



HAL
open science

Analyses des polluants organiques persistants (POP) dans deux carottes du Rhône Moyen et caractérisation des microplastiques dans deux carottes prélevées en amont et aval de l'agglomération lyonnaise

Gabrielle Seignemartin, Brice Mourier, Elie Dhivert, Jean Pruvost,
André-Marie Dendievel, Daniel Donze, Myriam Hammada, Thierry Winiarski

► **To cite this version:**

Gabrielle Seignemartin, Brice Mourier, Elie Dhivert, Jean Pruvost, André-Marie Dendievel, et al.. Analyses des polluants organiques persistants (POP) dans deux carottes du Rhône Moyen et caractérisation des microplastiques dans deux carottes prélevées en amont et aval de l'agglomération lyonnaise : OSR6 | Axe B - Action B3.1 | Rapport scientifique final. [Rapport de recherche] ENTPE. 2024. hal-04653283

HAL Id: hal-04653283

<https://hal.science/hal-04653283>

Submitted on 26 Aug 2024

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

Analyses des polluants organiques persistants (POP) dans deux carottes du Rhône Moyen et caractérisation des microplastiques dans deux carottes prélevées en amont et aval de l'agglomération lyonnaise

Analyses des polluants organiques persistants (POP) dans deux carottes du Rhône Moyen et caractérisation des microplastiques dans deux carottes prélevées en amont et aval de l'agglomération lyonnaise

Rapport scientifique final

Version du 13 juin 2024

Observatoire des Sédiments du Rhône – 6^{ème} programme d'action

Axe B3 – Dynamique de stockage des contaminants émergents dans les sédiments immobilisés

Action B3.1 – Influence des environnements de dépôt sur le stockage des contaminants émergents

Personnes impliquées	Equipe de recherche
Gabrielle Seignemartin (Post-doc)	ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
Brice Mourier (CR)	ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
Elie Dhivert	ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
Jean Pruvost (Doc)	ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
André-Marie Dendievel (CR)	ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
Daniel Donze (TS)	ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
Myriam Hammada (TS)	ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA
Thierry Winiarski (DR)	ENTPE, IAPHY, CNRS UMR 5023 LEHNA

Pour citer ce rapport

Seignemartin, G., Mourier, B., Dhivert, E., Pruvost, J., Dendievel A.-M., Donze, D., Hammada, M., Winiarski, T. (2024). *Analyses des Polluants Organiques Persistants (POP) dans deux carottes du Rhône Moyen et caractérisation des microplastiques dans deux carottes prélevées en amont et aval de l'agglomération lyonnaise*. Rapport final. Observatoire des Sédiments du Rhône – 6^{ème} programme d'action. Action B3.1. 38 p.

L'OSR est un programme animé par le Graie. Pour toute information vous pouvez contacter

Bertrand Morandi (bertrand.morandi@graie.org)

Résumé

Ce rapport évalue les pollutions en substances prioritaires et d'intérêt émergent dans des carottes sédimentaires en se concentrant sur les sites à sédimentation récente (depuis 1990). Les analyses incluent les polychlorobiphényles (PCB), per- et polyfluoroalkylées (PFAS), pesticides organochlorés (POC) et les phtalates sur les carottes de sédiments Pierre-Bénite (PBN) 2002 et Péage-de-Roussillon (PDR) 1902, ainsi que les microplastiques sur les carottes de Jons (JON C02) () et de l'Île du Beurre/de la Chèvre (BRE C01).

Pour les PCB, les périodes couvertes montrent une amélioration progressive des niveaux de contamination, avec une tendance à la baisse après les années 2000. Les concentrations restent relativement stables de 2004 à 2019 pour PBN 2002 et de 1991 à 2019 pour PDR 1902. Cependant, des pics sont observés en 2008-2009 ($7\sum\text{PCBi} = 65,3 \mu\text{g/kg}$ pour PBN 2002) et 2000 ($7\sum\text{PCBi} = 114,6 \mu\text{g/kg}$ pour PDR 1902) suggérant une remobilisation de stocks anciens. Les analyses de PFAS montrent des concentrations moyennes plus élevées pour PBN 2002 par rapport à PDR 1902. A PBN, entre 2004 et 2006, les concentrations en acides perfluorocarboxyliques à chaîne courte diminuent, au profit de ceux à chaîne longue (séquence 2006-2019); potentiellement en raison de modifications des usages et pratiques industriels sur le site de Pierre Bénite.

Les concentrations en phtalates restent stables pour diéthyle (DEP), diisobutyl (DiBP), di-n-butyl (DnBP) et di-isodécyle (DiDP), avec une diminution notable du di-2-éthylhexyle (DEHP) après 2010, au profit du di-isononyle (DiNP). Pour les POC, les deux carottes montrent des niveaux de contamination faibles, avec une légère baisse des dichlorodiphényldichloroéthylène ($\sum\text{DDEs}$) depuis 2010. Concernant les microplastiques, la diversité des polymères est notable sur les deux sites. La concentration est jusqu'à 6 fois plus élevée à l'île du Beurre (en aval de Lyon) qu'à Jons (en amont de Lyon). Les polymères dominants varient : le PP est majoritaire à Jons (70%), tandis que le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC) et le polyéthylène (PE) dominent à l'île du Beurre (respectivement 53%, 33% et 6%). La présence de PVC à l'île du Beurre indique une influence de l'activité industrielle au sud de Lyon, ou un enrichissement via la Saône. Depuis la fin des années 2010, les concentrations en microplastiques ont diminué en aval de Lyon signalant une tendance récente à l'amélioration de la contamination plastique.

Mots-clés

Rhône ; Observatoire ; Sédiments ; OSR ; Carottes sédimentaires ; contaminants organiques, POP, PCB, PFAS, PA, POC, microplastiques

Table des matières

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	5
2. ACQUISITIONS ET ANALYSES.....	6
2.1 Carte de localisation des sites d'études associés à l'Action B3.1.	6
2.2 Opérations de carottage et analyses associées	7
2.2.1 <i>Méthode de prélèvement</i>	7
2.2.2 <i>Rappel des objectifs, localisation et caractéristiques des carottages</i>	7
2.2.1 <i>Analyses des polluants organiques persistants</i>	9
2.2.2 <i>Analyses des microplastiques</i>	13
3. RESULTATS.....	15
3.1 Caractérisation des POPs des carottes PBN 2002 et PDR 1902	15
3.1.1 <i>PCB (polychlorobiphényles)</i>	15
3.1.2 <i>PFAS (Per- et polyfluoroalkylées)</i>	16
3.1.3 <i>PA (Phthalates)</i>	21
3.1.4 <i>POC (pesticides organochlorés)</i>	23
3.2 Caractérisation des microplastiques des carottes JON-C02 et BRE-C01	26
3.2.1 <i>Caractéristiques sédimentaires des carottes</i>	26
3.2.2 <i>Résultats d'analyses des microplastiques</i>	26
4. CONCLUSIONS.....	30
5. BIBLIOGRAPHIE	32
6. ANNEXES	34

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

L'analyse des carottes sédimentaires est une approche essentielle dans l'étude de l'imprégnation environnementale des écosystèmes aquatiques par les micropolluants, permettant d'évaluer l'évolution sur plusieurs décennies de la contamination par les **Polluants Organiques Persistants (POP)** et les **microplastiques**. Ces données fournissent des informations précieuses pour guider les stratégies de gestion et de préservation de l'environnement.

Objectif 1 « *Caractérisation des POPs* »

L'**objectif 1** de l'Action B.3.1 est d'évaluer la contamination potentielle par les **POPs d'intérêt émergent**, impliquant l'étude de sites caractérisés par une sédimentation récente, i.e. qui couvre des chronologies de sédimentation concomitantes aux périodes d'émissions dans l'environnement des différents polluants étudiés (globalement réparties sur les dernières décennies du 20^{ème} siècle).

Objectif 2 « *Caractérisation des microplastiques* »

Dans la démarche constante d'évaluer les risques de pollution, une préoccupation environnementale émerge avec force : la caractérisation de la pollution par les **microplastiques**. Les microplastiques sont définis comme de petites particules (1 à 5000 µm) de plastique constitué de polymères synthétiques (par exemple : Polyéthylène, Polypropylène, Polychlorure de vinyle, Polyéthylène téréphtalate). Pour répondre à cette préoccupation, les carottes JON C02 et BRE C01, déjà minutieusement caractérisées sur le plan sédimentologique dans le cadre du rapport de carottage de l'OSR 6 (Seignemartin *et al.*, 2023), sont mises à contribution.

Ce rapport présente les résultats d'analyses effectuées sur plusieurs carottes :

- PCB, PFAS, phtalates, POC pour la carotte de Pierre-Bénite (aval de Lyon, identifiée PBN 2002)
- PCB, PFAS et POC pour la carotte de Péage-de Roussillon (aval de Lyon, identifiée PDR 1902)
- Microplastiques pour les carottes de Jons (amont de Lyon, JON 21 C02) et de l'île du Beurre (aval de Lyon, identifiée BRE 21 C01).

Les analyses visent à comparer les évolutions des POP d'intérêt émergent, à la fois au sein d'un même site (par rapport à la chronologie des différents polluants) et entre différents sites, afin de caractériser des contextes hydrosédimentaires présentant des variations temporelles distinctes ; ou bien encore l'influence de l'agglomération de Lyon. En effet, en examinant les carottes sédimentaires prélevées en amont et en aval de Lyon, nous pouvons obtenir des indications précieuses sur l'empreinte urbaine et industrielle de l'agglomération.

2. ACQUISITIONS ET ANALYSES

2.1 Carte de localisation des sites d'études associés à l'Action B3.1.

Les deux sites de carottage associés à l'objectif 1 de « *caractérisation des POPs* » sont localisés sur le Rhône moyen (Pierre-Bénite et Péage-de-Roussillon), permettant d'évaluer l'évolution de la contamination à l'aval de Lyon. Les deux sites associés à l'objectif 2 « *caractérisation des microplastiques* » sont situés sur des tronçons de Rhône total à Jons (Rhône supérieur) et à l'Île du Beurre (Rhône moyen), permettant une comparaison « amont-aval » de l'agglomération de Lyon (Figure 1).

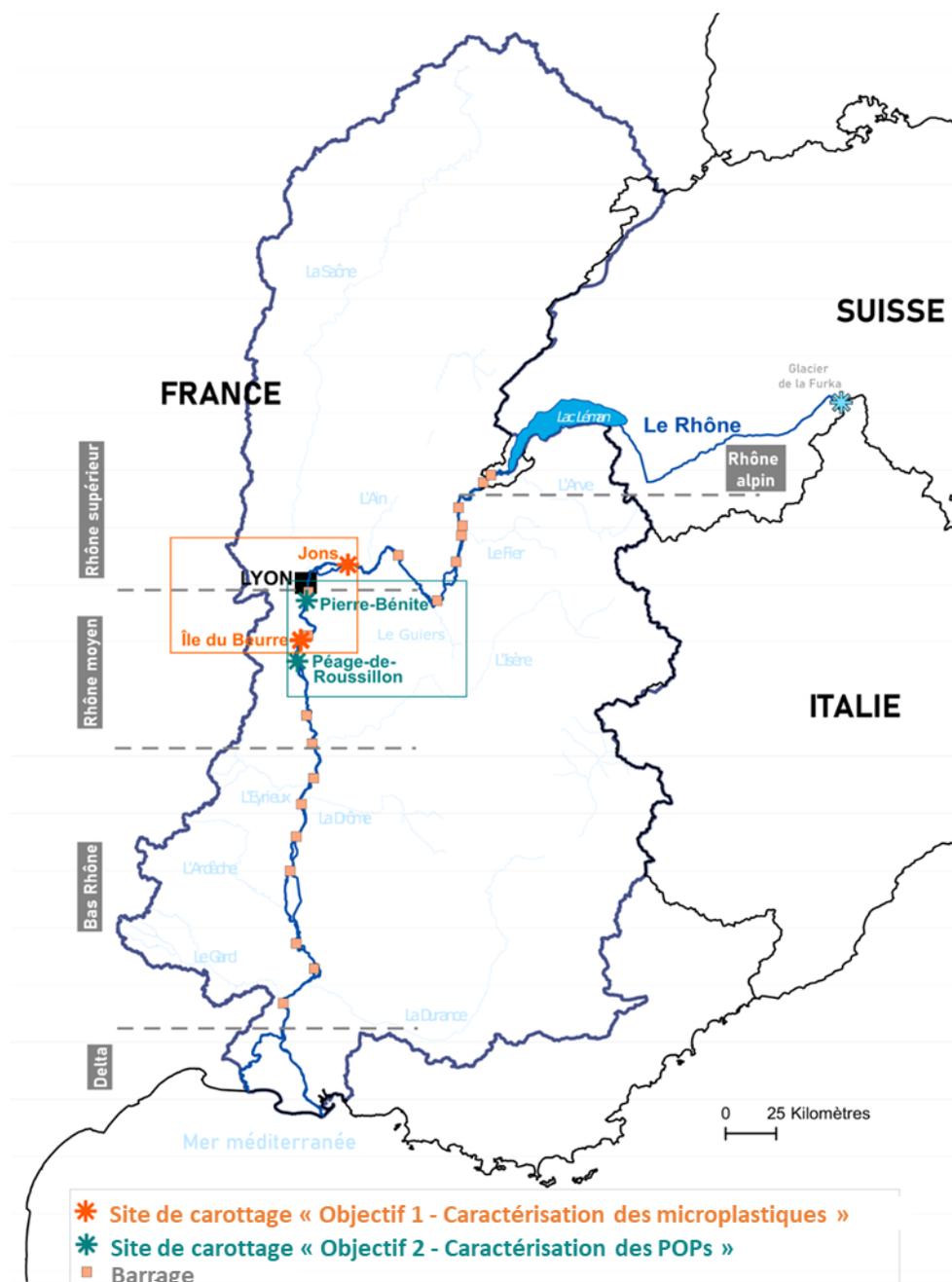


Figure 1 : Carte de localisation des sites d'études pour la caractérisation des POPs (Objectif 1) et des microplastiques (Objectif 2)

2.2 Opérations de carottage et analyses associées

2.2.1 Méthode de prélèvement

Les carottes sédimentaires aquatiques sont prélevées à l'aide d'un carottier gravitaire UWITEC (diamètre 90 mm). La tête du carottier permet d'y introduire un tube en PVC translucide afin d'effectuer le prélèvement et la mise en tube des sédiments en une seule section. Le prélèvement s'effectue soit à partir d'une plateforme flottante ou d'une embarcation.

