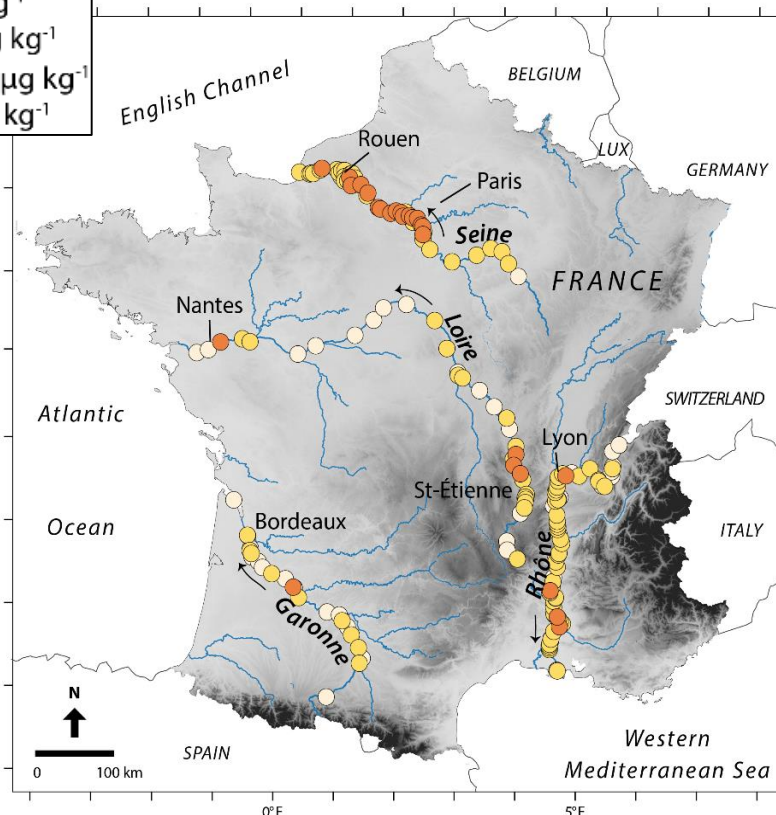
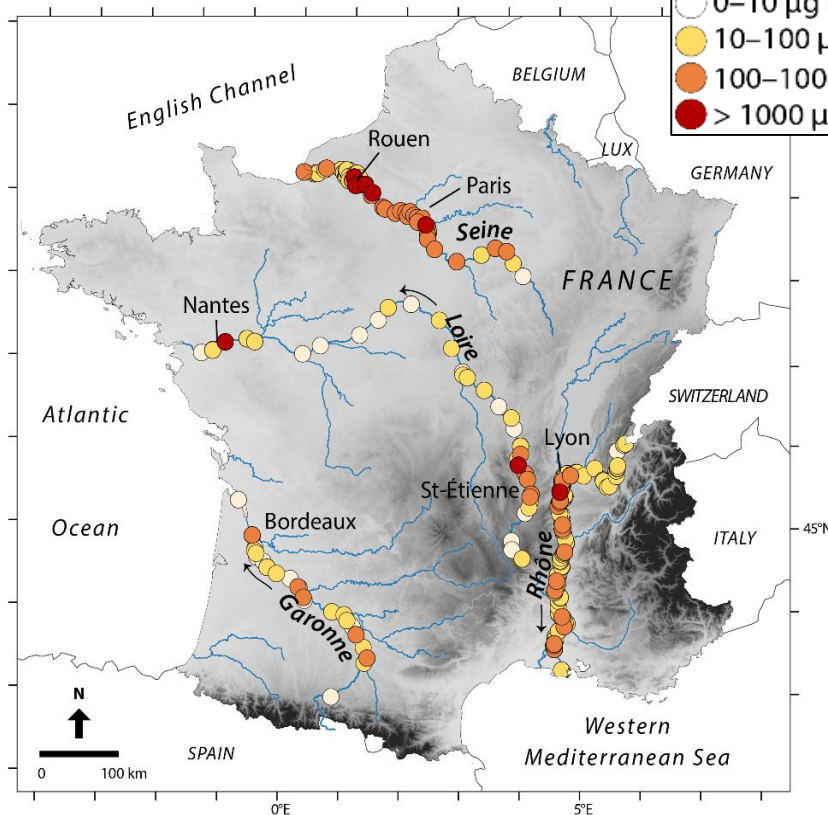
Zones
Ateliers
LTER FRANCE

1945 - 1999

Common keys



2000 - 2018



- **Tendance générale l'atténuation** des concentrations en PCB : effet des politiques publiques.
- **Rhône** : décalage entre baisse d'utilisation des PCB (années 80) et réponse du milieu récepteur: 20 à 30 ans.
- **Seine** : situation tjs préoccupante, stocks très contaminés. La prise en charge nationale n'a pas conduit à des mobilisations importantes.
- **Loire et Garonne** : données inégalement réparties. Hotspots locaux. Contribution des affluents (Loire = programme MetOrg)

Conclusions

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des
fleuves français



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



**Zones
Ateliers**
L'ESR FRANCE

- L'analyse croisée de données de concentrations en PCB issues de programmes de recherche et de surveillance à l'échelle nationale a permis de reconstituer les tendances spatio-temporelles de quatre corridors fluviaux
 - Pertinence des archives sédimentaires qui améliorent sensiblement l'évaluation des tendances
 - Zones sources principalement urbaines et industrielles
 - Part héritée des PCB dans certains compartiments du lit majeur, à prendre en compte lors de la restauration physique des cours d'eau
- Les politiques publiques et restrictions sur l'utilisation des PCB ont permis une atténuation globale de cette pollution
 - Un fond résiduel de PCB à faible concentration est maintenant reporté
 - Décalage de 20 à 30 ans entre interdiction et niveaux « acceptables » dans le milieu récepteur
 - Diagnostic plus difficile à dresser pour les corridors Loire et Garonne
- La situation de la Seine aval reste préoccupante
 - déconnexion des alertes et crises avec les niveaux de contamination alors que les données sont publiques et disponibles,
 - contexte socio-politique très différent, perception d'un fleuve industriel et anthropisé?

