



HAL
open science

Rapport sur le fonctionnement du réseau OSR d'observation des flux de matières en suspension et de contaminants particuliers (OSR 5 – année 2018)

Chloé Le Bescond, Jérôme Le Coz, Marina Coquery, Fabien Thollet, Mickael Lagouy, A. Buffet, Guillaume Dramais, Gaëlle Poulier, Aymeric Dabrin, Matthieu Masson, et al.

► To cite this version:

Chloé Le Bescond, Jérôme Le Coz, Marina Coquery, Fabien Thollet, Mickael Lagouy, et al.. Rapport sur le fonctionnement du réseau OSR d'observation des flux de matières en suspension et de contaminants particuliers (OSR 5 – année 2018). [Rapport de recherche] INRAE RiverLy; CNRS; IRSN; IFREMER. 2019. hal-03299208

HAL Id: hal-03299208

<https://hal.science/hal-03299208>

Submitted on 26 Jul 2021

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.

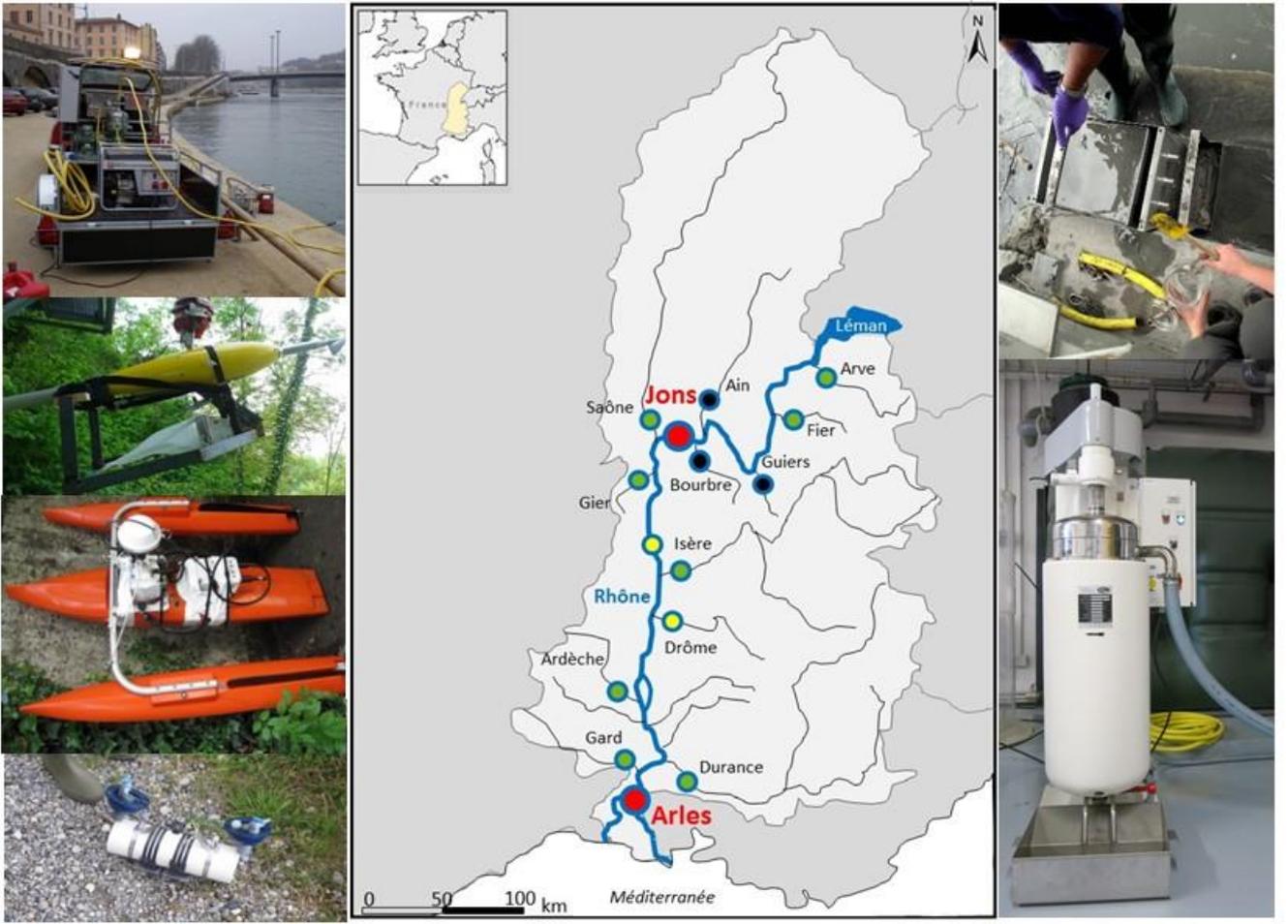


Observatoire des Sédiments du Rhône

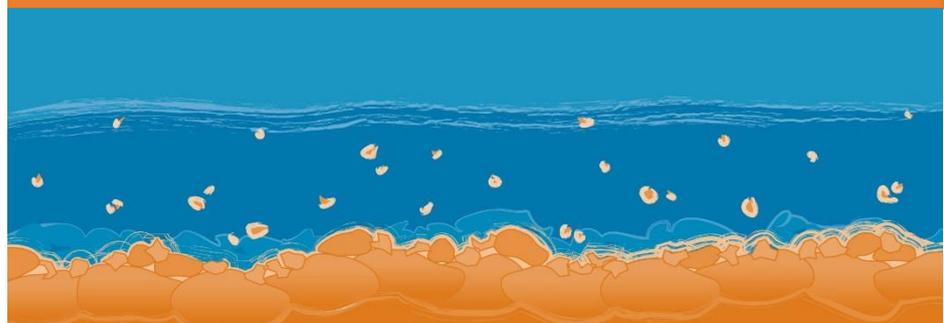
OSR5 2018-2020

Rapport sur le fonctionnement du réseau d'observation des flux

Version du 19 janvier 2019



Plan Rhône



Rapport sur le fonctionnement du réseau OSR d'observation des flux de matières en suspension et de contaminants particuliers (OSR 5 – année 2018)

Personnes impliquées	Equipe de recherche
C. Le Bescond, J. Le Coz, M. Coquery, F. Thollet, M. Lagouy, A. Buffet, G. Dramais, G. Poulier, A. Dabrin, M. Masson, C. Miège, G. Grisot	Irstea - Centre de Lyon-Villeurbanne
J. Gattacceca, J-P. Ambrosi, D. Delanghe, B. Angeletti	CEREGE - Aix-en-Provence
P. Raimbault, M. Fornier	MIO - Marseille
H. Lepage, O. Radakovitch	IRSN - Cadarache
I. Pairaud, R. Fuchs	Ifremer - La Seyne-sur-Mer

Résumé

L'action B1 de l'Observatoire des Sédiments du Rhône vise à pérenniser le réseau de suivi des flux de matières en suspension (MES) et de contaminants associés. Ce rapport dresse le bilan des avancées réalisées sur l'ensemble du réseau en 2018 en termes de stations actives, de prélèvements de MES et d'analyses physico-chimiques, ainsi que sur les calculs de flux de contaminants dans la Base de Données des Observatoires en Hydrologie (BDOH). L'année 2018 a été marquée par des crues échantillonnées en janvier sur plusieurs stations (Rhône à Jons et à Arles, Saône et Fier) et la mise en place d'une nouvelle station sur la Drôme. Ce rapport présente également une synthèse des différents essais qui ont été menés pour tester et valider les protocoles de mesure et les stratégies d'observation des flux. Sur les deux stations principales d'observation du Rhône, le suivi des concentrations en contaminants particuliers s'effectue à travers l'analyse de MES prélevées par centrifugation en continu à Jons (en complément du prélèvement par piège à particules) et à Arles. Les deux systèmes de centrifugation utilisés successivement à Jons, suite à la mise en place de cette station en 2011, ont été comparés. Les résultats obtenus démontrent que les MES prélevées par centrifugation sont représentatives de celles qui transitent dans le Rhône au moment du prélèvement. Le changement de centrifugeuse, survenu en juillet 2013, n'a pas eu d'influence sur la continuité des séries temporelles de concentrations en contaminants