2.2.2 Rappel des objectifs, localisation et caractéristiques des carottages

L'objectif 1 vise à comprendre **les tendances** en termes de **pollutions des dernières décennies sur le Rhône**, et notamment, la contamination potentielle par les **POPs d'intérêt émergent**. Le Tableau 1 récapitule les caractéristiques des quatre carottages présentant un archivage sédimentaire « récent » et propices à l'analyse de ces potentielles pollutions. Certaines carottes ne répondant pas aux critères temporels au d'archivage sédimentaires, ou dont les analyses n'ont pas abouti, ont été écartées (carottes de Granges, *cf. Seignemartin et al., 2023*).

En termes de contexte fluvial (Figure 2), les prélèvements se répartissent ainsi :

- la carotte « PBN 2002 » a été échantillonnée à Pierre-Bénite (69310) en rive droite du Vieux-Rhône, dans la Lône de Ciselande au niveau d'une zone de reflux circulaire formant une annexe au bras principal de la lône.
- la carotte « PDR 1902 » a été prélevée à Péage-de-Roussillon (38550) en rive droite du fleuve (Rhône total), en amont du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf, dans une zone latérale aménagée par une digue qui sépare le Batalon (affluent en rive droite) du cours principal du Rhône, le canalisant pour qu'il se jette en aval, dans le RCC.
- la carotte JON 21 C02 provient de la Lône des pêcheurs (Jons, 69330), caractérisée par une connexion aval avec le Rhône total, peu avant qu'il se sépare entre le canal de Jonage et celui de Miribel.
- la carotte BRE 21 C01 a été échantillonnées, dans la Grande Lône de l'île de la Chèvre, secteur couramment appelé « Ile du Beurre » (BRE 21 C01) à Tupin-et-Semons (69420). Celle-ci présente une configuration avec des connexions amont avec le fleuve et aval via la lône du beurre.

Tableau 1 : Caractéristiques des carottes analysées - (coordonnées en WGS 84)

ID	Site	Contexte	Y_WGS84	X_WGS84	Taille	PK	Analyses / résultats présentés le rapport intermédiaire (mai 2023)	Analyses / résultats dans ce rapport
JON 21 C02	Jons	Inter-RCC Lône des pêcheurs	45,810387	5,092653	93	-27	Evolution diachroniques (SIG), environnement géophysique (GPR), log, granulométrie, perte au feu, ETM, datation 210 Pb _{xs} et 137 Cs	Analyses des microplastiques
BRE 21 C01	Ile du Beurre	Inter-RCC Lône de l'île de la Chèvre (qui se jette dans celle du Beurre)	45,478294	4,782869	121	37,5	Evolution diachroniques (SIG), environnement géophysique (GPR), log, granulométrie, perte au feu, ETM, datation 210 Pb _{xs} et 137 Cs	
PBN 2002	Pierre-Bénite	Intra-RCC Lône de Ciselande	45,654604	4,824724	108	9,6	Dans Vauclin <i>et al.</i> , 2021 : Log, granulométrie, perte au feu, ETM, datation 210 Pb _{xs} et 137 Cs, RFB, nRFB, etc.	PCB, PFAS, phtalates, POC
PDR 1902	Péage-de-Roussillon	Rhône total, Retenue de barrage	45,3821711	4,7552535	104	50,7		PCB, PFAS, POC

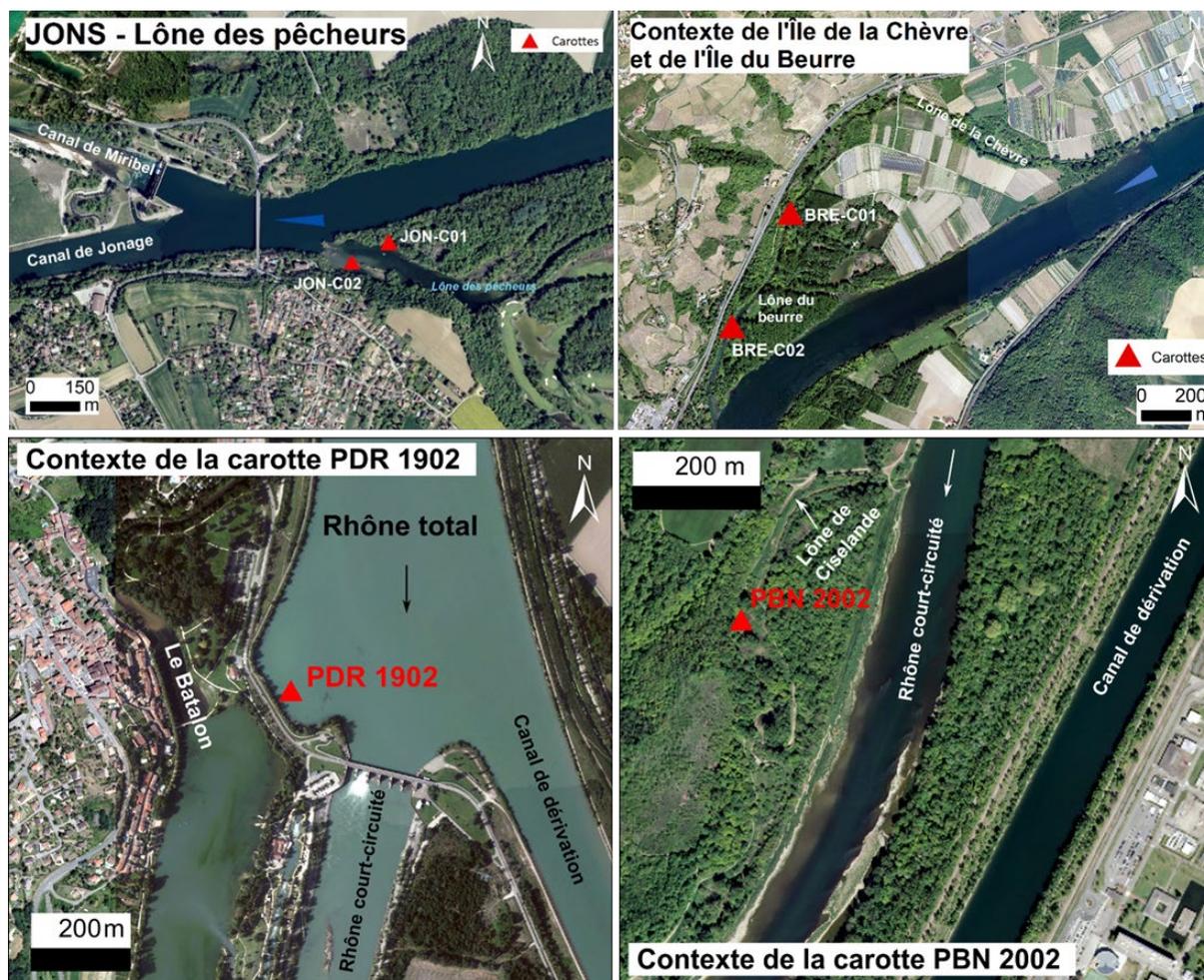


Figure 2 : contexte des sites de carottage de JON-C02, BRE-C01, PDR 1902, PBN 2002

2.2.1 Analyses des polluants organiques persistants

Le terme "POP" fait référence aux "Polluants Organiques Persistants". Ce sont des substances chimiques organiques, pour la plupart hydrophobes, qui persistent dans l'environnement et ont la propriété d'être bioaccumulées. L'ensemble des analyses en PCB (polychlorobiphényles), PFAS (per- et polyfluoroalkylées), POC (pesticides organochlorés) et PA (phtalates) est effectué au laboratoire ONIRIS/LABERCA de Nantes. Les analyses se déroulent en trois étapes majeures : la préparation de l'échantillon et l'extraction, la purification de l'extrait, et l'analyse par HRGC-HRMS (chromatographie gazeuse capillaire couplée à une spectrométrie de masse haute résolution). Pour plus de détails, se référer à Vauclin *et al.* (2020).

En outre, pour toutes les analyses réalisées, la limite de détection (LOD) est définie comme la concentration la plus basse qui peut être mesurée avec une signification statistique par une procédure analytique donnée. Ici, elle est déterminée comme étant la concentration d'analyte au moins trois fois supérieure au niveau du bruit de fond.

- **PCBs (polychlorobiphényles)**

Avant leur interdiction progressive entre 1979 et 1987, Les PCB (polychlorobiphényles) étaient largement utilisés, notamment comme isolants électriques dans les transformateurs et les condensateurs. Ils constituent un groupe de composés organiques avec la formule moléculaire $C_{12}H_{10-n}Cl_n$, contenant entre 1 et 5 atomes de chlore substitués à différentes positions dans les cycles phényles. Cette famille d'organochlorés comprend 209 congénères classés en fonction du nombre et de la disposition des atomes de chlore au sein d'une molécule de biphényle.

Les PCB sont des polluants organiques persistants (POP), caractérisés par leur persistance, leur toxicité et leurs affinités pour les phases particulaires et organiques, les rendant susceptibles de bioaccumulation et de bioamplification dans la chaîne trophique. Bien que tous théoriquement analysables, les mesures à des fins environnementales se concentrent généralement sur une vingtaine de congénères en raison de limites analytiques et de coûts élevés. Plus fréquemment, les études se restreignent aux 7 PCB indicateurs principaux : #101, #118, #138, #153, #180, #28, #52. Leur somme ($\sum 7PCBi$) est communément utilisée en référence aux normes et seuils écotoxicologiques (TEC/PEC, MacDonald *et al.*, 2000) ; fixés pour le TEC SQG ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ DW) à 119,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et PECs SQG ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ DW) à 1352 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

- **PFAS (Per- et polyfluoroalkylées)**

Les PFAS sont des substances per- et polyfluoroalkylées sont une classe de composés largement utilisées dans les procédés industriels en raison de leurs propriétés hydrofuges, oléofuges, antiadhésives et tensioactives (revêtements antiadhésifs, textiles imperméables et résistants aux taches, agents tensioactifs).

Les PFAS à longue chaîne (nombre de carbone élevé) présentent une propension significative à s'accumuler au sein des différents niveaux trophiques (Lewis *et al.*, 2022). Afin de faciliter l'interprétation des résultats et tendances, ils seront classés selon leur famille : acide perfluorosulfonique ou acide perfluorocarboxylique ; et pour ces derniers, selon la longueur de leur chaîne de carbone ($<$ ou \geq à 8 C, *cf.* Tableau 2).

Tableau 2 : abréviation, nom complet et nombre de carbone des composés PFAS analysés

Abréviation	Nom complet	Nombre de Carbone	Classification
Perfluorosulfonic Acids (PFSAs) - C_nF_{2n+1}SO₃H			
PFBS	Perfluorobutane sulfonate	4	Court
PFHxS	Perfluorohexane sulfonate	5	Court
PFHpS	Perfluoroheptane sulfonate	6	Court
PFOS	Perfluorooctane sulfonate	8	Long
PFDS	Perfluorodécane sulfonate	10	Long
Perfluorocarboxylic Acids (PFCAs) - C_nF_{2n+1}CO₂H			
PFBA	Perfluorobutanoic acid	4	Court
PFPA	Perfluoropentanoic acid	5	Court
PFHxA	Perfluorohexanoic acid	6	Court
PFHpA	Perfluoroheptanoic acid	7	Court
PFOA	Perfluorooctanoic acid	8	Long
PFNA	Perfluorononanoic acid	9	Long
PFDA	Perfluorodécanoic acid	10	Long
PFUnA	Perfluoroundécanoic acid	11	Long
PFDoA	Perfluorododécanoic acid	12	Long
PFTTrDA	Perfluorotridecanoic acid	13	Long
PFTeDA	Perfluorotétradécanoic acid	14	Long

Les concentrations sommées des composés regroupent les PFCAs à chaîne courte, ceux à chaîne longue et tous les PFSAs selon les catégories suivantes :

- \sum PFSA : PFBS + PFHxS + PFHpS + PFOS + PFDS
- \sum PFCA[C<8] : PFBA + PFPA + PFHxA + PFHpA
- $5\sum$ PFCA[C ≥ 8] : PFOA + PFNA + PFDA + PFUnA + PFDoA

Dans le cadre de certaines analyses, deux composés supplémentaires s'ajoutent :

- $7\sum$ PFCA[C ≥ 8] : PFOA + PFNA + PFDA + PFUnA + PFDoA + PFTTrDA + PFTeDA

Il n'existe pas de seuils réglementaires relatifs aux PFAS à prendre en compte lors de la gestion des sédiments extraits de cours d'eau. Le centre Ecotox (Eawag, Suisse) a quant à lui proposé un Critère de Qualité du Sédiment (CQS) pour le PFOS de 1,85 µg/kg (Casado-Martinez *et al.*, 2022). Seuls des seuils de qualité réglementaire pour l'eau de consommation sont

actuellement en place avec 0,1 µg/L (ou 100 ng /L) pour la somme des 20 PFAS sélectionnés par l'Union européenne.