Conclusions

INTERPOL / Inter-comparaison de la pollution des fleuves français



Article

Données

|Earth Syst. Sci. Data, 12, 1153–1170, 2020
<https://doi.org/10.5194/essd-12-1153-2020>
© Author(s) 2020. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Open Access
Earth System
Science
Data



Spatio-temporal assessment of the polychlorinated biphenyl (PCB) sediment contamination in four major French river corridors (1945–2018)

André-Marie Dendievel¹, Brice Mourier¹, Alexandra Coynel², Olivier Evrard³, Pierre Labadie², Sophie Ayrault⁴, Maxime Debret⁴, Florence Koltalo⁵, Yoann Copard⁴, Quentin Faivre⁶, Thomas Gardes⁴, Sophia Vauclin¹, Héléne Budzinski², Cécile Grosbois², Thierry Winiarski², and Marc Desmet⁶

¹LEHNA, UMR CNRS 5023, Université de Lyon, ENTPE, Vaulx-en-Velin, 69518, France
²EPOC, UMR CNRS 5805, Université de Bordeaux, Bordeaux, 33615, France
³LSCE, UMR CNRS 8212, Institut Pierre Simon Laplace, Gif-sur-Yvette, 91191, France
⁴M2C, UMR CNRS 6143, Université de Rouen Normandie, Mont-Saint-Aignan, 76821, France
⁵COBRA, UMR CNRS 6014, Université de Rouen Normandie, Mont-Saint-Aignan, 76821, France
⁶GEHCO, EA 6293, Université de Tours, Tours, 37200, France

Correspondence: André-Marie Dendievel (andre-marie.dendievel@entpe.fr) and Brice Mourier (brice.mourier@entpe.fr)

Received: 13 September 2019 – Discussion started: 11 November 2019
Revised: 9 March 2020 – Accepted: 3 April 2020 – Published: 20 May 2020

Abstract. Environmental pollution by polychlorinated biphenyls (PCBs) is a key cause for concern about river quality because of their low degradation rates leading to their accumulation in sediments and living organisms. An original interdisciplinary work was conducted along the four main French rivers (Seine, Rhône, Loire and Garonne rivers), which flow into major European seas. We completed a dataset based on sediment analyses provided by monitoring agencies, port authorities and research teams on different solid matrices (sediment cores, bed and flood deposits, suspended particulate matter and dredged sediments). This dataset focused on the seven indicator PCBs and their sum (ΣPCBi) from 1945 to 2018 ($n_{\Sigma\text{PCBi}} = 1416$). Special effort was put into the quality control to provide robust spatio-temporal information. Taking into account hydrological and human drivers, we outlined two main pollution trends: (1) from 1945 to 1975, a quick increase in ΣPCBi (up to 4 mg kg^{-1} dry weight, dw) and a sharp decrease in the 1980s on the Seine and Loire rivers and (2) increasing but moderate ΣPCBi levels (50 to $150 \mu\text{g kg}^{-1}$ dw) followed by a decline after the 1990s on the Rhône and Garonne rivers. In addition to these patterns, PCB emissions from urban and industrial areas or accidental events were significant in each river. Finally, when calculating specific flux, the Rhône exhibited the uppermost ΣPCBi load (up to $12 \mu\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ in 1977–1987), at least 25 % higher than those of the Seine and Loire rivers, while the Garonne showed a very low flux. In western Europe, we confirmed that the Rhône, Seine and Loire rivers contribute significantly to the PCB contamination of the seas, while French specific ΣPCBi fluxes are 2 orders of magnitude lower than those found in American or Asian rivers. The dataset is available at <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.904277> (Dendievel et al., 2019).

Published by Copernicus Publications.



PANGAEA.

Data Publisher for Earth & Environmental Science

Dendievel, André-Marie; Mourier, Brice; Desmet, Marc; Coynel, Alexandra; Labadie, Pierre; Ayrault, Sophie; Budzinski, Héléne; Debret, Maxime; Evrard, Olivier; Gardes, Thomas; Vauclin, Sophia; Grosbois, Cécile; Winiarski, Thierry (2019): Polychlorinated Biphenyls (PCB) indicators in sediments from the main French Rivers from 1945 to 2018 (Garonne, Loire, Rhône, Seine). PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.904277>,
Supplement to: Dendievel, André-Marie; Mourier, Brice; Coynel, Alexandra; Evrard, Olivier; Labadie, Pierre; Ayrault, Sophie; Debret, Maxime; Koltalo, Florence; Copard, Yoann; Faivre, Quentin; Gardes, Thomas; Vauclin, Sophia; Budzinski, Héléne; Grosbois, Cécile; Winiarski, Thierry; Desmet, Marc (2020): Spatio-temporal assessment of the polychlorinated biphenyl (PCB) sediment contamination in four major French river corridors (1945–2018). *Earth System Science Data*, 12(2), 1153–1170, <https://doi.org/10.5194/essd-12-1153-2020>

Always quote citation above when using data! You can download the citation in several formats below.



<https://www.earth-syst-sci-data-discuss.net/essd-2019-167/>

Vers une comparaison internationale de la pollution des sédiments fluviaux :

Facteurs clés influençant les concentrations de métaux le long de 7 fleuves d'Europe occidentale (1945-2020)

André-Marie Dendievel¹, Cécile Grosbois², Sophie Ayrault³, Olivier Evrard³,
Alexandra Coynel⁴, Maxime Debret⁵, Thomas Gardes^{4,5}, Thierry Winiarski¹,
Marcel van der Perk⁶ & Brice Mourier¹

  Contact: andre-marie.dendievel@entpe.fr



Introduction

- **La composition des sédiments** fluviaux peut fournir des indicateurs sur la zone critique et sa contamination
- **Le suivi de la pollution métallique** s'est intensifié à partir de 1980 dans de nombreux pays, porté par:
 - Acteurs régionaux / Agences de Bassin / Commissions Internationales
 - Autres gestionnaires (publics / privés – CNR, Ports)
 - Laboratoires de Recherche



Echantillonnage à la benne Ekman



Carottage sur plateforme le long du Rhône (FR)

Introduction

- **La composition des sédiments** fluviaux peut fournir des indicateurs sur la zone critique et sa contamination
- **Le suivi de la pollution métallique** s'est intensifié à partir de 1980 dans de nombreux pays, porté par:
 - Acteurs régionaux / Agences de Bassin / Commissions Internationales
 - Autres gestionnaires (publics / privés – CNR, Ports)
 - Laboratoires de Recherche
- **Différentes matrices:**
 - Séd. fond de chenal et dépôts de crue (BFD)
 - Matières En Suspension (MES - SPM)
 - Carottes sédimentaires datées (DSC)
- **Fréquences & protocoles analytiques hétérogènes**



Echantillonnage à la benne Ekman



Carottage sur plateforme le long du Rhône (FR)

Introduction

- **La composition des sédiments** fluviaux peut fournir des indicateurs sur la zone critique et sa contamination
- **Le suivi de la pollution métallique** s'est intensifié à partir de 1980 dans de nombreux pays, porté par:
 - Acteurs régionaux / Agences de Bassin / Commissions Internationales
 - Autres gestionnaires (publics / privés – CNR, Ports)
 - Laboratoires de Recherche
- **Différentes matrices:**
 - Séd. fond de chenal et dépôts de crue (BFD)
 - Matières En Suspension (MES - SPM)
 - Carottes sédimentaires datées (DSC)
- **Fréquences & protocoles analytiques hétérogènes**



Echantillonnage à la benne Ekman



Carottage sur plateforme le long du Rhône (FR)

Objectif et questions de recherche

Intercomparer la contamination particulaire amont-aval des fleuves depuis 1945

- De quelle façon les matrices et les protocoles influencent les concentrations ?
- Des tendances peuvent-elles être déduites à partir de données si hétérogènes ?