particuliers. Les prélèvements de MES requièrent un temps de préparation du matériel conséquent, ainsi qu'une importante étape de préparation des échantillons avant analyse. La fréquence de prélèvement sur la station de Jons a été réévaluée en étudiant les tendances temporelles des concentrations en contaminants particuliers dans des jeux de données bimensuels et mensuels. La fréquence de prélèvement en régime hydrologique de base pour le suivi des concentrations en contaminants à Jons, jusqu'alors bimensuelle, est fixée à une fois par mois depuis le 13 mars 2018. Entre les deux stations principales sur le Rhône à Jons et à Arles, la traversée de la ville de Lyon et de la vallée de la chimie est susceptible de contribuer à l'augmentation des concentrations en contaminants particuliers. La contamination des MES en amont et en aval de la Métropole de Lyon a donc été comparée en régime hydrologique de base. Dans les conditions testées, il n'a pas été observé de différences sur la contamination particulière des 5 métaux étudiés. En revanche, pour les 11 composés organiques étudiés, il est difficile de conclure car ils sont retrouvés en très faibles concentrations.

Mots-clés

Rhône, turbidité, prélèvement intégré, centrifugation en continu, MES, polychlorobiphényles, polybromodiphényléthers, mercure, métaux, radionucléides, flux, BDOH.

Résumé opérationnel

Présentation du réseau de l'OSR

Depuis 2009, le programme de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) vise à estimer de manière robuste les flux de matières en suspension (MES) et de contaminants associés en transit dans le Rhône, du lac Léman à la mer Méditerranée, et depuis ses principaux affluents. Dans cette perspective, un réseau d'observation multi-partenarial a été développé. Il comprend deux stations principales sur le Rhône à Jons et à Arles (SORA), auxquelles s'ajoutent des stations secondaires installées sur les affluents majeurs (Arve, Fier, Saône, Gier, Isère, Drôme, Ardèche, Durance et Gardon) pour identifier la contribution de chaque sous bassin-versant en termes de flux de MES et de contaminants particuliers. Le suivi des MES est poursuivi jusqu'en mer Méditerranée avec la station MesuRho située proche de l'embouchure. Ce réseau assure le suivi en continu des concentrations en MES à travers l'enregistrement de la turbidité et le prélèvement d'échantillons d'eau en vue de l'analyse de la concentration en MES pour la calibration en concentration. Des prélèvements de MES mensuels ou bimensuels sont également réalisés pour l'étude des concentrations en mercure (Hg), polychlorobiphényles (PCB), éléments traces métalliques (ETM) et radionucléides. Le carbone organique particulaire (COP) et la distribution granulométrique sont systématiquement mesurés en complément car les concentrations en contaminants peuvent être influencées par la nature et la taille des particules ; en effet, les particules les plus fines et les plus organiques sont généralement plus contaminées du fait de leur surface spécifique plus importante. Ces échantillons de MES sont systématiquement stockés pour permettre la mesure d'autres polluants dans le futur.