- **PA (phthalates)**

Les PA (phthalates) sont des additifs couramment utilisés dans la fabrication de matériaux plastiques pour améliorer leur flexibilité et leur souplesse (Tableau 3).

Tableau 3: abréviation, nom complet, fonctions et usages des composés PA (analysés sur la carotte PBN 2002) - (Deshayes, 2015 ; Defranceschi *et al.*, 2015)

Abréviation	Nom complet	Fonctions	Exemples d'usages
DEP	Diethyl phthalate	Solvant, plastifiant	Produits d'hygiène, cosmétiques, composants automobiles, outils, emballages alimentaires
DEHP	Di(2-ethylhexyl) phthalate	Plastifiant pour PVC, dans les jouets	Revêtements de surfaces intérieures, condensateurs, matériel médical, textiles et habillement, traitement de surfaces, cosmétiques, produits flexibles en pvc
DnBP	Di-n-butyl phthalate	Plastifiant, fixateur de parfum	Cosmétiques, agents anti-moussants, adhésifs, encres pour imprimantes, insecticides, emballages, plastiques
DiNP	Diisononyl Phthalate	Plastifiant	Produits en PVC souple, câbles électriques, revêtements de sol en vinyle, jouets et articles de puériculture, gants de protection, peintures et revêtements, tissus enduits et revêtements pour meubles
DMP	Dimethylphthalate	Ingrédient pour parfums, fixateur de couleur	Insecticide, cosmétiques
DiBP	Diisobutyl phthalate	Plastifiant, fixateur de parfum	Cosmétiques, revêtements de surfaces intérieures, peintures
BBzP	Benzyle butyle phthalate	Plastifiant, stabilisateur de PVC	Produits flexibles en pvc, peintures, emballages alimentaires
DnOP	Di-n-octyl phthalate	Plastifiant, utilisé dans les adhésifs et les plastiques	Condensateurs, matériel médical, textiles et habillement, traitement de surfaces, cosmétiques, produits flexibles en pvc, revêtements de surfaces intérieures, textiles et habillement, composants automobiles, cosmétiques

- **POCs (pesticides organochlorés)**

Les POCs (pesticides organochlorés) sont des composés chimiques contenant du chlore dans leur structure. Utilisés principalement comme insecticides, fongicides et herbicides, ils incluent des substances telles que le DDT, le chlordane, l'endosulfan et le mirex (cf. liste des molécules analysées en Tableau 4). En raison de leurs effets écologiques et sanitaires préoccupants, de nombreuses réglementations ont restreint ou interdit leur utilisation.

Tableau 4: abréviation, nom complet et usages des composés POC

Abréviation	Nom complet	Exemples d'utilisation (Juc, 2007)
PeCBz	Pentachlorobenzène	Anciennement utilisé comme fongicide
a-HCH	Alpha-hexachlorocyclohexane	Insecticide
HCB	Hexachlorobenzène	Fongicide, insecticide, herbicide
g-HCH	Gamma-hexachlorocyclohexane	Insecticide
b-HCH	Bêta-hexachlorocyclohexane	Insecticide
d-HCH	Delta-hexachlorocyclohexane	Insecticide
Heptachlor	Heptachlore	Insecticide, acaricide
Oxychlordane	Oxychlordane	Insecticide
Heptachlor epoxyde cis	Heptachloroépoxyde cis	Transformation de l'heptachlor
Heptachlor epoxyde trans	Heptachloroépoxyde trans	Transformation de l'heptachlor
g-Chlordane (trans)	Gamma-chlordane (trans)	Insecticide
Trans nanochlor	Trans nanochlore	Insecticide
a-Chlordane	Alpha-chlordane	Insecticide
o,p-DDE	o,p-Dichlorodiphényldichloroéthylène	Métabolite du DDT, insecticide
p,p-DDE	p,p-Dichlorodiphényldichloroéthylène	Métabolite du DDT, insecticide
o,p-DDD	o,p-Dichlorodiphényltrichloroéthane	Insecticide, acaricide
o,p-DDT	o,p-Dichlorodiphényltrichloroéthylène	Insecticide
Cis nanochlor	Cis nanochlore	Insecticide
p,p-DDD	p,p-Dichlorodiphényltrichloroéthane	Insecticide, acaricide
p,p-DDT	p,p-Dichlorodiphényltrichloroéthylène	Insecticide, antiparasitaire
Endosulfan sulfate	Endosulfan sulfate	Insecticide, acaricide
Mirex	Mirex	Insecticide, utilisé contre les fourmis et les termites

Pour les concentrations sommées, les composés ont été regroupés par famille :

- $\sum \text{HCHs} = \text{a-HCH} + \text{g-HCH} + \text{b-HCH} + \text{d-HCH}$
- $\sum \text{HEPTACHLOR epoxyde} = \text{Heptachlor epoxyde cis} + \text{Heptachlor epoxyde trans}$
- $\sum \text{CHLORDANEs} = \text{oxychlordane} + \text{g-chlordane (trans)} + \text{r} + \text{a-chlordane}$
- $\sum \text{nanochlor} = \text{cis-nanochlor} + \text{Trans nanochlor}$
- $\sum \text{CHLORDANEs}$
- $\sum \text{DDE} = \text{o,p-DDE} + \text{p,p-DDE} +$
- $\sum \text{DDT} = \text{o,p-DDT} + \text{p,p-DDT}$
- $\sum \text{DDD} = \text{p,p-DDD} + \text{o,p-DDD}$

2.2.2 Analyses des microplastiques

Les microplastiques sont des particules de plastique d'une taille comprise généralement entre 5 mm et 1 µm, résultant de la fragmentation de matériaux plastiques plus grossiers. Les analyses ont été réalisées en 2023 à l'ENTPE dans le cadre de la thèse de Jean Pruvost.

➤ Préparation des échantillons

Séparation densimétrique - Pour isoler les microplastiques de la fraction minérale présente dans l'échantillon de sédiment, un protocole de séparation densimétrique est utilisé. La plupart des polymères ayant une densité inférieure à 1.7, les sédiments présumés contenir des microplastiques sont immergés dans un liquide de densité connue. Ainsi, la séparation des microplastiques a été réalisée en introduisant 10 g de sédiments humides mélangés à 250 mL d'iodure de sodium (NaI), solution présentant une densité de 1.7, au sein du JAMSTEC Microplastic-Sediment Separator (Nakajima *et al.*, 2019).

Le mélange est ensuite agité durant environ 4h à 5000 rpm. Cette étape est suivie d'une décantation de 24 heures en flux laminaire. Le surnageant est filtré à 10 µm sur un filtre inox et abondamment rincé à l'eau déminéralisée, puis micro-filtré.

Dégradation de la matière organique (MO) - La MO, également caractérisée par une densité inférieure à 1,7, demeurant au sein du surnageant, requiert une étape de dégradation. Cette démarche est entreprise afin de réduire la présence de particules organiques perturbant la détection des microplastiques. Étant donné que certaines particules de matière organique présentent des compositions proches de celles des polymères de plastiques étudiés, cette étape de dégradation vise à établir un équilibre entre la nécessité de restreindre la présence de ces particules et la préservation maximale des microplastiques. La dégradation de la matière organique (MO) s'effectue en exposant le filtrat résultant à une solution de 150 mL de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) à 30%, agitée pendant 24 heures à une température de 40°C. Les particules subsistantes sont ensuite filtrées à 0,2 µm à travers un filtre en oxyde d'aluminium de type Whatman® Anodisc.

➤ Identification des microplastiques

L'identification des microplastiques est effectuée par la cartographie des filtres Anodisc à l'aide d'un spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier (micro-FTIR, Perkin Elmer Spotlight 400, USA). Cette analyse couvre la gamme spectrale allant de 1250 à 3600 cm⁻¹ avec une résolution minimale de 8 cm⁻¹. Le dispositif opère à une fréquence de balayage d'un pixel par mesure et une résolution spatiale de 25x25 µm par pixel, permettant une caractérisation fine et précise des composants présents sur les filtres. Les cartes infrarouges obtenues sont soumises à un traitement via le logiciel siMPle (Primpke *et al.*, 2017), qui effectue une détection automatique des microplastiques en les comparant à une base de données.

Les principaux polymères retrouvés sont présentés sous formes d'abréviations dans les figures, référencées en Tableau 5, qui synthétise aussi leurs usages courants.

Tableau 5: abréviations et usages courants des principaux polymères retrouvés dans les carottes de sédiments de cette étude

Abréviation	Nom complet	Usage courant
PE	Polyéthylène	Sacs en plastique, bouteilles d'eau
PP	Polypropylène	Récipients alimentaires, textiles
PVC	Polychlorure de vinyle	Tuyaux, revêtements de sol
Polyester	Polyéthylène téréphtalate (PET)	Textiles, bouteilles de boisson
PET	Polyéthylène téréphtalate	Bouteilles en plastique, fibres textiles
PA	Polyamide (Nylon)	Vêtements, cordes, tissus techniques
PS	Polystyrène	Emballages alimentaires, gobelets en polystyrène
PVA	Poly(alcool vinylique)	Colles, films solubles dans l'eau
PU	Polyuréthane	Mousses, revêtements, joints d'étanchéité
Polycarbonate	Polycarbonate	Lentilles de lunettes, CD, biberons
Cellulose acétate	Acétate de cellulose	Films photographiques, montures de lunettes
Epoxy	Résine époxy	Adhésifs, revêtements, composites
Autres polymères	Divers polymères non spécifiés	Produits divers selon la composition spécifique

3. RESULTATS

3.1 Caractérisation des POPs des carottes PBN 2002 et PDR 1902

3.1.1 PCB (polychlorobiphényles)

➤ Concentrations des composés PCBs et tendances inter-sites

Rappelons tout d'abord que la période couverte par les carottes est postérieure à la réglementation des PCBs.

Dans ce contexte, la carotte PBN 2002 présente un maximum atteignant 65,3 µg/kg en $7\sum\text{PCBi}$ correspondant aux années 2008-2009 (Figure 3). En dehors de cette période, la moyenne est de $21,8 \pm 11,7$ µg/kg.

La carotte PDR 1902 présente quant à elle un maximum de 114,6 µg/kg en $7\sum\text{PCBi}$ pendant l'année 2000. En dehors de cette période, la moyenne est de $23,7 \pm 11,5$ µg/kg, avec une tendance à la diminution après les années 2000.

Les deux carottes montrent un pic autour des années 2016-2017.

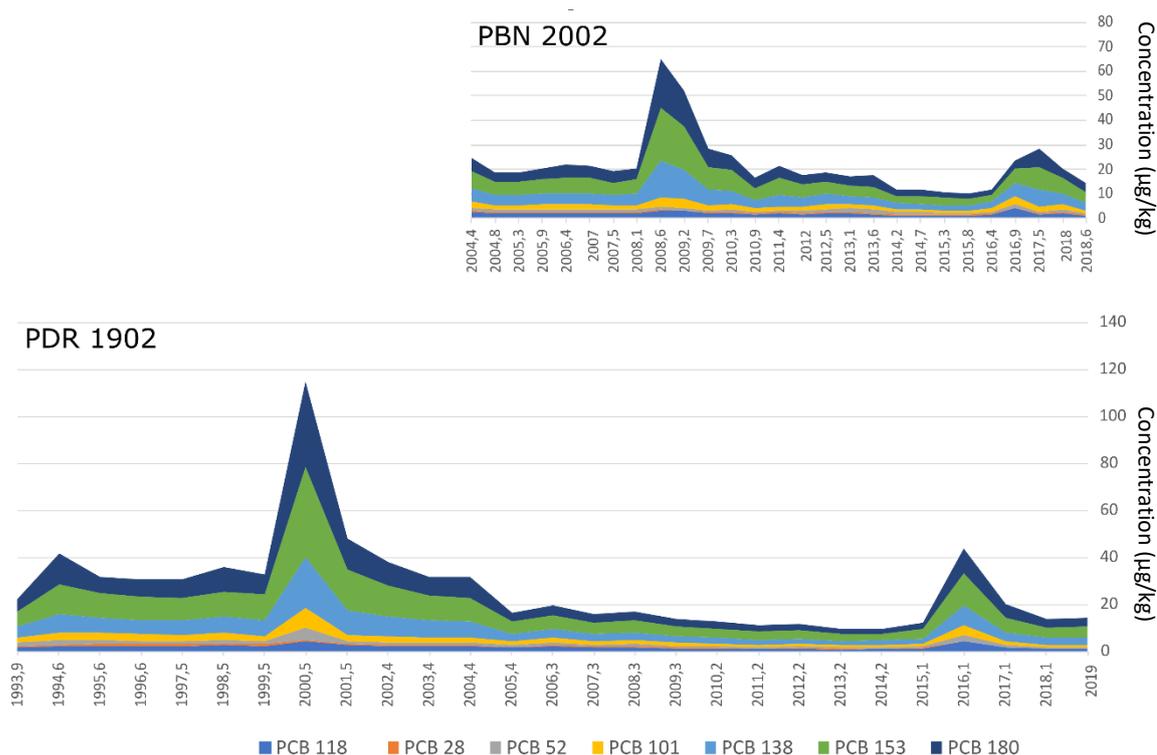


Figure 3 : évolution au cours du temps des concentrations en $7\sum\text{PCBi}$ dans les carottes PBN 2002 et PDR 1902.