Matériel et Méthodes

Plus de 12 000 analyses sur les MES, BFD et DSC sur 623 sites!

Sources:

 Naiades, DREAL, OSR

 SPW-WMM  RWS  BAFG

 Données de recherche (articles publiés et rapports)

7 fleuves

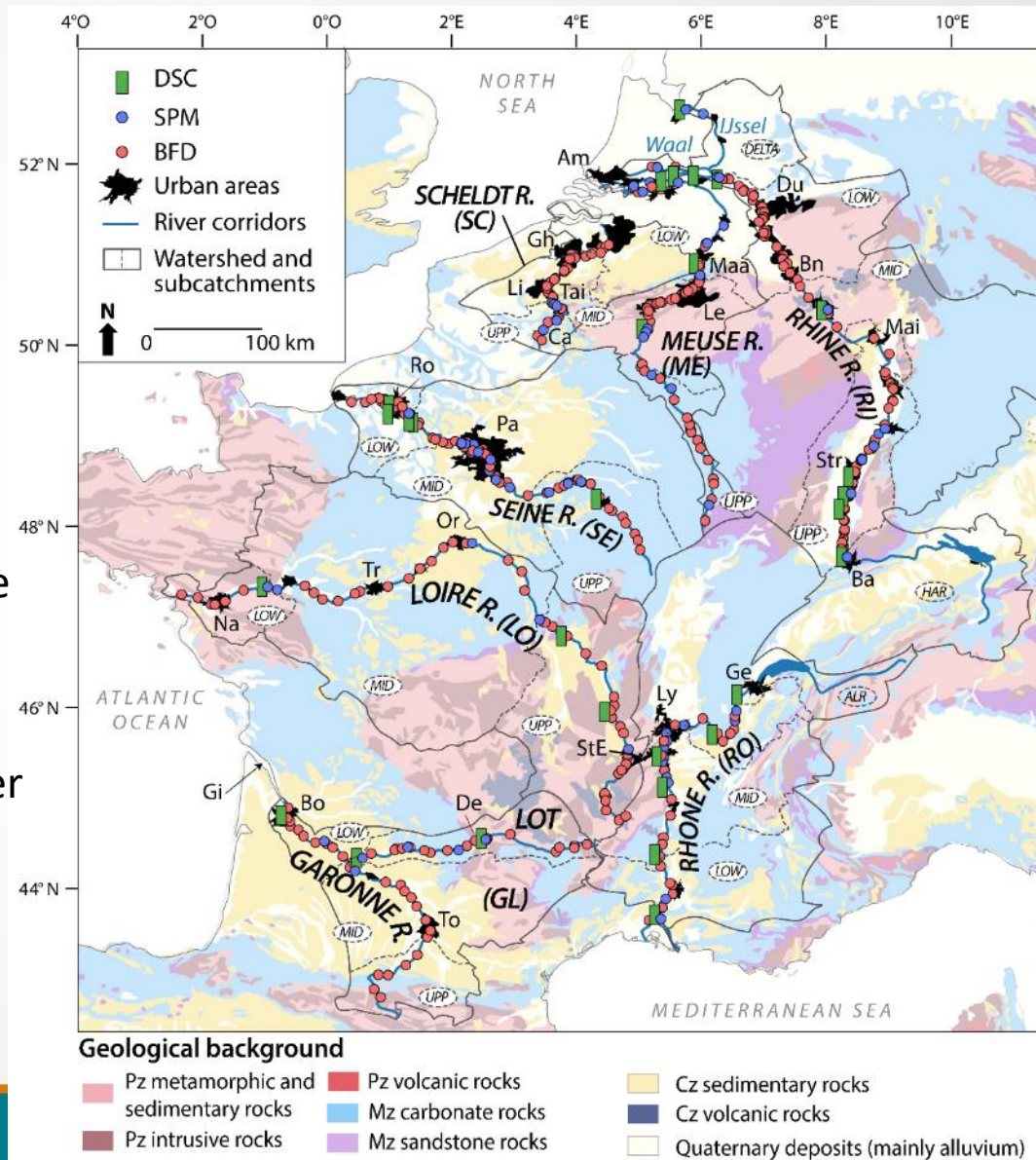
◆ **Seine & Escaut** : fleuves de plaine alcalins, fortement anthropisés

◆ **Loire, Garonne-Lot, Meuse** : massifs anciens => héritage minier & industriel, peuplement diffus

◆ **Rhône & Rhin** : fleuves alpins, débits les plus importants, corridor fortement anthropisé

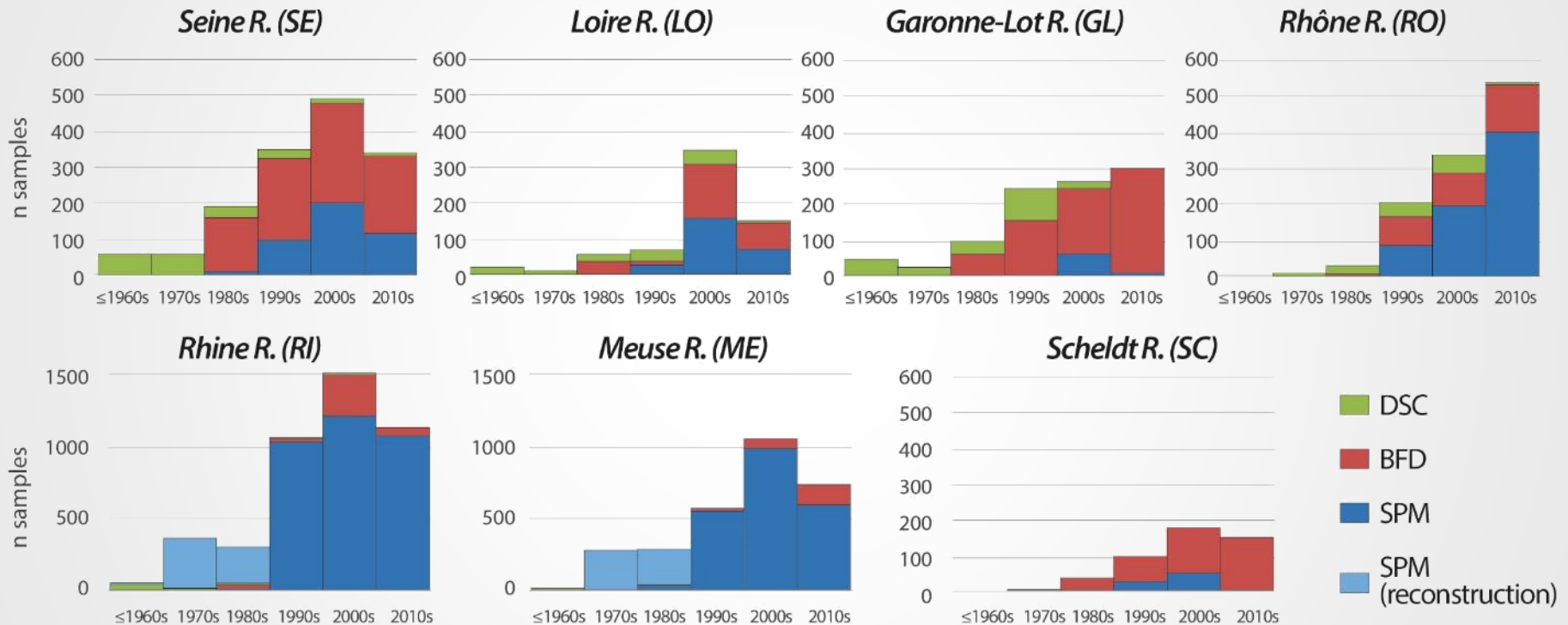
Données en Open Access

[10.1594/PANGAEA.935416](https://doi.org/10.1594/PANGAEA.935416)