Fonctionnement de réseau de l'OSR en 2018

En 2018, l'action B1 du programme OSR5 prévoyait de pérenniser et d'étendre le réseau de suivi créé depuis le début du programme OSR. Ce document synthétise les avancées réalisées sur l'ensemble du réseau de l'OSR pour l'année 2018. En octobre 2018, le réseau comptabilise 11 stations de suivi turbidimétrique en activité sur le Rhône et ses affluents et en mer à l'embouchure du Rhône, dont une installée le 23 octobre 2018 sur la Drôme à Livron-sur-Drôme. Sur les stations principales du Rhône à Jons et à Arles, le suivi physico-chimique des MES s'effectue ponctuellement par pompage de l'eau du Rhône en continu puis centrifugation. Les deux stations sont équipées d'une centrifugeuse fixe identique (CEPA Z61). Les stations installées sur les affluents et la station de Jons disposent d'un piège à particules immergé pour collecter des échantillons de MES sur une longue période. Au total, au 22 novembre 2018, 160 échantillons de MES ont été prélevés en 2018 sur l'ensemble du réseau, dont 33 échantillons durant des événements de crue sur le Fier (2), le Rhône à Jons (15), la Saône (6), l'Isère (2), l'Ardèche (1), la Durance (1) et le Rhône à Arles (6). Sur ces 160 échantillons, 96 ont été analysés ou sont en cours d'analyse pour le mercure, 73 ont été analysés pour le COP, 50 ont été analysés pour les ETM et 60 sont en cours d'analyse pour les radionucléides émetteurs de rayonnement gamma. La convention du programme de l'OSR5 ne prévoyait pas la poursuite de l'analyse des PCB en 2018. Les conditions spécifiques de stockage des échantillons de MES (et métadonnées associées) en vue des analyses rétrospectives de micropolluants ont été étudiées en 2018.

Les séries temporelles nécessaires aux calculs de flux particuliers (débit, concentration en MES et concentration en contaminants) générées à travers ce réseau d'observation sont bancarisées dans la Base de Données des Observatoires en Hydrologie (BDOH). Les données de débits horaires fournies par l'OFEV, CNR, EDF et la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes sont à jour jusqu'à septembre 2018 inclus et celles de concentrations en MES sont bancarisées au moins jusqu'à juillet 2018. Les données de mercure sont à jour jusqu'au premier semestre 2018 pour les stations du Rhône Nord (Fier, Jons, Saône, Gier, Isère) et d'avril à décembre 2017 pour les stations du Rhône Sud (Ardèche, Durance, Gardon et Arles). Les données de concentrations en ETM sont bancarisées jusqu'au premier trimestre 2018 pour Jons, l'Ardèche et la Durance, jusqu'en 2017 pour le Gier, l'Isère et le Gardon et jusqu'en 2016 pour le Fier et la Saône. Les données de concentration en ¹³⁷Cs sont bancarisées jusqu'en 2014 à Arles et jusqu'en 2017 pour les autres stations. Les flux de contaminants sont calculés sur la même période que les concentrations en contaminants.

Ce rapport réunit également les résultats de différents essais visant à tester et valider les protocoles de mesure et les stratégies d'observation des flux.

Représentativité de la distribution granulométrique des MES prélevées par centrifugation

Pour valider la procédure de prélèvement par centrifugation, une étude sur la représentativité de la distribution granulométrique des MES centrifugées par rapport aux particules qui transitent dans l'eau du Rhône a été menée à la station de Jons en régime de base. Des prélèvements manuels d'eau du Rhône au point de prélèvement de la centrifugeuse, des prélèvements d'eau en entrée de centrifugeuse et des prélèvements de MES par centrifugation ont été réalisés en parallèle. Les MES prélevées par centrifugation ont été récupérées en suivant deux protocoles différents. Les distributions granulométriques des particules collectées ont ensuite été analysées puis comparées pour chaque type de prélèvement. Ces expérimentations montrent que le pompage de l'eau du Rhône pour l'alimentation de la centrifugeuse en continu n'a pas d'influence sur la distribution granulométrique des particules, sauf pour les particules fines de diamètres inférieurs à 5 µm qui sont présentes en plus grande proportion dans l'eau pompée que dans l'eau du Rhône. En revanche, la méthode de sous-échantillonnage des MES centrifugées pour l'analyse de la granulométrie peut induire un biais granulométrique. Le protocole de sous-échantillonnage qui consiste à prélever une petite quantité de MES sur une fine bande qui s'étire sur toute la longueur de la feuille de Téflon favorise la collecte de particules fines au détriment de particules plus grossières. Lorsque le sous-échantillonnage est réalisé après récupération de la totalité de l'échantillon de MES contenu sur la feuille de Téflon, la distribution granulométrique de l'échantillon est similaire à celle des particules qui transitent dans le Rhône au moment du prélèvement. Sur la station du Rhône à Jons, ce dernier protocole de sous-échantillonnage est suivi depuis novembre 2016.