Eléments d'interprétations/discussions : Les concentrations en $7\sum\text{PCBi}$ des carottes PBN 2002 et PDR 1902 sont nettement inférieures aux niveaux de contamination extrêmement élevés enregistrés dans une carotte déjà étudiée d'un casier localisé à Péage-de-Roussillon (BRGM,

2013). Dans les carottes C27 et C29 du casier étudié, la concentration en $7\sum\text{PCBi}$ atteint un maximum 579 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pour des sédiments datant de 1980. En comparaison sur ces mêmes carottes et à chronologie similaire (années 1990), les sédiments des carottes C27 et C29 sont associés à concentrations en PCB beaucoup plus faibles pour les années 1990, avec des valeurs comprises entre 20 et 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$. En outre, pour les carottes PBN 2002 et PDR 1902, les concentrations observées pour la plupart de façon individuelle en dessous des seuils réglementaires et de façon sommée, en dessous des seuils écotoxicologiques ($\sum\text{PCBi}$: TEC SQG = 119,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

Ainsi, la tendance des PCB enregistrée sur ces carottes correspond à une phase d'amélioration progressive des niveaux de contamination avec une amplitude relativement réduite en comparaison avec des carottes qui permettent de documenter les périodes de forte contamination. Par contre ces carottes semblent bien avoir enregistré des contaminations événementielles (pics de concentrations), potentiellement attribuables à la remobilisation de stocks anciens.

3.1.2 PFAS (Per- et polyfluoroalkylées)

Les résultats d'analyses sont disponibles dans les tableaux en Annexe 1 et 2.

➤ Composés PFAS en dessous des limites de détection (Tableau 6)

- Les concentrations en PFBS, PFBA et sont en dessous de la LOD ($< 0,02$ ng/g) pour les deux carottes.
- Les concentrations en PFHpA sont en dessous de la LOD ($< 0,05-0,08$ ng/g) pour 22 échantillons sur 27 dans le cas de la carotte PBN 2002 alors qu'ils sont au-dessus de la LOD pour la plupart des échantillons de PDR 1902 (seulement 5/27 $< \text{LOD}$).

➤ Concentrations des composés PFAS et tendances inter-sites

Les analyses révèlent des concentrations moyennes en PFAS plus élevées dans la carotte PBN 2002 (Figure 4, Annexe 1 et Annexe 2) pour les $\sum\text{PFSA}$ et les $\text{PFCA} [\text{C}<8]$ avec :

- $\sum\text{PFSA} = 0,95$ ng/g contre $\sum\text{PFSA} = 0,73$ ng/g pour PDR 1902
- $\sum\text{PFCA}[\text{C}<8] = 0,52$ ng/g contre $\sum\text{PFCA}[\text{C}<8] = 0,36$ ng/g pour PDR 1902.

Pour les deux carottes, ce sont les acides perfluorocarboxyliques à chaîne longue qui présentent les concentrations les plus élevées.

A nombre égal de composés sommés (mais sur des **périodes archivées différentes**), on observe des concentrations similaires pour les deux carottes :

- $5\sum\text{PFCA}[\text{C}>8] = 4,59$ ng/g pour PDR 1902 sur la période 1990-2019 contre $7\sum\text{PFCA}[\text{C}>8] = 4,05$ ng/g pour PBN 2002 sur la période 2004-2018.

L'analyse sur PBN 2002 a aussi été conduite pour les composés PFTrDA et PFTeDA, ajoutant deux composés à la somme des perfluorocarboxyliques à chaîne longue, soit $7\sum\text{PFCA}[\text{C}>8] = 6,26$ ng/g.

Sur les deux carottes, il est possible d'observer une diminution des concentrations en PFAS au cours des années 2000 (Figure 4, Annexe 1 et Annexe 2).

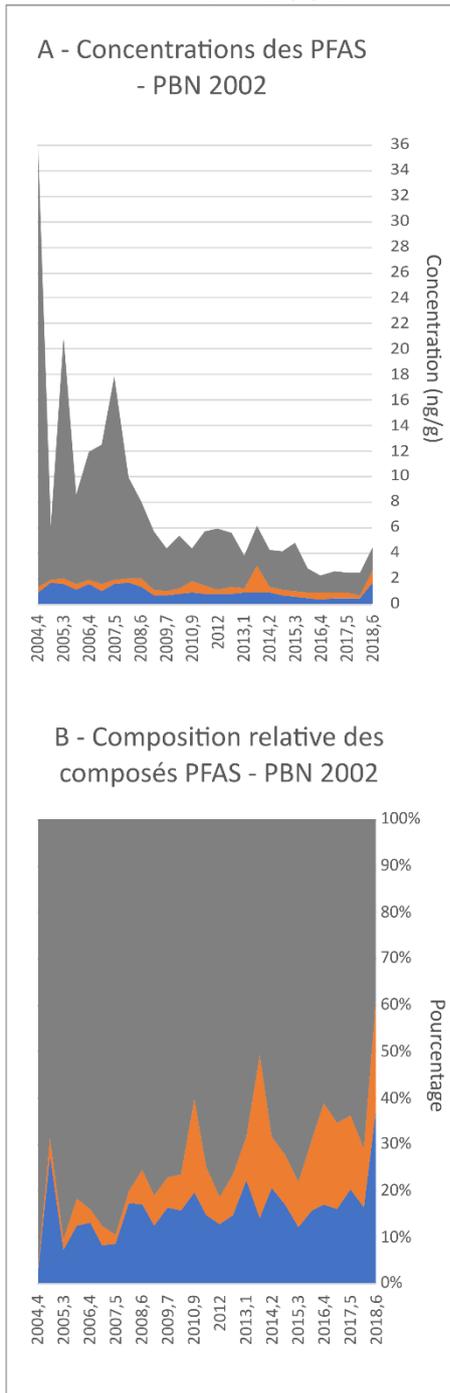
Éléments d'interprétations/discussions : les résultats de l'étude de Mourier *et al.* (2023) sur les carottes prélevées dans le Rhône mettent en lumière un pic de concentration en PFAS dans les années 1990, atteignant jusqu'à 51 ng/g, suivi d'une diminution des concentrations au début des années 2000 qui est associée à un changement de composition des PFAS. Ces observations rejoignent la trajectoire observée dans les carottes PBN 2002 et PDR 1902 étudiées ici, où une diminution des concentrations en PFAS est également constatée, aboutissant à des concentrations sommées de l'ordre de quelques ng/g après les années 2010.

Mourier *et al.* (2023) observent au début des années 2000 une augmentation de la contribution des PFCAs à longue chaîne avec un nombre impair de carbones perfluorés, représentant 80 % de la charge totale en PFAS ; potentiellement en raison de modification des usages industriels. On peut observer cette tendance (Figure 5) à PBN où les concentrations en acides perfluorocarboxyliques à chaîne courte diminuent au profit des acides perfluorocarboxyliques à chaîne longue (PFunDA, PFtrDA) entre 2003 et la fin des années 2010. L'absence d'analyse pour les composés PFTrDA et PFTeDA à PDR ne permet pas de vérifier l'existence de cette tendance sur ce site.

Tableau 6 : résultats d'analyses des PFAS dans les échantillons de carottes PBN 2002 et PDR 1902 (moyenne ± SD, nombre d'échantillons pris en compte pour le calcul de la moyenne, nombre de valeurs inférieures à la LOD et valeur maximum au sein de la carotte).

Composé	Nombre de carbone	Classification	PBN 2002 Concentrations (ng/g) n (nombre d'échantillons)	PDR 1902 Concentrations (ng/g) n (nombre d'échantillons)
Perfluorocarboxylic Acids (PFCA) - CnF2n+1CO2H				
PFBA	4	Court	<LOD	<LOD
PFPA	5	Court	<LOD	<LOD
PFHxA	6	Court	Moyenne ± SD : 0.51 ± 0.37 Max : 2.19 n _{moyenne} = 27	Moyenne ± SD : 0.42 ± 0.12 Max : 0.79 n _{moyenne} = 18 n _{<LOD} = 9
PFHpA	7	Court	Moyenne ± SD : 0.07 ± 0.01 Max : 0.08 n _{moyenne} = 5 n _{<LOD} = 22	Moyenne ± SD : 0.15 ± 0.1 Max : 0.5 n _{moyenne} = 22 n _{<LOD} = 5
PFDS	10	Long	<LOD	<LOD
PFOA	8	Long	Moyenne ± SD : 0.2 ± 0.1 ng/g Max : 0.51 n _{moyenne} = 5 n _{<LOD} = 22	Moyenne ± SD : 0.44 ± 0.63 Max : 3.46 n _{moyenne} = 27 n _{<LOD} = 0
PFNA	9	Long	Moyenne ± SD : 0.31 ± 0.15 Max : 0.85 n _{moyenne} = 5 n _{<LOD} = 22	Moyenne ± SD : 0.64 ± 0.35 Max : 1.38 n _{moyenne} = 24 n _{<LOD} = 3
PFDA	10	Long	Moyenne ± SD : 1.19 ± 4.78 Max : 11.89 n _{moyenne} = 27 n _{<LOD} = 0	Moyenne ± SD : 0.85 ± 1.68 Max : 8.12 n _{moyenne} = 26 n _{<LOD} = 1
PFUnA	11	Long	Moyenne ± SD : 1.08 ± 1.09 Max : 3.41 n _{moyenne} = 27 n _{<LOD} = 0	Moyenne ± SD : 1.95 ± 1.13 Max : 4.39 n _{moyenne} = 27 n _{<LOD} = 0
PFDoA	12	Long	Moyenne ± SD : 1.33 ± 4.65 Max : 12.8 n _{moyenne} = 27 n _{<LOD} = 0	Moyenne ± SD : 0.81 ± 1.5 Max : 8 n _{moyenne} = 27 n _{<LOD} = 0
PFTTrDA	13	Long	Moyenne ± SD : 1.63 ± 1.59 Max : 7,9 n _{moyenne} = 27	Non analysé
PFTeDA	14	Long	Moyenne ± SD : 0.57 ± 1.20 Max : 6.57 n _{moyenne} = 27	Non analysé
Perfluorosulfonic Acids (PFSA) - CnF2n+1SO3H				
PFBS	4	Court	<LOD	<LOD
PFHxS	5	Court	Moyenne ± SD : 0.03 ± 0.01 Max : 0.05 n _{moyenne} = 20 n _{<LOD} = 7	Moyenne ± SD : 0.03 ± 0.01 Max : 0.04 n _{moyenne} = 20 n _{<LOD} = 7
PFHpS	6	Court	<LOD	<LOD
PFOS	8	Long	Moyenne ± SD : 0.93 ± 0.4 Max : 1.69 n _{moyenne} = 5 n _{<LOD} = 22	Moyenne ± SD : 0.71 ± 0.34 Max : 1.37 n _{moyenne} = 5 n _{<LOD} = 22

PBN 2002



PDR 1902

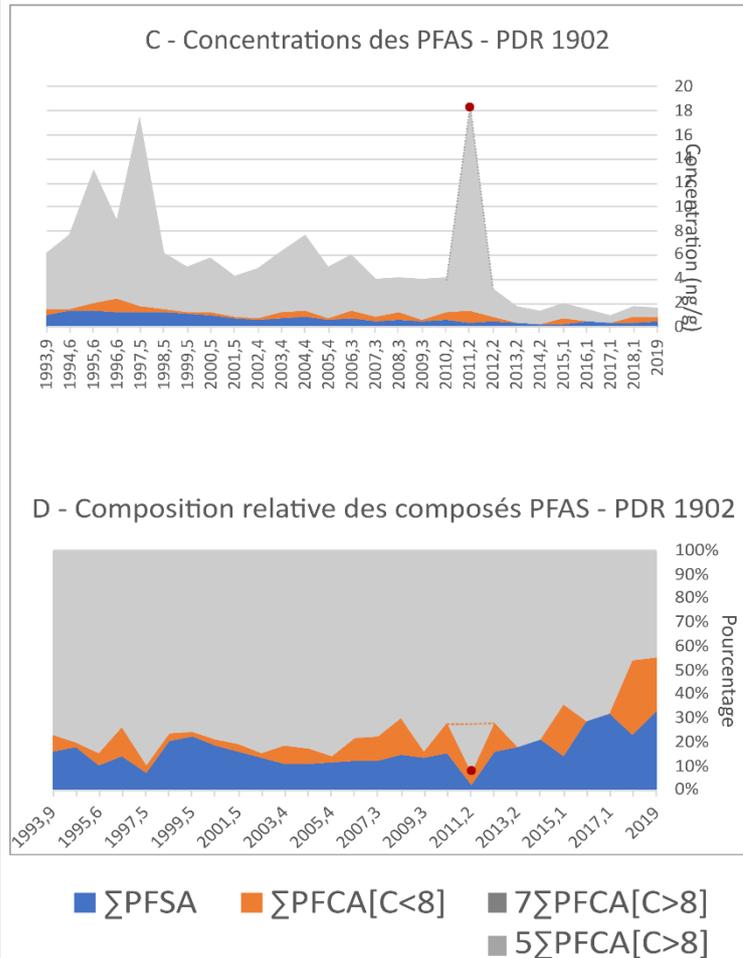


Figure 4 : Évolution des concentrations de PFAS dans les carottes PBN 2002 et PDR 1902 selon la famille et la longueur de la chaîne carbonée, avec A. Concentrations sommées pour la carotte PBN 2002 ; B. Composition relative en pourcentage pour la carotte PBN 2002 ; C. Concentrations sommées pour la carotte PDR 1902 et D. Composition relative en pourcentage pour la carotte PDR 1902. Le point rouge indique une valeur aberrante pouvant potentiellement correspondre à une erreur analytique.