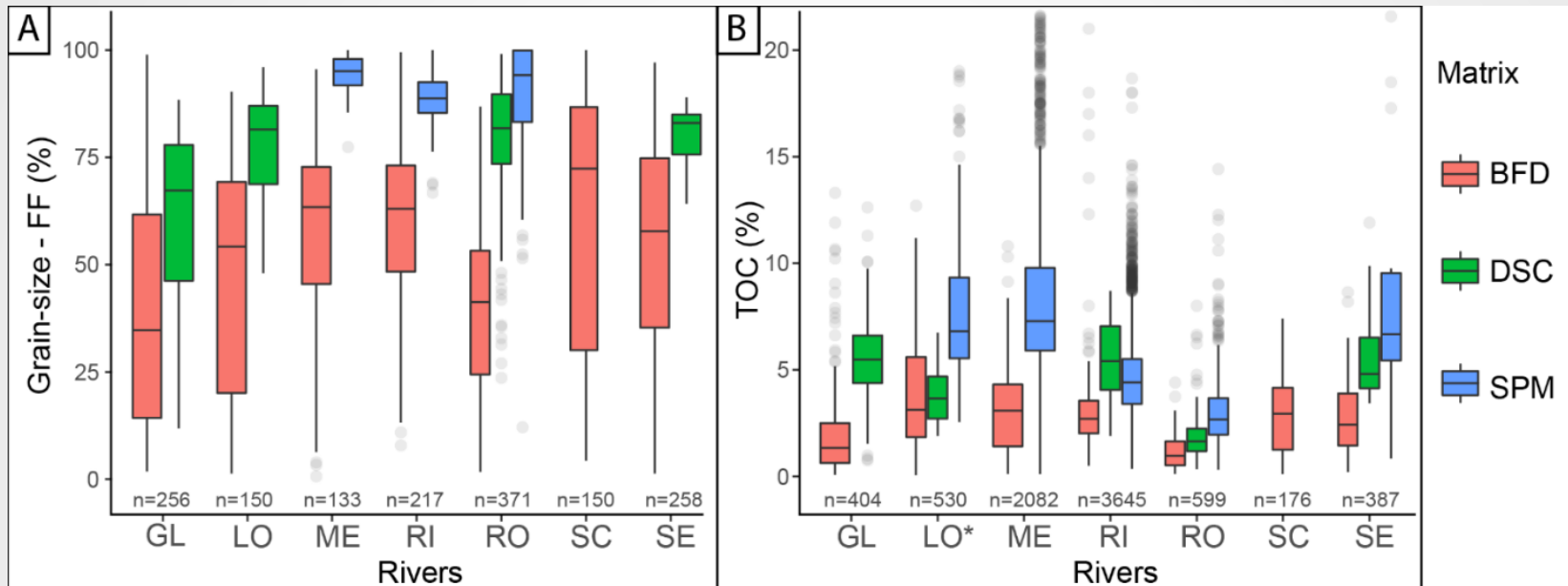
Un vaste jeu de données 1945-2020

- Eléments traces réglementaires (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
- Majeurs (Al, Fe; 32-44%) & données complémentaires (granulométrie=12%, TOC=68%)



- Avant 1990, les données sont basées sur les carottes sédimentaires
- Depuis 1990, importance croissante des analyses sur BFD
- Grand nombre d'analyses sur MES pour le Rhin et la Meuse

Granulométrie et TOC



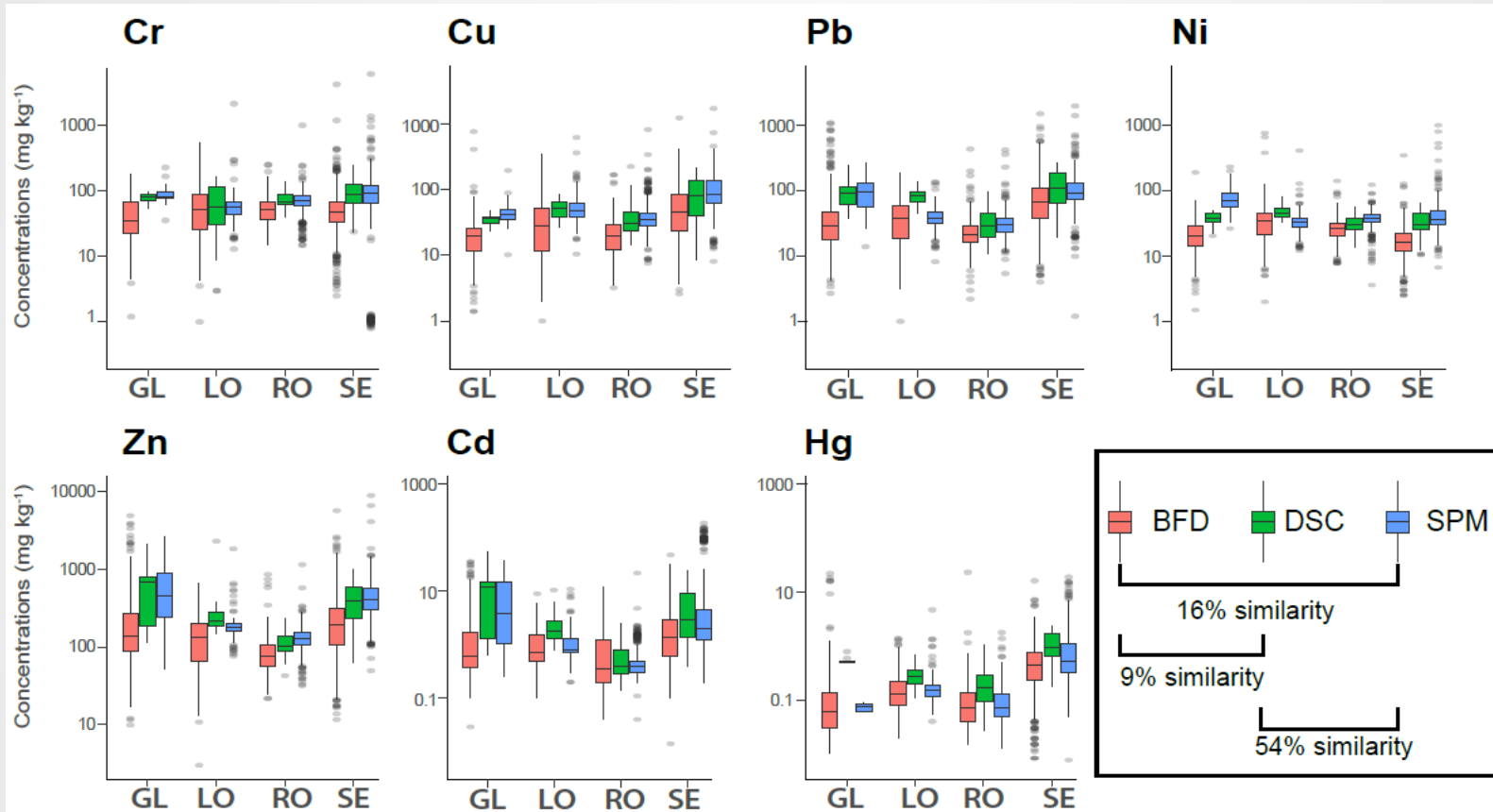
Fraction fine (FF; <63 μ m) => Données hétérogènes entre elles, bien corrélées aux métaux