Continuité des prélèvements réalisés par centrifugeuse mobile et fixe à Jons

La centrifugeuse fixe (CEPA Z61) de la station de Jons est en service depuis juillet 2013. Entre 2011 et mai 2014, une centrifugeuse mobile montée sur remorque (Westfalia KA-2) a été utilisée sur cette station. Afin de vérifier la continuité des séries temporelles de concentrations en contaminants issues des MES récupérées avec ces deux centrifugeuses qui se sont succédées, des prélèvements de MES ont été réalisés en parallèle avec les deux systèmes durant quatre périodes. Puis, les échantillons ont été analysés pour le mercure, 9 PCB, 2 polybromodiphényléthers (PBDE), le COP et la granulométrie. Les résultats des analyses physico-chimiques menées sur les MES issues de chaque centrifugeuse ont ensuite été comparés en tenant compte des incertitudes de mesure puis une analyse statistique a été menée pour chaque paramètre sur l'ensemble des données appariées. Les résultats montrent que la qualité physico-chimique des MES prélevées par les deux centrifugeuses sont similaires en termes de nature des particules prélevées (granulométrie et concentration en COP) et de concentrations en contaminants (mercure, PCB et PBDE). Le changement de centrifugeuse pour le prélèvement des MES survenu le 9 juillet 2013 n'a donc pas eu d'impact sur la continuité des séries temporelles de concentrations en contaminants acquises depuis le début du programme OSR en 2011. L'ensemble des chroniques de concentrations en contaminants particulières générées sur cette station depuis le début du programme OSR peut être utilisé avec confiance.

Validation de la réduction de fréquence prélèvement à Jons en régime de base

Les prélèvements bimensuels de MES par centrifugation en continu requièrent un temps de préparation du matériel et de fonctionnement conséquent ainsi qu'une formation préalable des utilisateurs. Or, l'intérêt d'un suivi aussi fréquent des concentrations en régime de base n'apparaît pas clairement pour détecter des tendances. La fréquence de prélèvements à Jons a donc été ré-évaluée en dégradant les séries temporelles de concentrations en contaminants acquises en régime hydrologique de base depuis le début du programme OSR afin de simuler une fréquence de prélèvement mensuelle. Toutes les mesures réalisées pendant les crues et en période de chasse de barrage ont été conservées à l'identique dans la série temporelle dégradée. Les tendances temporelles dans les séries temporelles complètes et dégradées de concentrations en mercure, PCB et ETM ont ensuite été comparées. Les résultats montrent que les tendances temporelles sont similaires lorsque les prélèvements en régime hydrologique de base sont bimensuels ou mensuels. A partir de mars 2018, les prélèvements de MES à Jons en régime hydrologique de base sont réalisés une fois par mois, et continueront d'être plus fréquents en période de crue. Un effort de prélèvement supplémentaire sera porté sur les affluents en crue à l'aide de la nouvelle centrifugeuse mobile.

Etude des potentiels enrichissements en concentration entre l'amont et l'aval de l'agglomération lyonnaise

Les flux de contaminants sur le Rhône sont estimés finement grâce aux deux stations principales de Jons et d'Arles. Entre ces deux stations distantes d'environ 300 km, des affluents comme la Saône, l'Isère et la Durance contribuent aux apports de MES et de contaminants associés dans le Rhône. Notamment, la traversée de la Métropole de Lyon, qui englobe la ville de Lyon et la vallée de la chimie, peut potentiellement enrichir les MES en contaminants. Pour déceler un éventuel apport de contaminants dans cette zone, 5 stations situées en amont et en aval de la Métropole de Lyon ont spécialement été équipées d'un piège à particules pour le prélèvement intégratif de MES. Les échantillons ont été collectés sur quatre périodes temporelles différentes en régime hydrologique de base afin de réduire au maximum l'effet de dilution des apports urbains et industriels dans le Rhône. Puis, les échantillons ont été analysés en mercure, 9 PCB, 2 PBDE et 4 ETM. On n'observe pas de différence de concentration significative entre les prélèvements en rive droite et en rive gauche du Rhône à Ternay. Cette observation sera à croiser avec les campagnes de mesure du mélange en aval de la confluence Rhône-Saône (thèse de Sébastien Pouchoulin). La comparaison de la contamination des MES entre l'amont et l'aval de la Métropole de Lyon s'est avérée impossible pour 4 composés (2 PCB et 2 PBDE), du fait des faibles fréquences de quantification (de 5% à 35%). Dans les conditions hydrologiques testées, il n'y pas d'influence décelable de la Métropole de Lyon sur les concentrations particulières en mercure, en ETM et en 4 congénères de PCB étudiés (PCB 101, 118, 138 et 153). En revanche, toujours en tenant compte des incertitudes analytiques, les résultats montrent un apport de PCB 180 à la traversée de la vallée de la chimie. En perspective, des analyses complémentaires non ciblées pourraient être réalisées pour détecter des composés caractéristiques des rejets des industries de la vallée de la chimie. Une étude similaire pourrait également être réalisée en crue et par temps de pluie pour évaluer d'éventuels rejets urbains ou phénomènes de resuspension de particules contaminées. Ce type de campagnes de prélèvements amont-aval pourra être étendu à d'autres secteurs du Rhône entre Jons et Arles à l'aide de la centrifugeuse mobile.