Evolution des teneurs et compositions en acides perfluorocarboxyliques

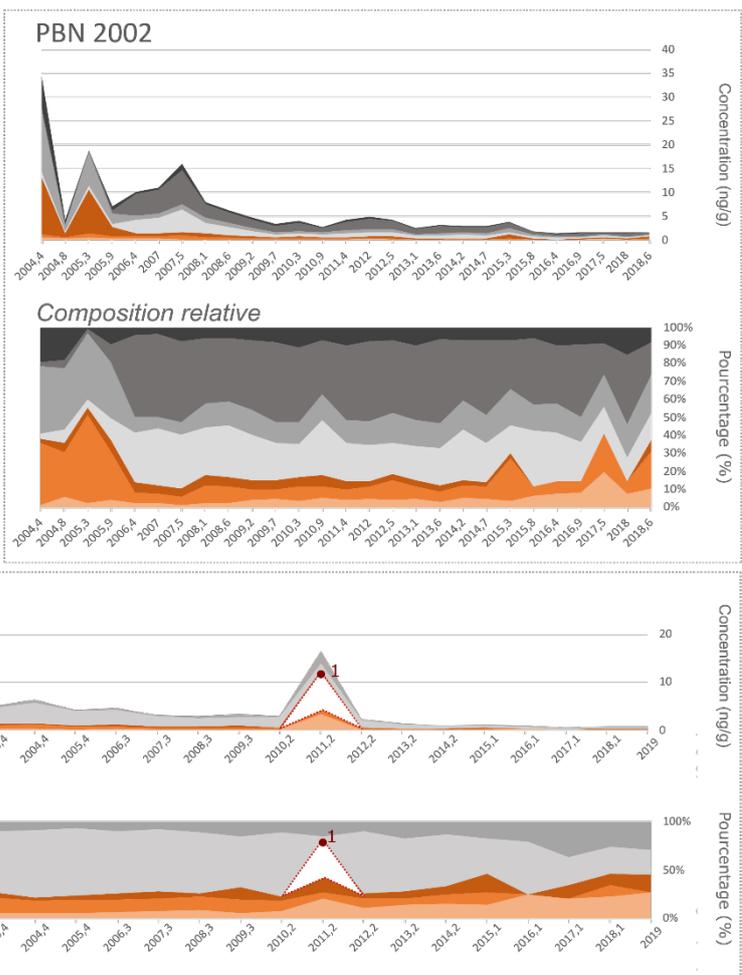
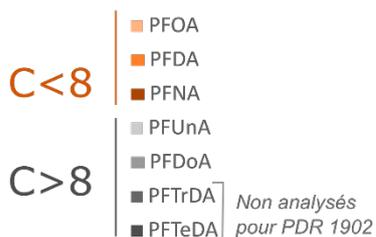


Figure 5 : focus sur l'évolution au cours du temps des concentrations des acides perfluorocarboxyliques sur les carottes PBN 2002 et PDR 1902. 1 : indique un outlier pouvant potentiellement correspondre à une erreur analytique.

3.1.3 PA (Phthalates)

Les résultats d'analyses sont disponibles dans le tableau en Annexe 3. NB : seule la carotte PBN 2002 a été analysée pour les diesters de phtalates.

➤ Composés PAs en dessous des limites de détection

Les résultats d'analyses sont globalement en dessous de la limite de détection pour le DMP (LOD < 1 ng/g) et le BBzP (LOD < 2 ng/g).

➤ Concentrations des PA au cours du temps

Assez homogènes au cours du temps, les concentrations les composés DEP, DiBP, DnBP et DiDP présentent pour l'ensemble des échantillons les moyennes suivantes :

- DEP = $15,4 \pm 11,8$ ng/g
- DiBP = $20,9 \pm 9,9$ ng/g
- DnBP = $9,2 \pm 6,3$ ng/g
- DiDP = $110,3 \pm 33,3$ ng/g

En revanche, une tendance à la diminution est observée pour le composé DEHP, au profit du DiNP sur un décrochage visible dès l'année 2010. Les concentrations moyennes de la carotte sont en effet associés à des écart-types plus importants, reflet de cette variabilité temporelle.

- DEHP = $156,2 \pm 81,4$ ng/g avec une moyenne de $206,9 \pm 80,7$ ng/g entre 2004 et 2010, contre $102,2 \pm 20,6$ ng/g entre 2010 et 2019.
- DiNP = $120,2 \pm 86$ ng/g avec une moyenne de $63 \pm 11,6$ ng/g entre 2004 et 2010, contre $166 \pm 92,2$ ng/g entre 2010 et 2019.

En 2010, un *outlier* correspondant à une concentration en DEHP avoisinant 1707 ng/g (Figure 6, point rouge), laisse présumer d'une possible erreur analytique.

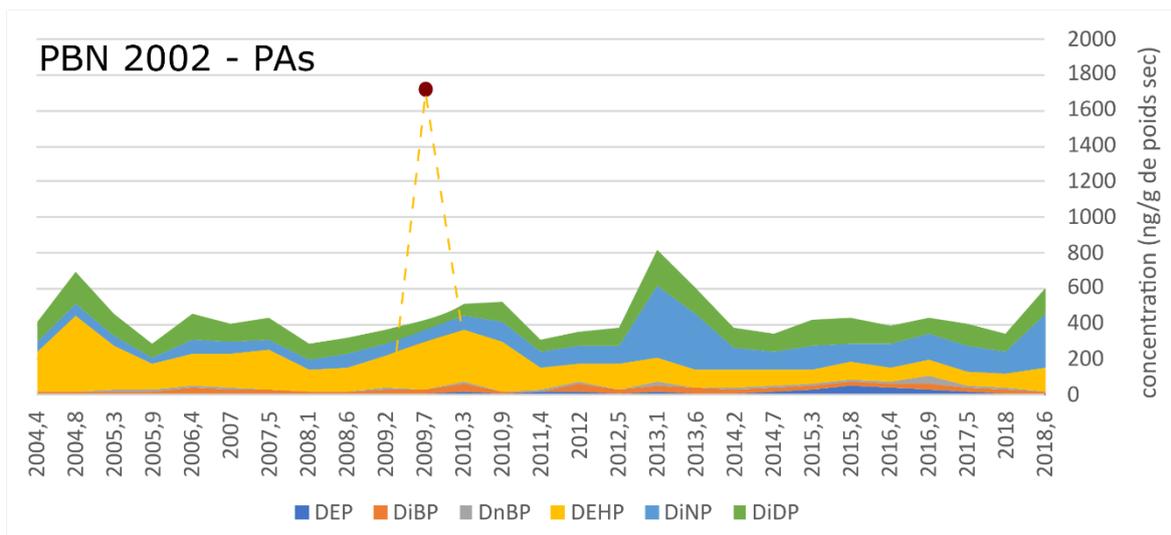


Figure 6 : évolution au cours du temps des concentrations en phthalates dans la carotte PBN 2002
Le point rouge indique un outlier.

Éléments d'interprétations/discussions :

Dans l'étude menée par Vidal *et al.* (2024), une analyse approfondie a été réalisée sur une carotte sédimentaire provenant du Rhône à Arles, située en amont du delta. Cette analyse couvre une période étendue, allant de 1930 à 2020 ; permettant un point de comparaison pour les années récentes avec la carotte de notre étude.

Dans la carotte d'Arles prise pour comparaison car étant elle aussi sur le Rhône, les niveaux de DiBP augmentent sur la seconde moitié du 20^{ème} siècle, compris entre 2,06 ng/g et 12 ng/g en 2017 et 2020 ; tandis que les niveaux sont bien plus importants pour PBN 2002 ; avec une moyenne de $20,9 \pm 9,9$ ng/g pour la période 2004-2019.

Les niveaux de DnBP sont légèrement inférieurs dans la carotte d'Arles, avec un pic à 5,7 ng/g dans les années 1990, tandis qu'ils se situent entre 3,4 et 38,4 ng/g à PBN.

La tendance temporelle des niveaux de DEHP dans l'étude de Vidal *et al.* (2024) montre des niveaux nuls avant les années 80, augmentant jusqu'à atteindre un maximum de 36,4 ng/g en 2020. Pour ce qui est de PBN 2002, datant de 2004 à 2019, ces niveaux sont jusqu'à 11 fois plus élevés, atteignant un maximum de 426 ng/g, avec une moyenne de $156,2 \pm 81,4$ ng/g.

Quant au DiNP et au DiDP, ils n'ont pas été analysés dans l'étude de Vidal *et al.* (2024).

Les concentrations de PAE, généralement plus élevées dans la carotte PBN 2002 (sauf pour le BBzP), pourrait s'expliquer par sa localisation en aval de Lyon, et la période récente qu'elle couvre.

Enfin, les concentrations en BBzP varient de la LOD (début du 20^{ème} siècle) à 0,965 ng/g en 1989, puis diminuent entre 1990 et 2020 pour se situer entre 0,154 et 0,45 ng/g ; tandis que les niveaux de PBN 2002 sont inférieurs à la limite de détection (LOD).

Les niveaux de DEP sont également inférieurs à la LOD dans le cas de la carotte étudiée par Vidal (2024).

3.1.4 POC (pesticides organochlorés)

➤ Composés POC en dessous des limites de détection

Les résultats d'analyses montrent que les concentrations de l'heptachlor forme classique, de l'oxychlordané et du mirex sont en dessous des limites de détection pour PBN 2002, avec des limites de détection respectives inférieures à 0,005 µg/kg, à 0,005 µg/kg et 0,01 µg/kg. De plus, pour PDR 1902, en plus de ces composés, le composé α-endosulfan est également en dessous des limites de détection (>0,02 µg/kg).

➤ Concentrations des POCs et évolution au cours du temps

La carotte PBN 2002 présente des concentrations moyennes plus élevées de HCB, ΣHCH, ΣDDE, ΣDDT par rapport à la carotte de PDR 1902.

Les concentrations des composés PeCBz, ΣHCHs, ΣHEPTACHLORs, ΣCHLORDANEs, Endosulfan sulfate sont assez homogènes au cours du temps (entre 2004 et 2019 pour PBN 2002 et 1994 et 2010 pour PDR 1902 ; cf. Figure 7, Annexe 4 et 5; correspondant à :

PBN 2002

- PeCBz = 2,53 ± 1,24 ng/g
- HCB = 2,07 ± 0,63 ng/g
- ΣHCH = 0,9 ± 0,5 ng/g
- Σchlordané = 0,05 ± 0,02 ng/g
- ΣHeptachlor epoxyde = 2,47 ± 1,08 ng/g
- Σnanochlor = 0,02 ± 0,01 ng/g
- ΣDDE = 3,75 ± 1,49 ng/g
- ΣDDD = 0,94 ± 0,42 ng/g
- ΣDDT = 0,62 ± 0,27 ng/g
- endosulfan sulfate = 0,02 ng/g (SD < LOD)

PDR 1902

- PeCBz = 2,09 ± 0,71 ng/g
- HCB = 0,91 ± 0,21 ng/g
- ΣHCH = 0,48 ± 0,34 ng/g
- Σchlordané = 0,03 ± 0,01 ng/g
- ΣHeptachlor epoxyde = 2,8 ± 1,49 ng/g
- Σnanochlor = 0,03 ± 0,01 ng/g
- ΣDDE = 2,00 ± 0,84 ng/g
- ΣDDD = 1,25 ± 2,4 ng/g
- ΣDDT = 0,35 ± 0,12 ng/g
- endosulfan sulfate = 0,02 ± 0,01 ng/g

- Pour les deux carottes, on remarque une tendance à la diminution au cours du temps pour les composés ΣDDE ; ainsi qu'une tendance à la diminution pour ΣHeptachlor

epoxyde entre les années 1990 et 2000, observable sur la carotte PDR 1902 (Figure 7, Annexe 4 et 5).

- Sur PDR 1902, un *outlier* correspondant à une concentration en Σ DDD avoisine à lui seul 13,37 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Figure 7, point jaune) pour l'année 2014, contre $0,78 \pm 0,3 \mu\text{g}/\text{kg}$ laisse présumer d'une possible erreur analytique.