- BFD : forte variabilité granulométrique, seulement 70% FF
- Carottes (DSC) : 78% FF
- MES / SPM : 90% FF

Différences moins marquées concernant le TOC :

3% TOC dans BFD; 4% dans DSC, 5% dans MES, peu corrélé avec les métaux

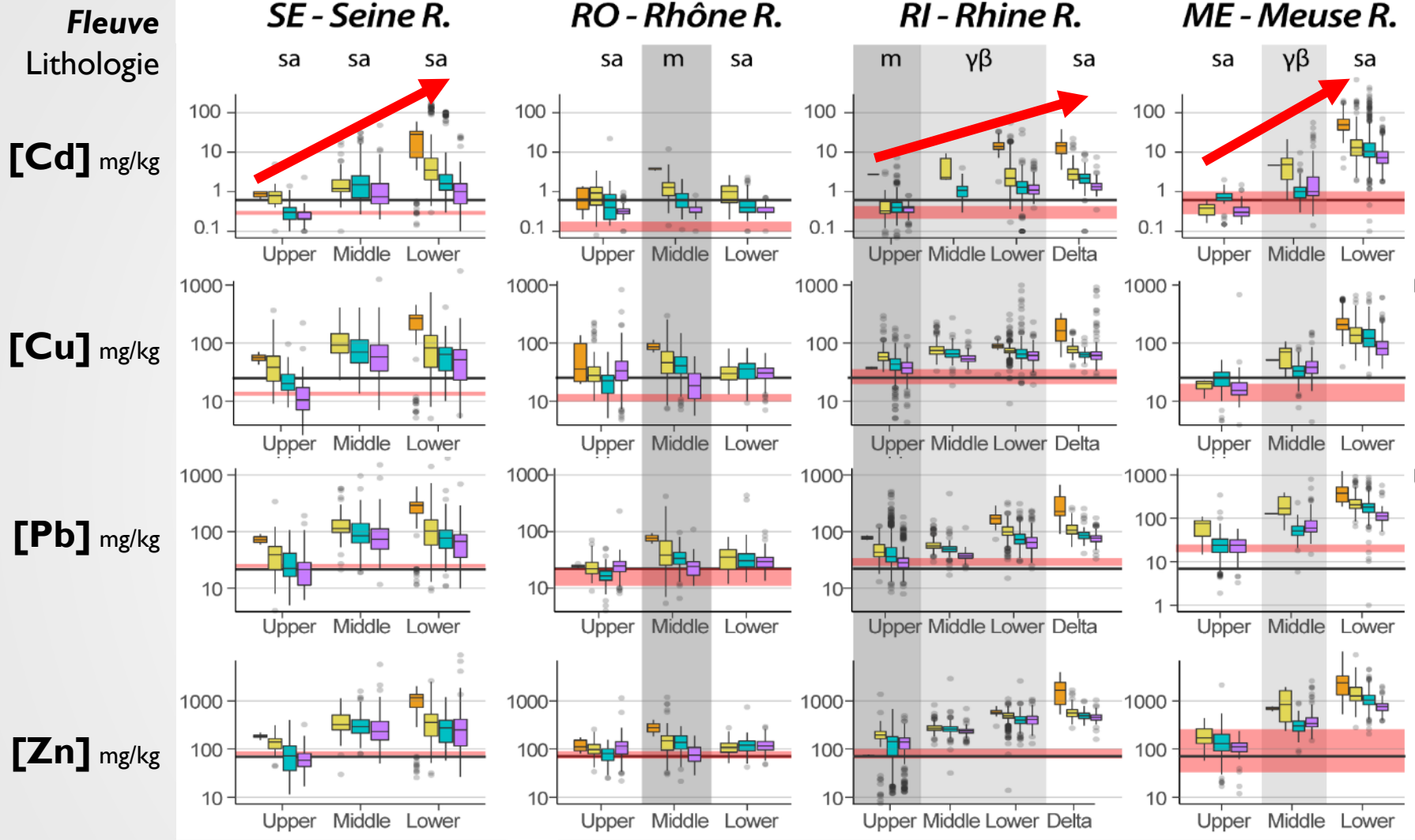
Effets de matrice



Globalement, les concentrations sont du même ordre de grandeur entre les matrices:

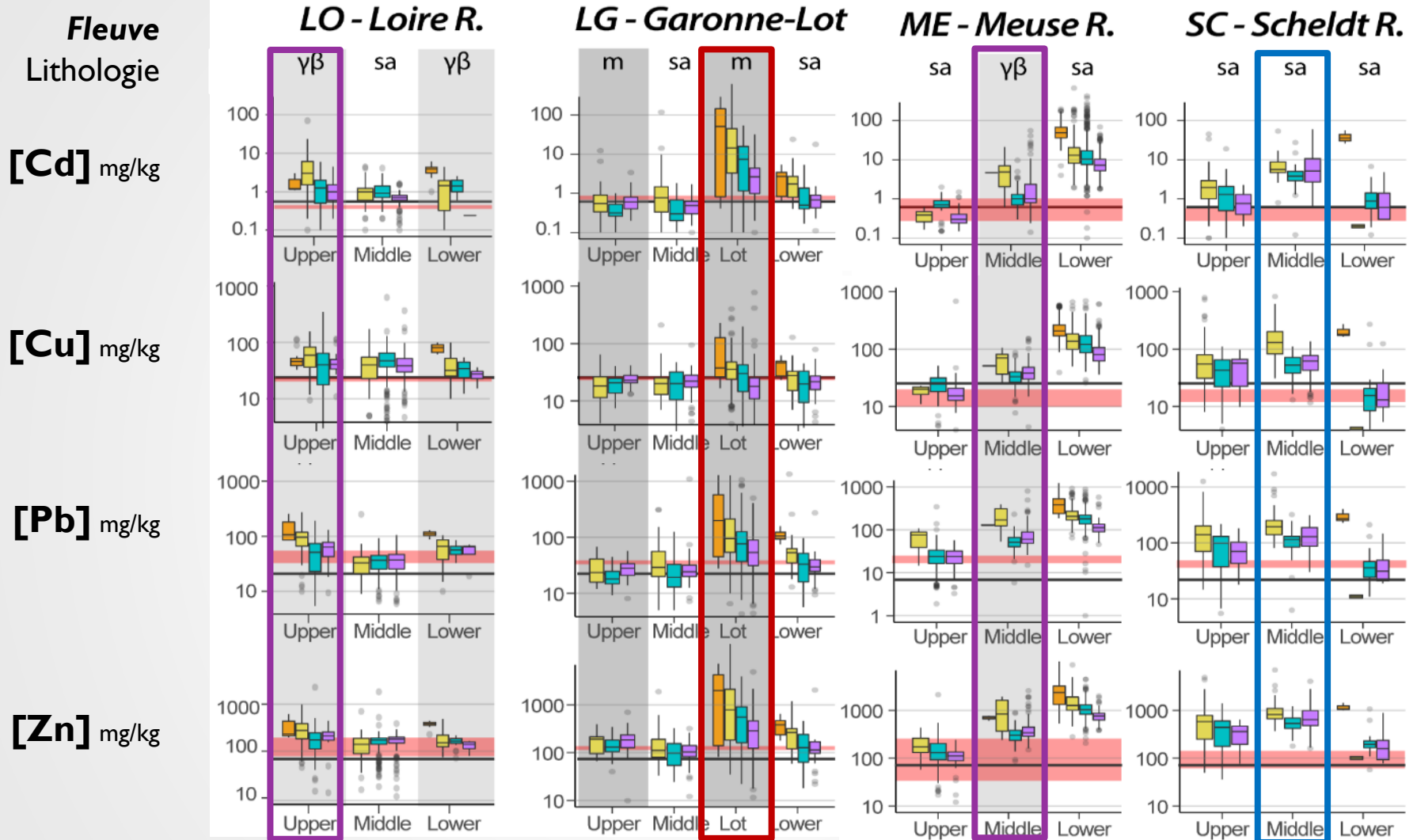
- 54% de similarité entre carottes et MES/SPM
- parfois même les trois matrices pour le Rhône et la Seine surtout

Résultats et Discussion



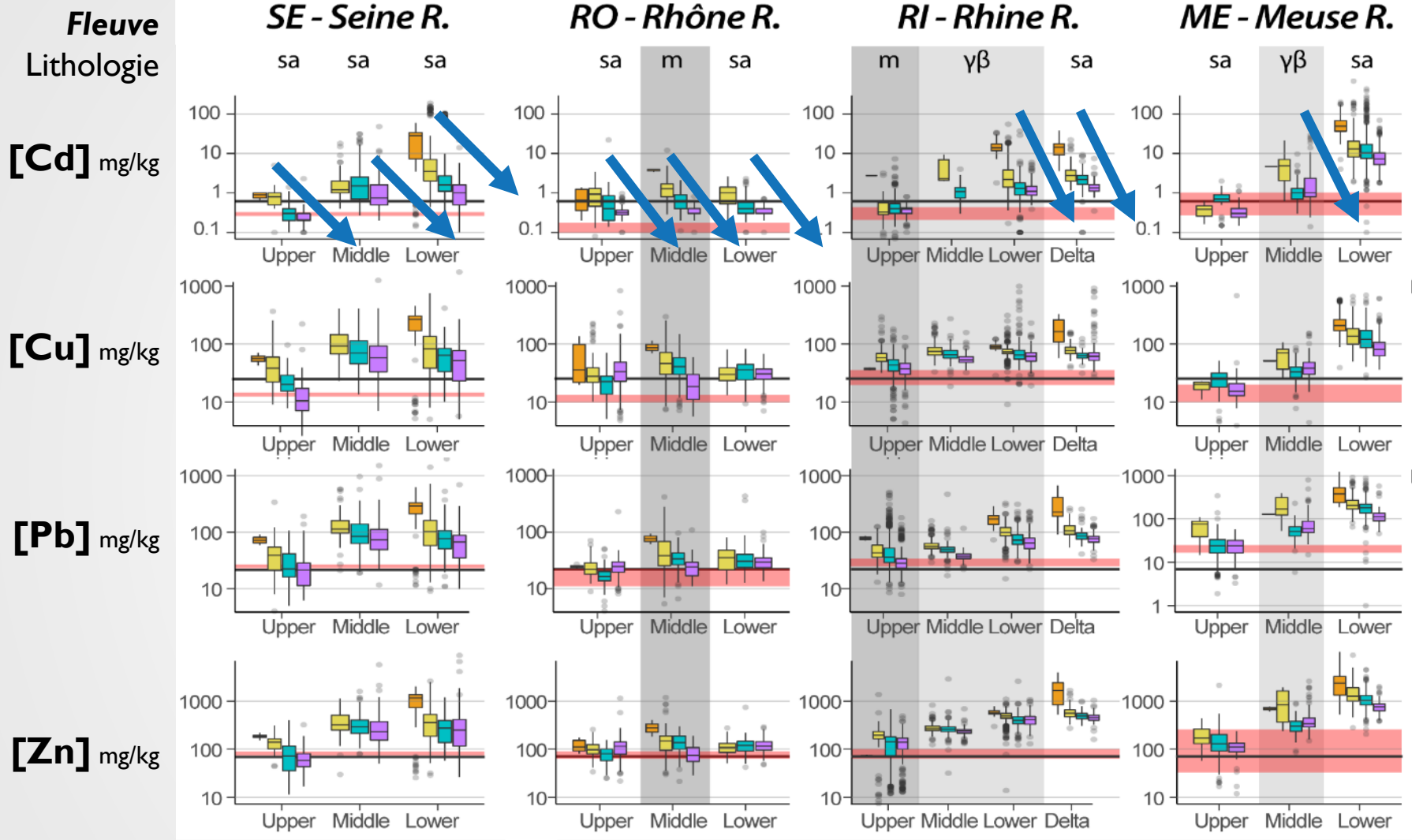
Prise en compte de la localisation, géologie, temps et fond géochimique
1) Augmentation des concentrations vers l'aval en général

Résultats et Discussion



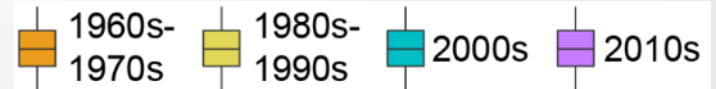
2) Fortes concentrations dans les sections fluviales avec **extraction minière (conditionnée par la géologie)** et **activités industrielles**