R A P P O R T	9
INTRODUCTION GENERALE	11
1. VIE DU RESEAU D'OBSERVATION DES FLUX DE MATIERES EN SUSPENSION ET DE CONTAMINANTS PARTICULAIRES POUR L'ANNEE 2018	12
1.1. Objectifs.....	12
1.2. Présentation du réseau de mesure des flux de matières en suspension et de contaminants particuliers.....	12
1.3. Suivi des concentrations en matières en suspension.....	13
1.4. Prélèvements de matières en suspension pour les analyses physico-chimiques.....	18
1.4.1. Prélèvements en régime de base.....	19
1.4.2. Prélèvements en régime de crue.....	20
1.4.3. Bilan des prélèvements réalisés en 2018.....	22
1.5. Analyses physico-chimiques.....	23
1.5.1. Les paramètres analysés	23
1.5.2. Les échantillons analysés	24
Analyse des échantillons prélevés en 2017	25
Analyse des échantillons prélevés en 2018	26
1.6. L'outil BDOH pour la bancarisation des données.....	27
1.6.1. Présentation.....	27
Calcul de flux.....	27
Estimation des chroniques lacunaires.....	28
1.6.2. Données bancarisées et flux calculés en 2018.....	29
1.6.3. Avancées des fonctionnalités de BDOH en 2018	32
2. VALIDATION DES DEUX SYSTEMES DE CENTRIFUGATION EN CONTINU UTILISES SUR LA STATION PERMANENTE DU RHONE A JONS POUR LES PRELEVEMENTS DE MATIERES EN SUSPENSION	33
2.1. Représentativité granulométrique des matières en suspension échantillonnées à Jons avec la centrifugeuse fixe en continu	33
2.1.1. Matériel et méthode.....	33
Prélèvements de matières en suspension par centrifugation en continu	33
Prélèvements manuels de matières en suspension	35
Méthode d'analyse de la granulométrie	36
Traitement des résultats	37

2.1.2. Résultats et discussion.....	38
Influence du pompage sur la granulométrie des particules des échantillons d'eau du Rhône	38
Influence du sous-échantillonnage sur la granulométrie des particules prélevées par centrifugation en continu	39
2.1.3. Conclusion	41
2.2. Continuité des séries temporelles de concentrations en contaminants analysées dans les matières en suspension prélevées avec deux systèmes de centrifugation en continu.....	42
2.2.1. Matériel et méthode	42
Systèmes de centrifugation en continu.....	42
Dates de prélèvement des matières en suspension et conditions hydrologiques	43
Prétraitement des échantillons et analyses chimiques	44
2.2.2. Résultats et discussion	47
Etude des fréquences de quantification pour les contaminants	47
Comparaison des concentrations mesurées dans les matières en suspension prélevées à l'aide des deux centrifugeuses	48
2.2.3. Conclusion	51
2.3. Conclusion du Chapitre 2.....	51

3. ANALYSE DES TENDANCES TEMPORELLES DES CONCENTRATIONS EN CONTAMINANTS PARTICULAIRES SUR LE RHONE A JONS POUR ALLEGER LA FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE DES MATIERES EN SUSPENSION

3.1. Objectifs	53
3.2. Matériel et méthode.....	53
3.2.1. Séries temporelles complètes.....	53
3.2.2. Séries temporelles dégradées	54
Séries temporelles dégradées issues de centrifugation.....	54
Séries temporelles dégradées issues du piège à particules	55
3.2.3. L'outil HYPE pour l'évaluation des tendances temporelles	57
3.3. Résultats : comparaison des tendances des séries temporelles et complètes dégradées	57
3.3.1. Séries temporelles issues de centrifugation.....	57
3.3.2. Séries temporelles issues du piège à particules	59
3.4. Conclusion et perspectives du Chapitre 3.....	61

4. ETUDE COMPARATIVE DE LA CONTAMINATION DES MATIERES EN SUSPENSION A L'AMONT ET A L'AVAL DE LA METROPOLE DE LYON

4.1. Objectifs	62
4.2. Matériel et méthode.....	62

4.2.1. Choix des stations d'étude.....	62
4.2.2. Campagnes de prélèvements des matières en suspension.....	63
4.2.3. Prétraitement des échantillons et analyses chimiques.....	64
Préparation des échantillons.....	64
Méthodes d'analyse.....	64
4.2.4. Traitement statistique des résultats.....	66
Homogénéité des concentrations particulières à l'aval de Lyon.....	66
Contribution de la ville de Lyon sur la contamination particulaire.....	66
Contribution de la vallée de la chimie sur la contamination particulaire.....	67
4.3. Résultats et discussion.....	69
4.3.1. Homogénéité des concentrations particulières à l'aval de Lyon.....	69
4.3.2. Contribution de la ville de Lyon sur la contamination particulaire.....	72
4.3.3. Contribution de la vallée de la chimie sur la contamination particulaire.....	74
4.4. Conclusion et perspectives du Chapitre 4.....	77
Références bibliographiques.....	79
A N N E X E S	83