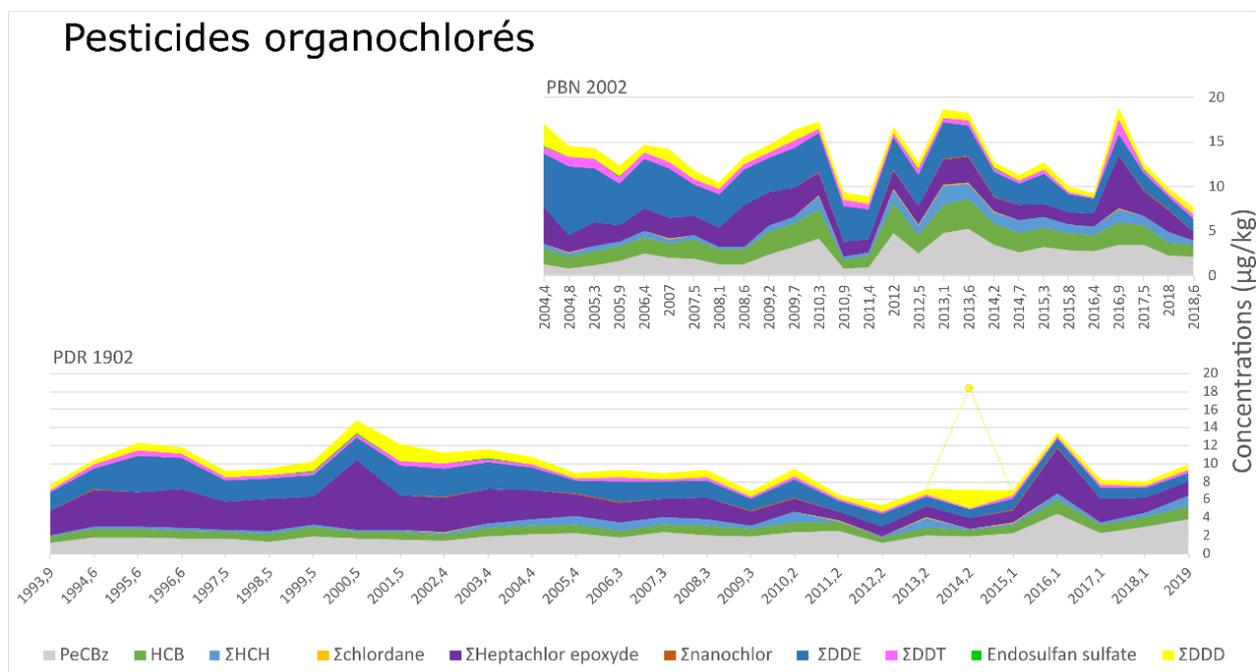


Figure 7 : évolution au cours du temps des concentrations en pesticides organochlorés dans les carottes PBN 2002 et PDR 1902

Éléments d'interprétations/discussions :

Liber *et al.* (2019) ont analysé les POCs (Σ HCH, Σ DDT, Σ DDD, Σ DDE, HCB, Mirex, Σ chlordane) sur des carottes du Rhône dont nous avons extraits une partie du jeu de données pour comparaison (Tableau 7). Nous avons pris pour comparaison, une carotte qu'ils considèrent comme non contaminée (ARS, localisée à Aras), et une contaminée (GEC, localisée à la Grange-Ecrasée).

Les valeurs de HCB, Σ HCH, Σ Chlordane, Σ DDE, Σ DDD et Σ DDT sont faibles dans les carottes de PBN 2002 et PDR 1902 ; correspondant aux concentrations des échantillons peu contaminés de Liber *et al.* (2019) ; bien en deçà des TEC et PEC. La période couverte par les carottes PBN 2002 et PDR 1902 remontant au maximum dans les années 1990 semble suivre la fin d'une trajectoire de décroissance progressive des concentrations en POC, à l'image de celle plus complète décrites par des archives plus anciennes.

Tableau 7 : concentrations moyennes (en µg/kg) des composés pesticides organochlorés des carottes PBN 2002 et PDR 1902 ; comparées aux TEC, PEC et aux données de l'étude de Liber *et al.* (2019). ARS renvoie à la carotte d'Aras, elle est considérée comme peu contaminée. GEC renvoie à la carotte de la Grange-Ecrasée, considérée comme contaminée. En jaune, les moyennes ont été calculées pour PDR sur les mêmes fenêtres temporelles que celles de l'étude de Liber *et al.* (2019) pour permettre la comparaison par période.

Composés (Concentrations en µg/kg)	PBN 2002 (2004 - 2019)	PDR 1902 (1994-2019)	PDR (1995 - 2005)	PDR (After 2005)	ARS-After 2005	ARS-1995 - 2005	ARS-1985 - 1995	ARS-1975 - 1985	GEC-After 2005	GEC-1995 - 2005	GEC-1985 - 1995	TECs-SQG	PECs-SQG
PeCBz	2,42	1,92	1,71	2,42	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HCB	1,9	0,9	0,85	0,96	1,17	1,43	8,05	13,4	11,7	18,1	22,5	31776 ^a	nd
ΣHCH	0,73	0,34	0,32	0,63	1,31	1,56	2,30	1,47	2,87	2,47	5,30	4,74 ^b (γ-HCH)	9,98 ^b (γ-HCH)
ΣChlordane	0,03	0,03	0,03	0,03	0,39	0,24	0,09	0,16	0,03	0,05	0,26	6,48 ^b	35,2 ^b
ΣHeptachlor epoxyde	2,2	2,55	4,02	1,9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ΣNanochlor	0,02	0,03	0,03	0,03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
ΣDDE	3,65	1,93	2,88	1,4	1,97	3,19	4,88	6,41	34,1	30,7	71,2	6,32 ^b	62,6 ^b
ΣDDD	0,82	0,69	1,03	1,49	0,64	0,71	0,56	0,77	17,7	12,3	25,0	9,76 ^b	56 ^b
ΣDDT	0,6	0,32	0,45	0,27	1,93	0,29	0,26	0,39	147,5	1,92	1,98	9,32 ^b	125,8 ^b
Endosulfan sulfate	0,02	0,02	0,03	0,01	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

^a EqP SQG calculé à partir de l'évaluation des risques d'Euro Chlor pour l'environnement marin (Euro Chlor, 2002)."

^bSQG (Screening Quotient Guidelines) normalisé à une teneur en carbone organique totale de 2% (MacDonald *et al.*, 2000).

3.2 Caractérisation des microplastiques des carottes JON-C02 et BRE-C01

3.2.1 Caractéristiques sédimentaires des carottes

Le détail des analyses sédimentaires ainsi que celle des ETM est disponible dans le livrable antérieur de l'OSR6 - Volet B. actions 3.1 (2023). Le Tableau 8 en fait le récapitulatif.

Tableau 8 : caractéristiques sédimentaires des carottes JON-C02 et BRE-C01

Carotte	BRE21-C01	JON-C02
Type	Sablo-limoneuse homogène	Sablo-limoneuse homogène
Texture et Granulométrie	Texture homogène avec D50 moyen de $20,6 \pm 4,4 \mu\text{m}$	Texture homogène avec D50 moyen de $17,3 \pm 5,32 \mu\text{m}$
Teneurs en MO et Carbonates	LOI 550 à $7,5\% \pm 1,1\%$ LOI 950 à $10\% \pm 1,2\%$	LOI 550 à $5\% \pm 1,2\%$ LOI 950 à $20\% \pm 2,1\%$
Datation et Événements	Absence du pic de ^{137}Cs lié à Tchernobyl	Pic de ^{137}Cs à la séquence 40-44 cm, couvrant environ 80 ans d'archivage
Variations Temporelles des ETM	Teneurs plus élevées entre 1987-1991 et 2014-2021	Teneurs plus élevées au centre pour 1987-1991
Concentrations Moyennes en ETM	Plomb : $34,6 \pm 7,2 \text{ mg/kg}$, Zinc : $196,4 \pm 38,9 \text{ mg/kg}$, Cuivre : $37,6 \pm 9,8 \text{ mg/kg}$	Plomb : $23,3 \pm 5,3 \text{ mg/kg}$, Zinc : $162,6 \pm 38,5 \text{ mg/kg}$, Cuivre : $24,9 \pm 11,7 \text{ mg/kg}$
Indices de Géo-accumulation*	$-0,7 < I_{\text{geo}_{\text{ETM}}} < 1$ Non contaminés à modérément contaminés	$-0,2 < I_{\text{geo}_{\text{ETM}}} < 1,1$ Non contaminés à modérément contaminés

* $I_{\text{geo}} = \log_2 [\text{Concentration échantillon} / (1,5 \times \text{Fond géochimique})]$ avec les fonds géochimiques du Rhône Moyen (issus de Dendievel et al., 2020) : Pb = 17,7 mg/kg, Zn = 64,6 mg/kg, Cu = 18,4 mg/kg)

3.2.2 Résultats d'analyses des microplastiques

Les Figures 8A et B présentes la concentration en microplastiques (MP), selon le type de polymères pour chacune des carottes en fonction de l'âge estimé par les modèles présentés dans le livrable Seignemartin et al. (2023).

Description par site (Figure 8) :

- A JON, les concentrations en MPs atteignent un maximum à la fin des années 1990 (env. 12 500 nb/kg dw).
- A BRE, entre les années 80 et le début des années 2000, aucune tendance claire ne se dégage. Cependant, on observe des pics locaux à la fin des années 1990 et au début des années 2010 ($> 50\,000 \text{ nb/kg dw}$). Des niveaux de concentration plus faibles sont observés

au début des années 2000 et dans la deuxième moitié des années 2010, marquant le début d'une tendance à la diminution de certains polymères associés à des sources industrielles et urbaines.

Descriptions et tendances inter-sites :

- Les concentrations en MP sont beaucoup plus fortes sur le site de BRE (en aval de l'agglomération lyonnaise) que sur le site de JON, en amont (Figure 8.A). En effet, si la concentration sommée des polymères à de JON-C02 atteint difficilement plus de 12 500 nb/kg dw, ils dépassent largement les 50 000 nb/kg dw dans la carotte BRE-C01. Les concentrations sont jusqu'à 6 fois plus importantes pour BRE-C01.
- Les deux sites ne montrent pas les mêmes prédominances en termes de polymères détectés (Figure 8.B). Les polymères les plus représentés sont les suivants :
 - À JON, le PP prédomine à 70%, suivi du PE à 20% et du PS à 3% ;
 - À BRE, les polymères les plus représentés sont le PP, le PVC et le PE, constituant respectivement 53%, 33% et 6% des particules détectées.
- Si le PP et le PE sont bien présents dans les deux carottes, la présence de PVC à BRE témoigne d'un enrichissement amont/aval de Lyon. Plusieurs hypothèses nécessitent une investigation approfondie : (a) une possible signature industrielle (présence de très grosses unités de production de PVC dans la Vallée de la Chimie) et urbaine, et (2) l'apport potentiel par la Saône, un affluent majeur du Rhône.

Trajectoires temporelles des concentrations en MP (Figure 9) :

Pour la carotte BRE, une tendance à la diminution de la concentration en MPs est observée depuis la fin des années 2010 (médiane pre-2010 : 28 000 nb/kg dw, versus post-2010 : 16 000 nb/kg dw).

Ainsi, les sédiments de la station en aval de Lyon ont montré une amélioration relative des polymères issus des sources industrielles depuis les années 2000 et, dans une moindre mesure, des polymères ubiquitaires depuis les années 2010. Cette tendance à la réduction diverge des évaluations mondiales, qui supposent une très forte pollution par les microplastiques (Dhivert *et al.*, 2024).

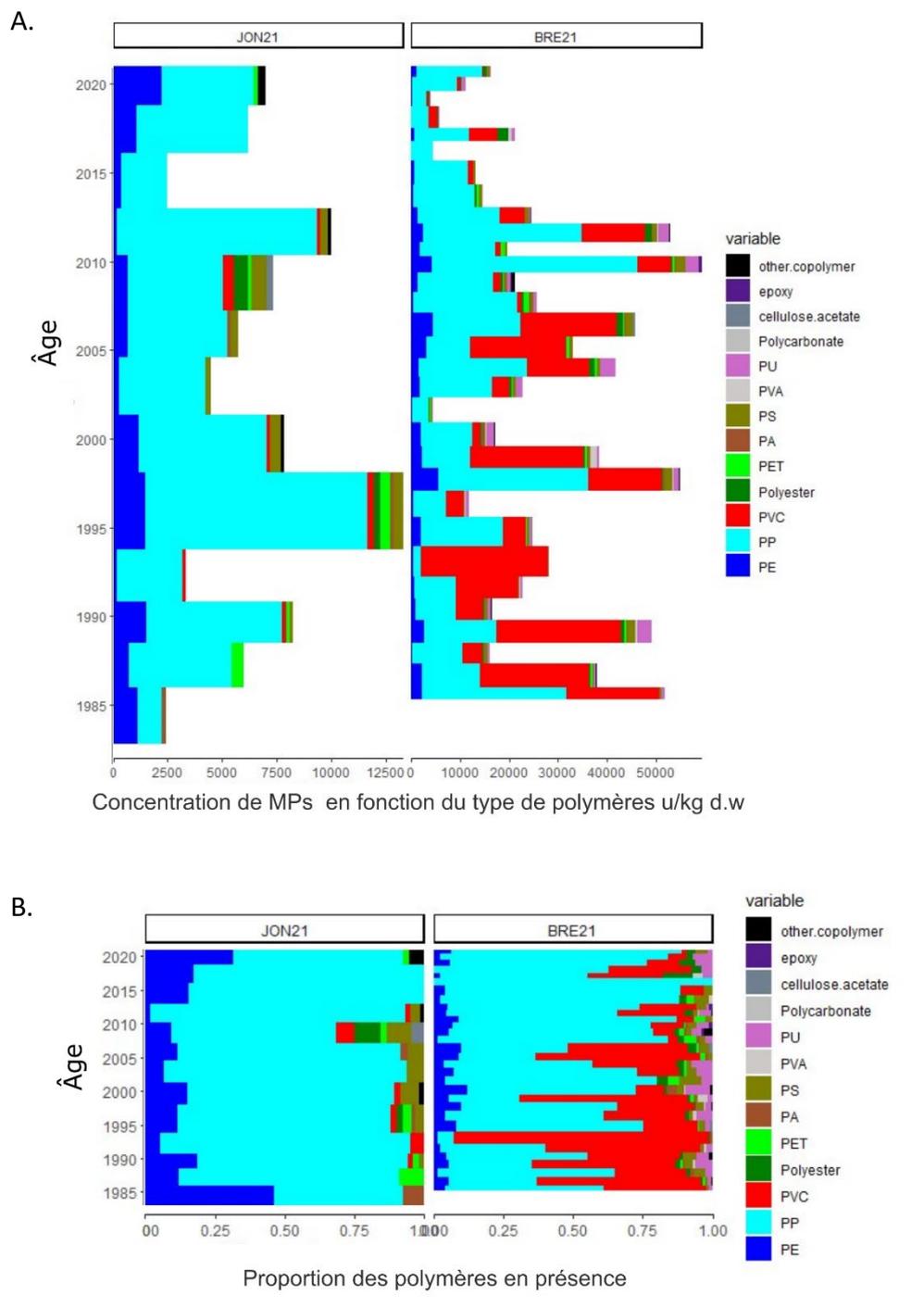


Figure 8 : A. Concentrations en microplastique (nb/kg dw) selon type de polymères, B. Proportions relatives des polymères en présence au cours du temps