Résultats et Discussion

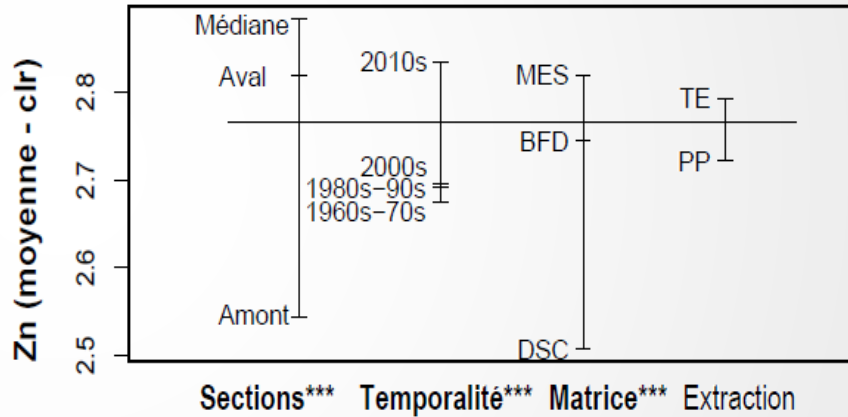
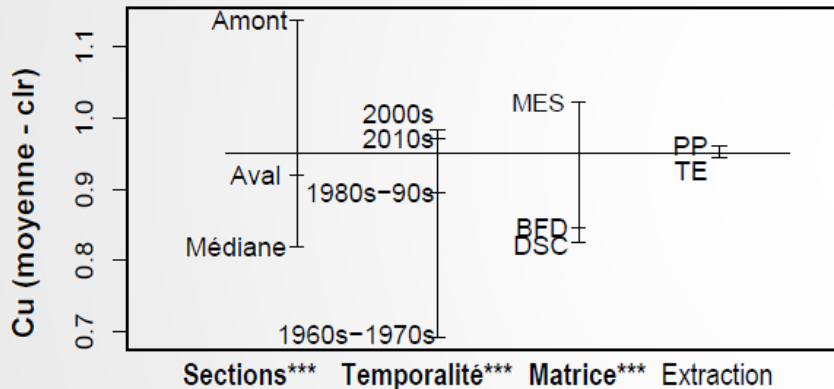
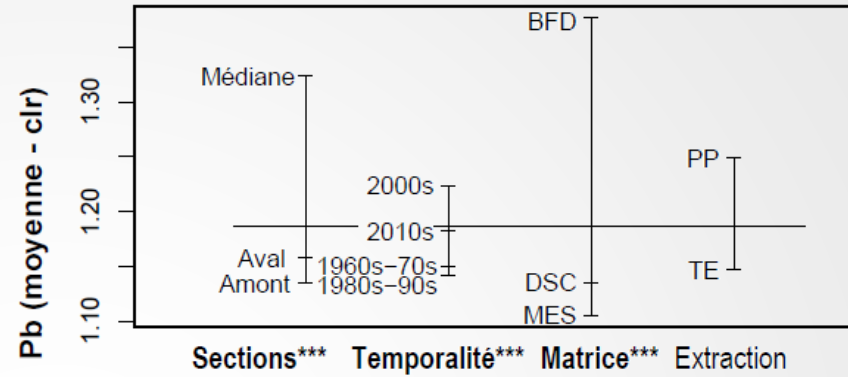
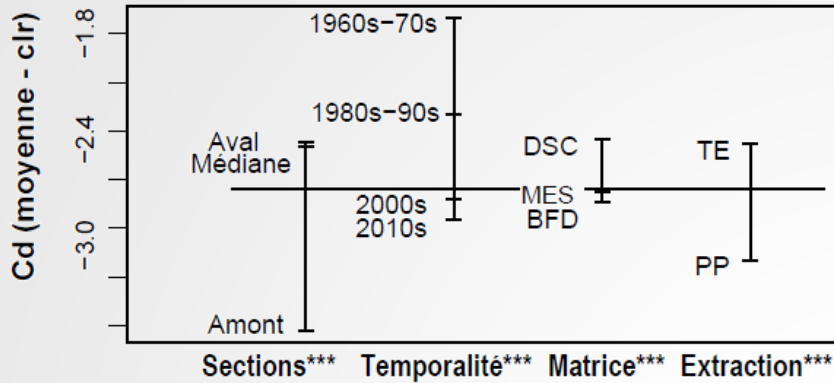


3) Baisse significative au cours des décennies

⇒ **Fond géochimique atteint post-2000**
sauf pour certaines sections aval



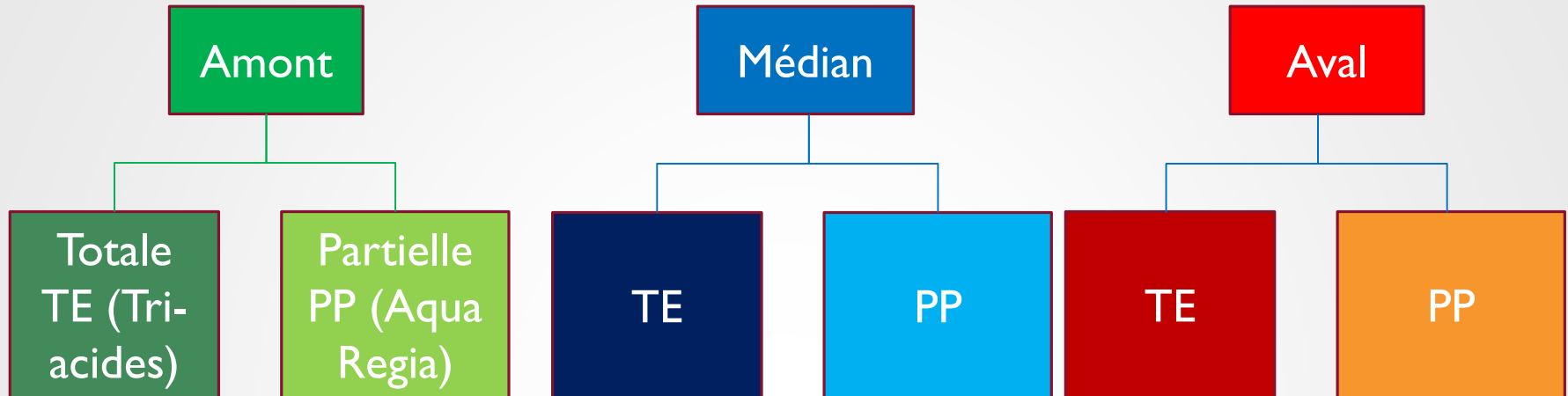
Résultats et Discussion



Intercomparaison validée par une ANOVA à 4 facteurs

1. Temps et localisation sur les plus significatifs => influencés par la géologie, héritage minier et industriel, urbanisation, meilleure gestion
2. A cette échelle, matrices et extractions influencent de façon secondaire