R A P P O R T

INTRODUCTION GENERALE

L'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR 5) vise à quantifier de manière robuste les flux des matières en suspension (MES) et de contaminants particuliers associés en transit dans le Rhône, du lac Léman à la mer Méditerranée, et dans ses principaux affluents. Pour répondre à cet objectif, un réseau de stations d'observation a été mis en place depuis 2010 pour suivre en continu les concentrations en MES et prélever des MES à un pas de temps mensuel ou bimensuel (deux fois par mois), avec un échantillonnage plus fin lors des principales crues. Les MES prélevées sont ensuite analysées pour les paramètres suivants : les concentrations en mercure, en polychlorobiphényles (PCB), en polybromodiphényléthers (PBDE), en éléments trace métalliques (ETM) et en radionucléides, et pour la distribution granulométrique et le carbone organique particulaire. Des paramètres additionnels ont été analysés en sous-traitance sur certains échantillons. Ces composés ont été sélectionnés après un important travail d'enquête détaillé dans un livrable distinct qui détaille aussi l'ensemble des résultats obtenus (glyphosate, pesticides, hydrocarbures aromatiques polycycliques –HAP-, solvants, hormones, etc. [Poulier et al., 2017a]).

Ce réseau d'observation comprend deux stations principales sur le Rhône à Jons et à Arles, auxquelles s'ajoutent des stations secondaires installées sur les affluents majeurs (Arve, Fier, Saône, Gier, Isère, Durance, Ardèche et Gardon) pour identifier la contribution de chaque sous-bassin-versant en termes de flux de MES et de contaminants particuliers. L'action B1 de l'OSR 5 « Pérennisation et coordination du réseau de suivi des flux de MES et de contaminants associés – Vie du Réseau » prévoit en particulier de poursuivre et d'étendre l'exploitation de ce réseau d'observation des flux.

La première partie de ce rapport présente l'étendue du réseau d'observation des flux de MES et de contaminants associés sur le Rhône et fait le bilan des prélèvements et des mesures réalisés pour l'année 2018. Il dresse également l'inventaire des séries temporelles de flux de MES et de contaminants particuliers générées à travers ce réseau depuis 2011 et bancarisées dans la Base de Données des Observatoires en Hydrologie (BDOH).

Ce rapport réunit également les résultats de différents essais visant à tester et valider les protocoles de mesure et les stratégies d'observation des flux. Les parties 2 et 3 se focalisent sur les prélèvements réalisés sur la station de Jons. La représentativité de la distribution granulométrique des particules centrifugées par rapport aux particules qui transitent dans l'eau du Rhône et la continuité des séries temporelles de contaminants acquises sur les MES depuis 2011 prélevées à l'aide de deux centrifugeuses différentes sont étudiées (chapitre 2). Ces prélèvements de MES, notamment par centrifugation, requièrent un temps de préparation du matériel et de fonctionnement conséquent ainsi qu'une importante étape de préparation des échantillons avant analyse. La fréquence d'échantillonnage sur cette station, fixée à deux semaines en régime de base et plus fréquemment en période de crue, a été reconsidérée en étudiant les tendances temporelles des concentrations en contaminants particuliers « historiques » de l'OSR observées grâce aux données acquises (partie 3).

Enfin, la traversée de la ville de Lyon et de la vallée de la chimie est susceptible de contribuer à l'augmentation des concentrations en contaminants particuliers. Dans la partie 4, nous détaillons une étude réalisée pour évaluer de potentiels enrichissements en contaminants particuliers entre l'amont et l'aval de la Métropole de Lyon.

1. VIE DU RESEAU D'OBSERVATION DES FLUX DE MATIERES EN SUSPENSION ET DE CONTAMINANTS PARTICULAIRES POUR L'ANNEE 2018

C. Le Bescond, J. Le Coz, M. Coquery, F. Thollet, M. Lagouy, A. Buffet, G. Poulhier, A. Dabrin, M. Masson, C. Miège, G. Grisot, J. Gattacceca, D. Delanghe, B. Angeletti, P. Raimbault, M. Fornier, H. Lepage, O. Radakovitch, I. Pairaud, R. Fuchs.

1.1. Objectifs

Ce chapitre présente le réseau d'observation des flux de l'OSR en 2018. Il décrit les stations actives et dresse un bilan, station par station, des prélèvements de MES réalisés sur le réseau pour le suivi en continu des concentrations en contaminants. Il recense le type et le nombre de mesures effectuées par les laboratoires Irstea, CEREGE, IRSN, MIO et Ifremer sur ces échantillons pour l'année 2018. Il détaille également l'avancement de la bancarisation des séries temporelles issues de ce suivi et des calculs de flux de MES et de contaminants associés pour chaque station dans la base de données BDOH/OSR.