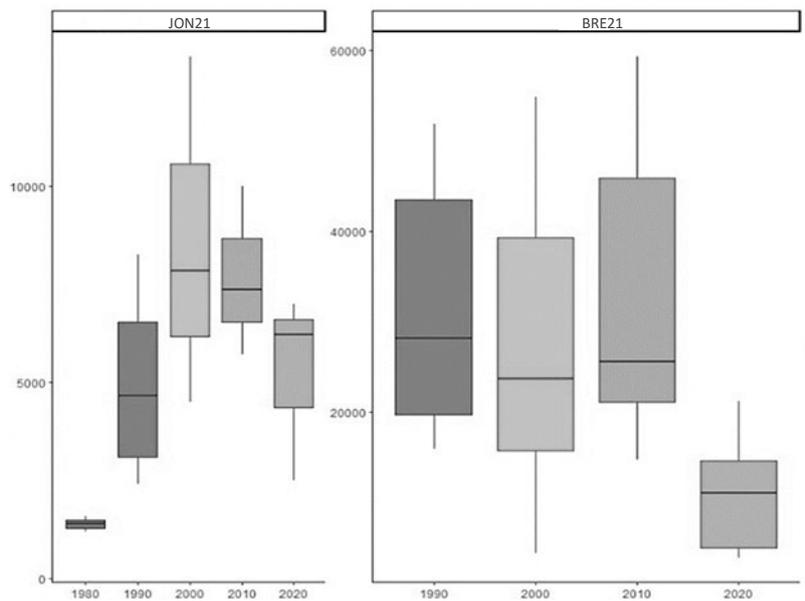


Figure 9 : Evolution des concentrations en microplastiques (nb/kg dw) des carottes JON C02 et BRE C01 au cours du temps

4. CONCLUSIONS

Les POPs dans les carottes sédimentaires de Pierre-Bénite (2004-2019) et Péage-de-Roussillon (1994-2019) : une trajectoire progressive de décroissance des niveaux de contamination et/ou transfert d'usage vers d'autres composés.

- Les deux carottes, PBN 2002 et PDR 1902, présentent des pics de concentration en **ΣPCBi** , atteignant 65,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pour PBN 2002 et 114,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pour PDR 1902, respectivement pour les années 2008-2009 et 2000. En dehors de ces périodes, les moyennes sont de 21,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et 23,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$. De plus, les deux carottes montrent un pic similaire autour des années 2016-2017 ; potentiellement attribuable à la remobilisation de stocks anciens lors des opérations de gestion sédimentaire (APAVÉR) de 2016.
- Les analyses révèlent des concentrations moyennes plus élevées en **PFAS** dans la carotte PBN 2002 par rapport à PDR 1902 :
 - $\Sigma\text{PFSA} = 0,95 \text{ ng/g}$ pour PBN 2002 sur la période 2004-2018 contre $\Sigma\text{PFSA} = 0,73 \text{ ng/g}$ pour PDR 1902 sur la période 1990-2019.
 - $\Sigma\text{PFCA}[\text{C}<8] = 0,52 \text{ ng/g}$ pour PBN 2002 sur la période 2004-2018 contre $\Sigma\text{PFCA}[\text{C}<8] = 0,36 \text{ ng/g}$ pour PDR 1902 sur la période 1990-2019.
 - $5\Sigma\text{PFCA}[\text{C}>8] = 4,59 \text{ ng/g}$ pour PDR 1902 sur la période 1990-2019 contre $7\Sigma\text{PFCA}[\text{C}>8] = 6,26 \text{ ng/g}$ pour PBN 2002 sur la période 2004-2018.

Au cours des années 2000, une tendance à la diminution des concentrations est observée pour les PFAS étudiés ; ce qui pourrait être imputable à un changement de composition des composés utilisés dans les procédés industriels et rejetés dans le milieu (Mourier *et al.*, 2023). Plus importantes entre 2004 et 2006 à PBN, les concentrations en acides perfluorocarboxyliques à chaîne courte diminuent au profit des acides perfluorocarboxyliques à chaîne longue entre 2004 et 2019.

- Les concentrations des composés **PA (phtalates)** (uniquement étudiés pour PBN 2002) sont nettement plus élevées que pour les PCB, PFAS et POC. Elles restent relativement stables au cours du temps, avec des valeurs homogènes pour DEP ($15,4 \pm 11,8 \text{ ng/g}$), DiBP ($20,9 \pm 9,9 \text{ ng/g}$), DnBP ($9,2 \pm 6,3 \text{ ng/g}$) et DiDP ($110,3 \pm 33,3 \text{ ng/g}$). Cependant, une tendance à la baisse est observée pour le DEHP à partir de 2010 ($206,9 \pm 80,7 \text{ ng/g}$ entre 2004 et 2010 contre $102,2 \pm 20,6 \text{ ng/g}$ entre 2010 et 2019), au profit du DiNP.
- Les différents **POC (pesticides organochlorés)** étudiés (PeCBz, ΣHCH , $\Sigma\text{heptachlors}$, $\Sigma\text{chlordanes}$, et endosulfan sulfate) sont assez homogènes sur les périodes couvertes par les carottes (entre 1994 et 2004) ; e.g, $\Sigma\text{DDT} = 0,62 \pm 0,27 \text{ ng/g}$ pour PBN 2002 et $\Sigma\text{DDT} = 0,35 \pm 0,12 \text{ ng/g}$ pour PDR 1902. Ces concentrations correspondent globalement à des échantillons peu contaminés (Liber *et al.*, 2019) ; bien en deçà des seuils TEC ($\text{TEC}_{\text{DDT}} = 9,32 \text{ ng/g}$) et PEC ($\text{PEC}_{\text{DDT}} = 125,8 \text{ ng/g}$).

La période couverte par ces carottes sédimentaires correspond à une phase avancée dans une trajectoire progressive de décroissance des niveaux de contamination et ainsi, de résilience.

On note néanmoins la présence de pics, d'instabilités et une évolution des profils de composés, qu'il reste encore à investiguer.

Les microplastiques dans les carottes de Jons et l'île du Beurre : mise en évidence de l'empreinte industrielle et urbaine lyonnaise

- Les microplastiques sont beaucoup plus abondants à l'île du Beurre (BRE) qu'à Jons (JON), avec une concentration jusqu'à 6 fois plus élevée à BRE-C01.
- Les polymères prédominants diffèrent entre les deux sites : le PP est majoritaire à JON (70%), tandis qu'à l'île du Beurre (BRE), le PP, le PVC et le PE sont les plus représentés (respectivement 53%, 33% et 6%).
- La présence de PVC à l'île du Beurre (BRE) suggère une influence potentielle de l'activité industrielle (présence de très grosses unités de production de PVC dans la vallée de la chimie) et urbaine.
- Les sédiments de la station en aval de Lyon ont montré une amélioration relative des polymères issus des sources industrielles depuis les années 2000 et, dans une moindre mesure, des polymères ubiquitaires depuis les années 2010.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Casado-Martinez, C., Pascariello, S., Polesello, S., Valsecchi, S., Babut, M., Ferrari, B.J.D., 2021. Sediment quality assessment framework for per- and polyfluoroalkyl substances: Results from a preparatory study and regulatory implications. *Integrated Environmental Assessment and Management* 17, 716–725. <https://doi.org/10.1002/ieam.4412>
- Defranceschi, M., Ribera, D., Doly, L., 2015. Substances émergentes, polluants émergents dans les déchets. Le cas des phtalates (No. Etude n°10-0143/1A). RECORD.
- Deshayes, S., 2015. Identification des sources de phtalates et d'alkylphénols (polluants émergents) en milieu urbain et compréhension des processus d'élimination. Université Paris-Est.
- Dhivert, E., Pruvost, J., Winiarski, T., Gasperi, J., Delor-Jestin, F., Tassin, B., Mourier, B., 2024. Time-varying microplastic contributions of a large urban and industrial area to river sediments. *Environmental Pollution* 347, 123702. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123702>
<https://hal.science/OSR/hal-04493052v1>
- Juc, L., 2007. Etude des risques liés à l'utilisation des pesticides organochlorés et impact sur l'environnement et la santé humaine. Université Lyon 1.
- Lewis, A.J., Yun, X., Spooner, D.E., Kurz, M.J., McKenzie, E.R., Sales, C.M., 2022. Exposure pathways and bioaccumulation of *per*- and polyfluoroalkyl substances in freshwater aquatic ecosystems: Key considerations. *Science of The Total Environment* 822, 153561. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153561>
- Liber, Y., Mourier, B., Marchand, P., Bichon, E., Perrodin, Y., Bedell, J.-P., 2019. Past and recent state of sediment contamination by persistent organic pollutants (POPs) in the Rhône River: Overview of ecotoxicological implications. *Science of The Total Environment* 646, 1037–1046. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.340>
<https://hal.science/OSR/hal-02553057v1>
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A., 2000. Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 39, 20–31. <https://doi.org/10.1007/s002440010075>
- Mourier, B., Labadie, P., Winiarski, T., Marchand, P., Budzinski, H., 2023. A combined retrospective and spatial analysis of PFAS in river sediments demonstrates changes in both levels and patterns over the last 40 years (Rhône River, France)., in: Goldschmidt2023 Abstracts. Presented at the Goldschmidt2023, European Association of Geochemistry, Lyon, France. <https://doi.org/10.7185/gold2023.19552>
<https://hal.science/OSR/hal-02282820v1>
- Nakajima, R., Tsuchiya, M., Lindsay, D.J., Kitahashi, T., Fujikura, K., Fukushima, T., 2019. A new small device made of glass for separating microplastics from marine and freshwater sediments. *PeerJ* 7, e7915. <https://doi.org/10.7717/peerj.7915>
- Primpke, S., Lorenz, C., Rascher-Friesenhausen, R., Gerdts, G., 2017. An automated approach for microplastics analysis using focal plane array (FPA) FTIR microscopy and image analysis. *Anal. Methods* 9, 1499–1511. <https://doi.org/10.1039/C6AY02476A>

Seignemartin, G., Mourier, B., Weit, A., Pruvost, J., Noclin, N., Dendievel, A.-M., Donze, D., Hammada, M., Winiarski, T., 2023. Bilan des opérations de carottage de l'OSR6 – Axe A - Action 3.1. et 3.2 Sites inter1 & intra2-Rhône Court-Circuités et retenues de barrages du Haut-Rhône (Rapport scientifique intermédiaire).