- ✓ Complétion de l'inventaire des **fonds géochimiques**



- **Publications scientifiques** sur chaque BV (Thevenot et al., 2005; Avoine et al., 1986; Dhivert et al., 2015; Grosbois et al., 2012; Audry, 2004...)
- **Acquisition** TE & PP sur le Rhône amont-aval (Dendievel et al., 2020)
- **FOREGS** : PP + Garonne amont-moyenne (De Vos et al., 2006)

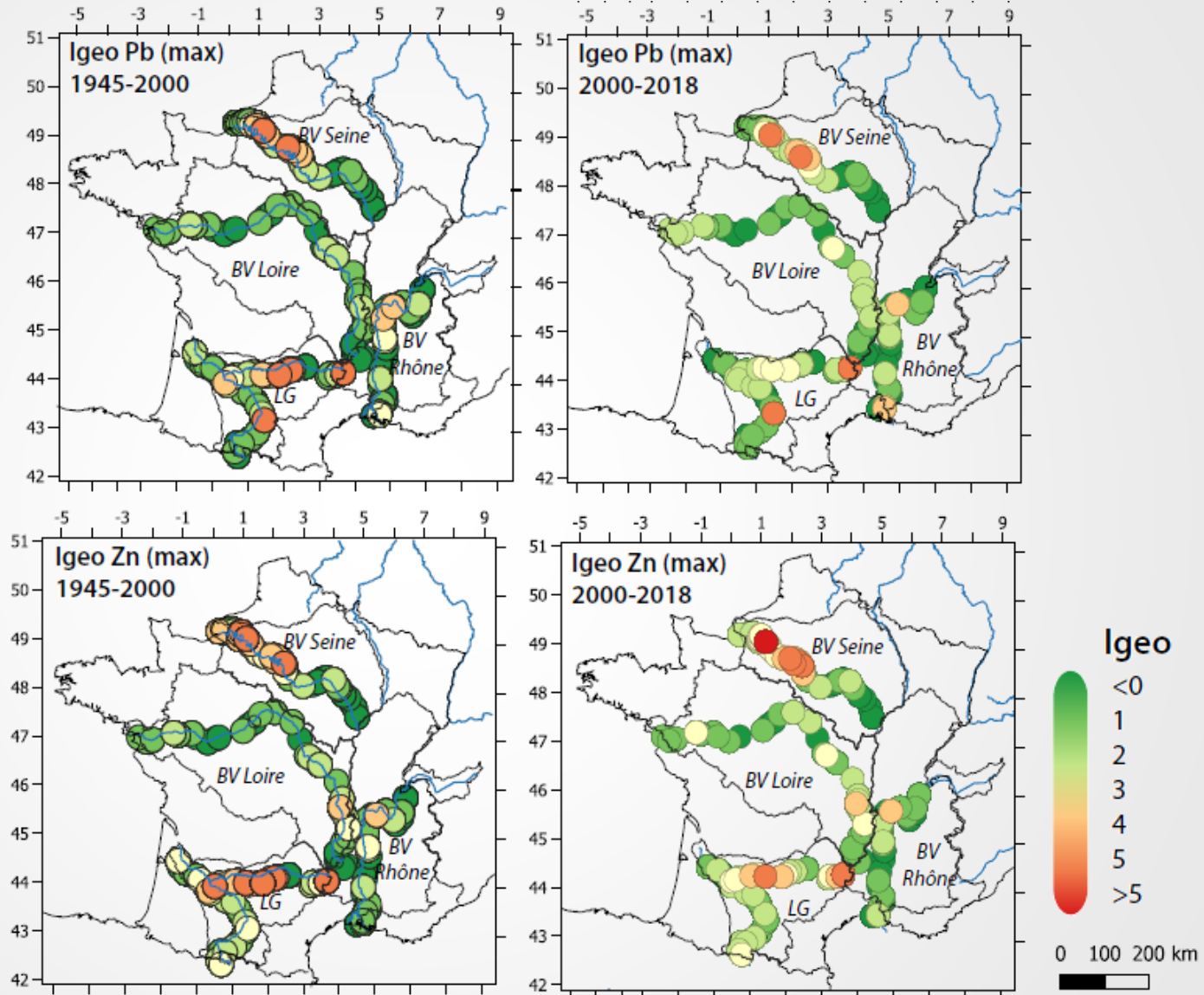
- Éléments lithogéniques peu documentés : 56% Al, 75% Fe

- **Choix de l'IGEO**

$$IGEO = \frac{\text{Log2} (Metal_{ech})}{1,5 \times Metal_Fond_Geoch}$$

Cartographie des maximas

- Réduction des valeurs extrêmes (Lot-Garonne et Rhône)
- Valeurs ponctuelles encore très hautes sur la Seine
- Aller vers les médianes
- Intégrer le Rhin amont et le Rhône alpin (données Suisse)



Synthèse

- ✓ Données disponibles pour la communauté scientifique et gestionnaires
- ✓ Résultats sur l'amélioration de la qualité des sédiments depuis 70 ans
- ✓ **Facteurs les plus influents :**
 1. Temps et localisation
=> influencés par la géologie, héritage minier et industriel, urbanisation, meilleure gestion
 2. A cette échelle, matrices et extraction influence la donnée de façon secondaire
- ✓ **Tendances spatio-temporelles**
 - Augmentation des concentrations amont-aval
 - Décroissance temporelle depuis les années 1980-1990
= effet des réglementations et de la désindustrialisation en Europe
- ✓ **Prochaines étapes :** intégration des fonds géochimiques et traitement des indices de contamination médians sur les 7 grands fleuves et cartographie



Merci de votre attention !
 andre-marie.dendievel@entpe.fr

(DOI):10.1016/j.scitote
 nv.2021.149778

Science of the Total Environment 805 (2022) 149778



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Key factors influencing metal concentrations in sediments along Western European Rivers: A long-term monitoring study (1945–2020)



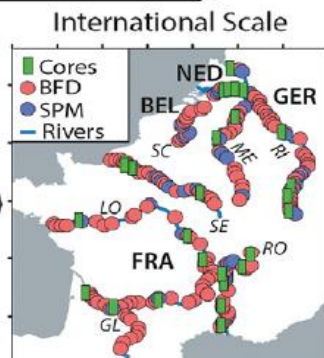
André-Marie Dendievel^{a,*}, Cécile Grosbois^b, Sophie Ayrault^c, Olivier Evrard^c, Alexandra Coynel^d,
 Maxime Debret^e, Thomas Gardes^e, Cassandra Euzen^f, Laurent Schmitt^f, François Chabaux^g, Thierry Winiarski^a,
 Marcel Van Der Perk^h, Brice Mourier^{a,*}

DATA COLLECTION AND MAPPING

ANALYSIS OF KEY FACTORS

PROJECTIONS & STATISTICS

Cd Cr Cu Hg Ni Pb Zn



- ⚙ Sediment matrix composition
- ⚙ Fractionation
- ⚙ Extraction processes
- ⚙ River Section (incl. geology and land use)
- ⚙ Time (decades)