1.2. Présentation du réseau de mesure des flux de matières en suspension et de contaminants particuliers

Sous hypothèse d'homogénéité de la phase porteuse au sein d'une section en travers de cours d'eau, le flux cumulé sur une période donnée d'un contaminant particulaire est défini à partir du flux instantané, qui est le produit du débit, de la concentration en MES et de la concentration en contaminant particulaire dans les MES d'après l'équation suivante :

$$\Phi_i = \int_T Q \cdot CMES \cdot C_i \cdot dt$$

avec :

- Φ_i , le flux cumulé de contaminant particulaire i (en μg , mg ou Bq sur la période T) ;
- Q , le débit (en m^3/s) ;
- $CMES$, la concentration en matières en suspension (en mg/L) ;
- C_i , la concentration en contaminant particulaire i dans les MES (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou Bq/kg) ;
- T , la période prise en compte pour le calcul du flux.

Dans le programme OSR, le suivi de ces trois paramètres est assuré à travers un réseau de stations pérennes sur le bassin du Rhône (stations principales sur le Rhône à Jons et à Arles, stations permanentes sur les affluents majeurs) et de stations temporaires sur les affluents secondaires. Le suivi des MES est poursuivi jusqu'en mer Méditerranée avec la station MesuRho située proche de l'embouchure et gérée par l'Ifremer (Figure 1).

Le nombre de stations suivies est fonction des ressources disponibles et de la faisabilité technique, avec un important critère d'opportunité. Les stations temporaires sont équipées pour acquérir des données nouvelles sur des affluents non documentés. La durée de suivi des stations temporaires vise à obtenir une collecte suffisante de données pour différents régimes hydrologiques, en vue des calculs de flux.

Dans ce document, le partage OSR Nord/Sud est fixé au niveau de l'Isère : le « Rhône Nord » désigne la zone qui s'étend du Léman à la confluence avec l'Isère incluse, le « Rhône Sud » débute à l'aval de l'Isère jusqu'à la Méditerranée.

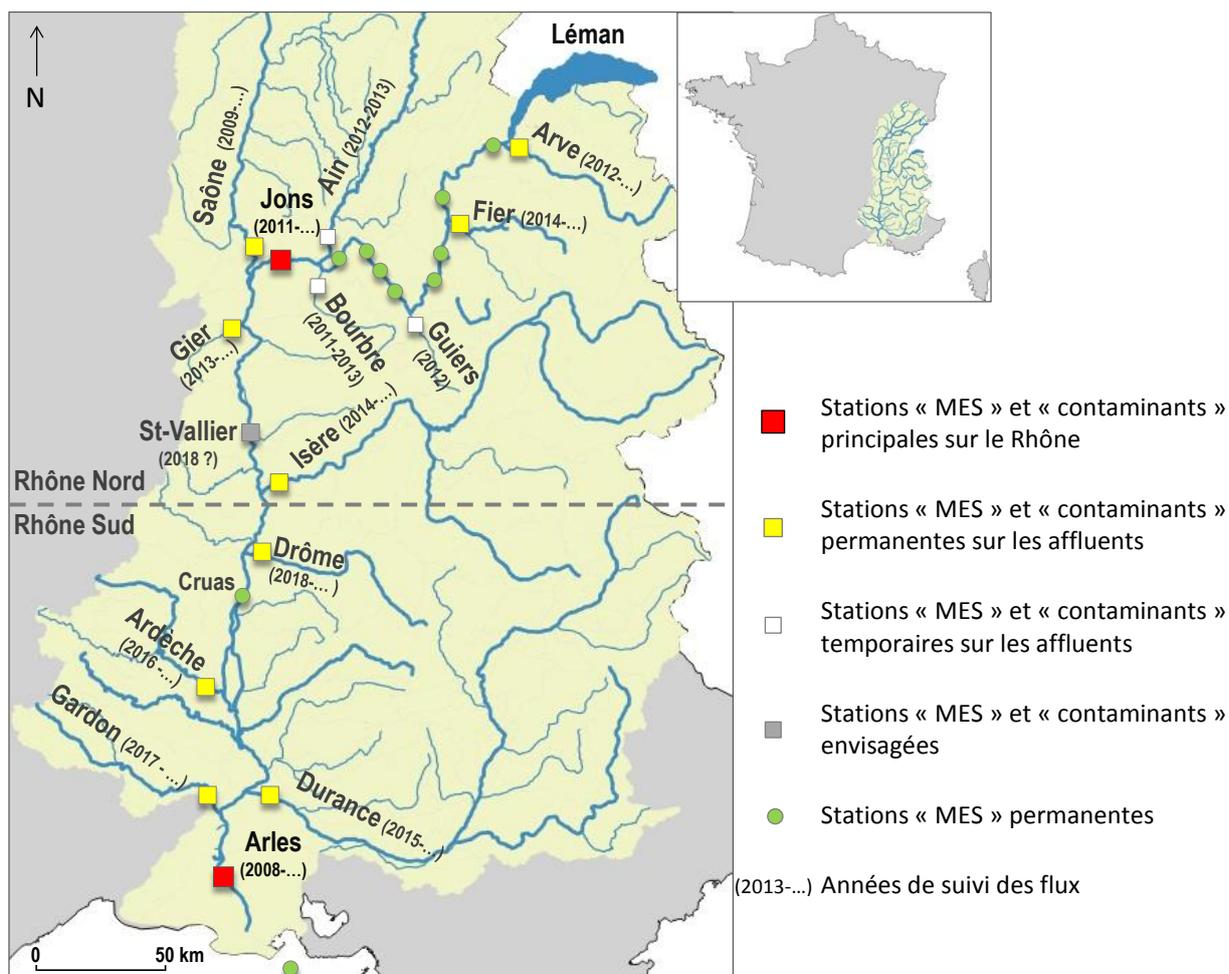


Figure 1 : Stations de suivi des concentrations en MES et en contaminants particuliers de l'OSR au 19/11/2018 (les stations « MES » sont des stations de suivi de la turbidité, sauf à Arles).