Vauclin, S., Mourier, B., Tena, A., Piégay, H., Winiarski, T., 2020. Effects of river infrastructures on the floodplain sedimentary environment in the Rhône River. *J Soils Sediments* 20, 2697–2708. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02449-6>
<https://hal.science/OSR/hal-02399197v1>

Vidal, A., Papillon, L., Seignemartin, G., Morereau, A., Euzen, C., Grenz, C., Copard, Y., Eyrolle, F., Sempéré, R., 2024. Temporal evolution of plastic additive contents over the last decades in two major European rivers (Rhône and Rhine) from sediment cores analyses. *Environmental Pollution* 348, 123655. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123655>
<https://hal.science/OSR/irs-n-04579685v1>

6. ANNEXES

Annexe 1 : teneurs des PFAS de la carotte PBN 2002 selon la profondeur/le temps

Carotte PBN 2002					
Profondeur MIN	Profondeur MAX	AGE	ΣPFSA	ΣPFCA[C<8]	7ΣPFCA[C>8]
0	2	2018,6	1,670	1,057	1,752
4	6	2018	0,407	0,314	1,744
8	10	2017,5	0,501	0,394	1,584
12	14	2016,9	0,411	0,467	1,668
16	18	2016,4	0,371	0,477	1,342
20	22	2015,8	0,451	0,438	1,962
24	26	2015,3	0,584	0,472	3,770
28	30	2014,7	0,706	0,441	2,972
32	34	2014,2	0,870	0,467	2,867
36	38	2013,6	0,862	2,186	3,140
40	42	2013,1	0,850	0,356	2,594
44	46	2012,5	0,823	0,496	4,294
48	50	2012	0,749	0,355	4,827
52	54	2011,4	0,836	0,594	4,272
56	58	2010,9	0,869	0,887	2,659
60	62	2010,3	0,834	0,424	4,097
64	66	2009,7	0,700	0,288	3,328
68	70	2009,2	0,718	0,371	4,631
72	74	2008,6	1,384	0,587	6,116
76	78	2008,1	1,725	0,267	7,930
80	82	2007,5	1,517	0,338	15,965
84	86	2007	1,024	0,518	10,928
88	90	2006,4	1,558	0,359	10,046
92	94	2005,9	1,078	0,486	6,984
96	98	2005,3	1,532	0,480	18,964
100	102	2004,8	1,680	0,246	4,203
104	106	2004,4	0,937	0,372	34,505
		Moyenne	0,95	0,524	6,265

Annexe 2 : teneurs des PFAS de la carotte PDR 1902 selon la profondeur/le temps

Carotte PDR 1902					
Profondeur MIN	Profondeur MAX	AGE	Σ PFSA	Σ PFCA[C<8]	5 Σ PFCA[C>8]
0	2	2019	0,536	0,365	0,719
4	6	2018,1	0,391	0,521	0,777
8	10	2017,1	0,327	0,000	0,696
12	14	2016,1	0,450	0,000	1,110
16	18	2015,1	0,292	0,443	1,321
20	22	2014,2	0,286	0,000	1,067
24	26	2013,2	0,304	0,000	1,418
28	30	2012,2	0,530	0,394	2,356
32	34	2011,2	0,415	0,899	16,528
36	38	2010,2	0,643	0,547	3,011
40	42	2009,3	0,540	0,108	3,332
44	46	2008,3	0,606	0,647	2,876
48	50	2007,3	0,496	0,404	3,145
52	54	2006,3	0,731	0,590	4,684
56	58	2005,4	0,576	0,146	4,356
60	62	2004,4	0,863	0,483	6,348
64	66	2003,4	0,700	0,492	5,143
68	70	2002,4	0,662	0,103	4,198
72	74	2001,5	0,691	0,150	3,471
76	78	2000,5	1,053	0,144	4,545
80	82	1999,5	1,120	0,116	3,791
84	86	1998,5	1,269	0,193	4,690
88	90	1997,5	1,301	0,492	15,741
92	94	1996,6	1,240	1,099	6,626
96	98	1995,6	1,382	0,673	11,069
100	102	1994,6	1,404	0,140	6,182
104	106	1993,9	1,007	0,445	4,769
		Moyenne	0,734	0,355	4,591

Annexe 3 : concentrations en phtalates (ng/g) dans la carotte PBN 2002

Prof. MIN	Prof. MAX	AGE	DMP	DEP	DiBP	DnBP	BBzP	DEHP	DiNP	DiDP
0	2	2018,6	3,1	8,5	6,3	7,6	< 2	134	305	141
4	6	2018	1,4	13,6	15,9	9,2	< 2	78,7	130	99,8
8	10	2017,5	< 1	17	25,7	6,9	< 2	78,6	150	126
12	14	2016,9	< 1	32,1	36	38,4	< 2	97,9	139	90,9
16	18	2016,4	< 1	42,8	22,4	6,6	< 2	84,2	134	105
20	22	2015,8	< 1	54,8	25,3	7,5	< 2	98,4	106	148
24	26	2015,3	< 1	29,8	23,1	6,4	< 2	81,4	142	139
28	30	2014,7	< 1	18,4	23,5	6,6	< 2	90,6	110	92,3
32	34	2014,2	< 1	12,6	22,7	8,9	< 2	93,8	130	111
36	38	2013,6	< 1	13,4	24,6	6,8	< 2	98,8	311	148
40	42	2013,1	1,3	15,7	41,2	14,1	< 2	134	411	196
44	46	2012,5	1	11,7	15,7	7,4	< 2	141	105	98,8
48	50	2012	< 1	22	37,1	13,1	< 2	101	105	79
52	54	2011,4	< 1	14,6	10	7,9	< 2	119	90,4	65,2
56	58	2010,9	< 1	9	12,6	3,4	< 2	270	121	106
60	62	2010,3	< 1	17	45,6	14,9	< 2	291	77,1	69,1
64	66	2009,7	< 1	7,8	18,4	5,2	< 2	NA	54,8	55,6
68	70	2009,2	< 1	9,2	22,9	9	< 2	183	69	74,3
72	74	2008,6	1,4	4,4	10,4	6	< 2	136	71,1	92,2
76	78	2008,1	1,4	3,9	11,7	6,2	< 2	122	59,9	83,2
80	82	2007,5	< 1	9,8	16,2	5,5	< 2	221	64	116
84	86	2007	< 1	12,4	22,5	9,3	< 2	185	67,1	108
88	90	2006,4	< 1	13,4	26,3	11,5	< 2	177	85,1	141
92	94	2005,9	< 1	6,9	14,9	7	< 2	143	43,4	75,7
96	98	2005,3	< 1	5,2	10,7	10,8	< 2	253	49,4	128
100	102	2004,8	< 1	3,9	12,7	6,3	< 2	426	64,9	175
104	106	2004,4	< 1	6,4	9,5	6,1	< 2	223	50,2	113
Moyenne			1,6	15,4	20,9	9,2	x	156,2	120,2	110,3
Ecart-type			0,7	11,8	9,9	6,3	x	81,4	86	33,3

Annexe 4 : concentrations (en µg/kg) des composés pesticides organochlorés de la carotte PBN 2002

PROF. MOYENNE (cm)	AGE	PeCBz	HCB	ΣHCH	Σchlordane	ΣHeptachlor epoxyde	Σnanochlor	ΣDDE	ΣDDD	ΣDDT	Endosulfan sulfate
1	2018,6	2,08	1,3	0,52	0,02	0,98	0,03	1,44	0,83	0,47	0,02
5	2018	2,2	1,49	1,22	0,03	2,4	0,03	1,53	0,65	0,33	0,01
9	2017,5	3,43	2,14	1,12	0,04	2,79	0,02	2,01	0,67	0,38	0,02
13	2016,9	3,38	2,56	1,52	0,07	5,88	0,05	2,46	1,42	1,58	0,01
17	2016,4	2,72	1,84	0,89	0,03	1,45	0,02	1,65	0,42	0,16	0,01
21	2015,8	2,81	1,9	0,97	0,03	1,32	0,02	2,04	0,54	0,31	0,01
25	2015,3	3,2	2,17	1,15	0,07	1,47	0,01	3,31	0,75	0,54	0,01
29	2014,7	2,59	2,19	1,38	0,04	1,66	0,04	2,41	0,59	0,36	0,01
33	2014,2	3,43	2,41	1,24	0,07	1,65	0,03	2,84	0,65	0,4	0,02
37	2013,6	5,3	3,32	1,74	0,08	2,95	0,03	3,47	0,84	0,58	0,02
41	2013,1	4,76	3,11	2,15	0,11	2,87	0,04	4,14	0,89	0,51	0,02
45	2012,5	2,48	2,04	1,12	0,06	2,08	<LOD	3,55	0,82	0,61	0,02
49	2012	4,79	3,3	1,5	0,07	2,15	0,02	3,65	0,74	0,48	0,02
53	2011,4	0,89	1,33	0,36	0,02	1,49	<LOD	3,32	0,87	0,61	0,02
57	2010,9	0,79	0,99	0,35	0,03	1,69	<LOD	3,97	0,8	0,67	0,02
61	2010,3	4,22	3,19	1,5	0,07	2,6	0,02	4,35	0,75	0,56	0,02
65	2009,7	3,21	2,6	0,71	0,05	3,26	0,02	4,5	1,19	0,77	0,02
69	2009,2	2,39	2,51	0,73	0,02	3,7	<LOD	3,81	0,8	0,6	0,03
73	2008,6	1,28	1,63	0,3	0,03	4,64	<LOD	3,98	0,77	0,65	<LOD
77	2008,1	1,29	1,62	0,34	<LOD	2,12	0,01	3,77	0,67	0,6	0,02
81	2007,5	1,88	2,18	0,41	0,03	2,2	0,01	3,55	1,02	0,5	0,02
85	2007	1,97	1,57	0,55	0,06	2,31	0,02	5,5	1,5	0,71	0,02
89	2006,4	2,42	1,86	0,73	0,03	2,47	0,01	5,54	0,9	0,73	0,02
93	2005,9	1,58	1,7	0,5	0,03	1,78	<LOD	4,72	1,22	0,77	0,02
97	2005,3	1,1	1,63	0,57	0,03	2,62	0,01	6,1	1,19	0,99	0,03
101	2004,8	0,77	1,39	0,34	0,03	2,01	<LOD	7,71	1,15	1,09	0,02
105	2004,4	1,24	1,8	0,47	0,07	4,07	0,02	6,01	2,64	0,78	0,02
	Moyenne	2,53	2,07	0,9	0,05	2,47	0,02	3,75	0,94	0,62	0,02
	SD	1,24	0,63	0,5	0,02	1,08	0,01	1,49	0,42	0,27	<LOD
	Médiane	2,42	1,9	0,73	0,04	2,2	0,02	3,65	0,82	0,6	0,02

Annexe 5 : concentrations (en µg/kg) des composés pesticides organochlorés de la carotte PDR 1902

PROF. MOYENNE (cm)	AGE	PeCBz	HCB	ΣHCH	Σchlordane	ΣHeptachlor epoxyde	Σnanochlor	ΣDDE	ΣDDD	ΣDDT	Endosulfan sulfate
1	2019	3,78	1,43	1,22	0,02	1,53	0,03	0,95	0,62	0,31	0,03
5	2018,1	2,98	1,1	0,44	0,03	1,66	0,03	1,03	0,57	0,21	0,02
9	2017,1	2,27	0,92	0,31	0,03	2,55	0,03	1,18	0,59	0,3	0,01
13	2016,1	4,48	1,5	0,66	0,03	5,07	0,03	1,01	0,49	0,22	0,02
17	2015,1	2,29	0,78	0,34	0,03	1,38	0,03	1,29	0,6	0,27	0,01
21	2014,2	1,91	0,69	0,19	0,02	1,16	0,02	0,92	13,37	0,14	0,01
25	2013,2	2,02	0,91	1,06	0,03	1,26	0,03	0,98	0,57	0,27	0,01
29	2012,2	1,26	0,58	0,09	0,04	0,99	0,03	1,41	0,66	0,26	0,01
33	2011,2	2,51	0,99	0,13	0,03	0,97	0,03	1,19	0,5	0,2	0,01
37	2010,2	2,4	1,03	1,19	0,04	1,47	0,04	2,05	0,73	0,41	0,01
41	2009,3	1,88	0,9	0,31	0,04	1,58	0,03	1,34	0,62	0,25	0,01
45	2008,3	1,99	1,1	0,73	0,04	2,34	0,03	1,93	0,8	0,3	0,01
49	2007,3	2,37	0,88	0,77	0,04	2	0,03	1,86	0,73	0,32	0,01
53	2006,3	1,81	0,75	0,95	0,03	2,13	0,02	2,37	0,77	0,44	0,01
57	2005,4	2,31	0,88	1	0,03	2,4	0,01	1,48	0,66	0,21	0,02
61	2004,4	2,12	1	0,68	0,03	3,22	0,02	2,52	0,85	0,33	0,02
65	2003,4	1,94	0,96	0,4	0,03	3,81	0,03	2,91	0,96	0,46	0,03
69	2002,4	1,47	0,61	0,25	0,05	3,89	0,03	3,17	1,14	0,58	0,03
73	2001,5	1,59	0,79	0,25	0,05	3,78	0,04	3,28	1,81	0,5	0,03
77	2000,5	1,63	0,74	0,24	0,03	7,77	0,02	2,47	1,53	0,35	0,06
81	1999,5	1,93	1,06	0,2	0,03	3,11	0,02	2,34	1,15	0,44	0,02
85	1998,5	1,33	0,82	0,38	0,02	3,56	0,02	2,25	0,69	0,36	0,02
89	1997,5	1,64	0,8	0,21	0,02	3,03	0,02	2,42	0,67	0,36	0,01
93	1996,6	1,67	0,81	0,39	0,03	4,23	0,03	3,46	0,74	0,45	0,02
97	1995,6	1,78	0,95	0,22	0,03	3,81	0,02	3,98	0,79	0,64	0,01
101	1994,6	1,85	0,95	0,19	0,02	4,08	0,02	2,3	0,51	0,45	0,02
105	1993,9	1,19	0,69	0,19	0,03	2,72	0,02	1,93	0,54	0,32	0,02
	Moyenne	2,09	0,91	0,48	0,03	2,8	0,03	2	1,25	0,35	0,02
	SD	0,71	0,21	0,34	0,01	1,49	0,01	0,84	2,4	0,12	0,01
	Médiane	1,93	0,9	0,34	0,03	2,55	0,03	1,93	0,69	0,32	0,02



Observatoire des Sédiments du Rhône

Dispositifs scientifiques cadres



Partenaires scientifiques



Partenaires techniques et financiers