Le débit (en m^3/s) est mesuré en continu aux stations hydrométriques de la CNR (Compagnie Nationale du Rhône), de la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement), du HPCGD (Pôle Hydrométrie et Prévision des Crues Grand Delta) et de l'OFEV (Office fédéral de l'environnement Suisse). Les stations de mesure sont détaillées dans le tableau en Annexe 1.

Le débit du Rhône à Jons est calculé par Irstea avec le modèle Rhône1D de l'OSR [Dugué *et al.*, 2015] à partir des hydrogrammes du Rhône à Lagnieu (données CNR), de l'Ain à Port-Galland (données CNR non bancarisées dans BDOH) et de la Bourbre à Tignieu-Jamezieu (données DREAL ARA). Le débit du Rhône à Creys est également calculé par propagation du débit du Rhône mesuré à Pont-de-Groslée (CNR), et le débit du Rhône à Bugey est calculé par propagation du débit du Rhône mesuré à Lagnieu (CNR).

1.3. Suivi des concentrations en matières en suspension

Sur la station du Rhône à Arles, les concentrations en MES [AFNOR, 2005] sont mesurées par plusieurs partenaires (MIO/IRSN/CEREGE). Un préleveur automatique permet d'obtenir des échantillons d'eau journaliers composites et des prélèvements ponctuels plus fréquents en période de crue (4 prélèvements composites par jour). Ces échantillons sont filtrés par le MIO pour déterminer la concentration en MES (et en COP).

Toutes les autres stations sont équipées d'un capteur de turbidité (en NTU, pour Nephelometric Turbidity Unit) qui mesure l'atténuation ou la diffusion d'un signal infrarouge en raison de la présence de matières en suspension. Les données sont enregistrées en continu par le Grand Lyon, EDF ou Irstea selon les stations, à un pas de temps de dix minutes. En parallèle, un échantillonneur automatique (ISCO 3700 ou SIGMA SD900) couplé au capteur de turbidité prélève des échantillons d'eau horodatés pour la détermination des concentrations en MES par filtration et pesée [AFNOR, 2005]. Les résultats permettent d'établir une relation (ou courbe de calibration) entre la turbidité et la concentration en MES pour chaque capteur de turbidité (Figure 2). Le coefficient directeur de la droite de régression forcée par 0, appelé barème de conversion, permet de transformer la chronique de turbidité en chronique de concentration en MES, en mg/L [Thollet, 2012].

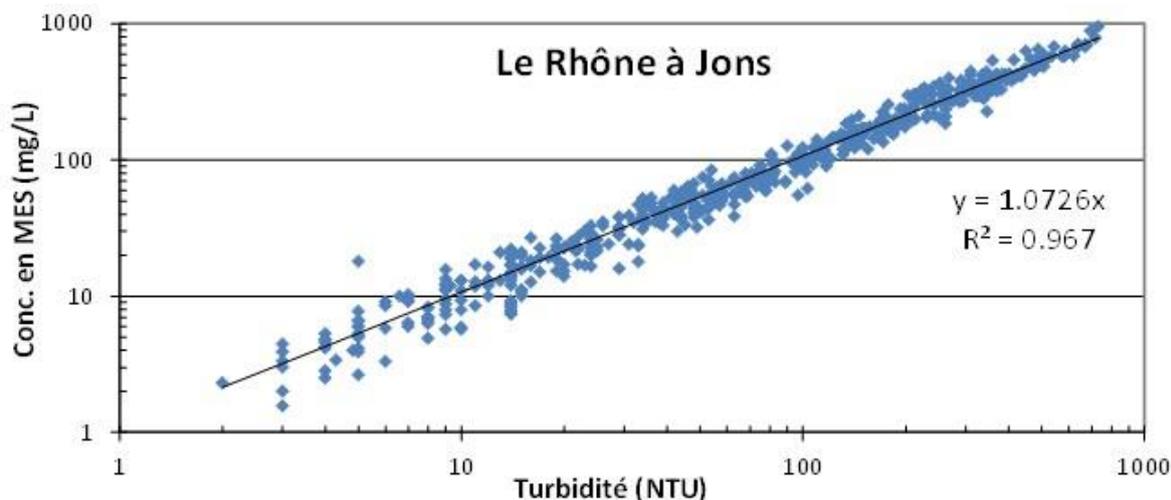


Figure 2 : Courbe de calibration du capteur de turbidité installé sur le Rhône à Jons au 03/09/2018.

Sur certaines stations (cas du Fier par exemple), la réponse du capteur de turbidité est influencée par la remobilisation de sables lors d'épisodes de crue. Le capteur de turbidité est calibré avec une relation en deux segments linéaires, construite avec le logiciel BaRatin [Le Coz *et al.*, 2014]. Ce logiciel fournit également l'incertitude de la relation turbidité/MES qui sera prise en compte, à terme, pour l'estimation des incertitudes sur les flux de MES (Figure 3).

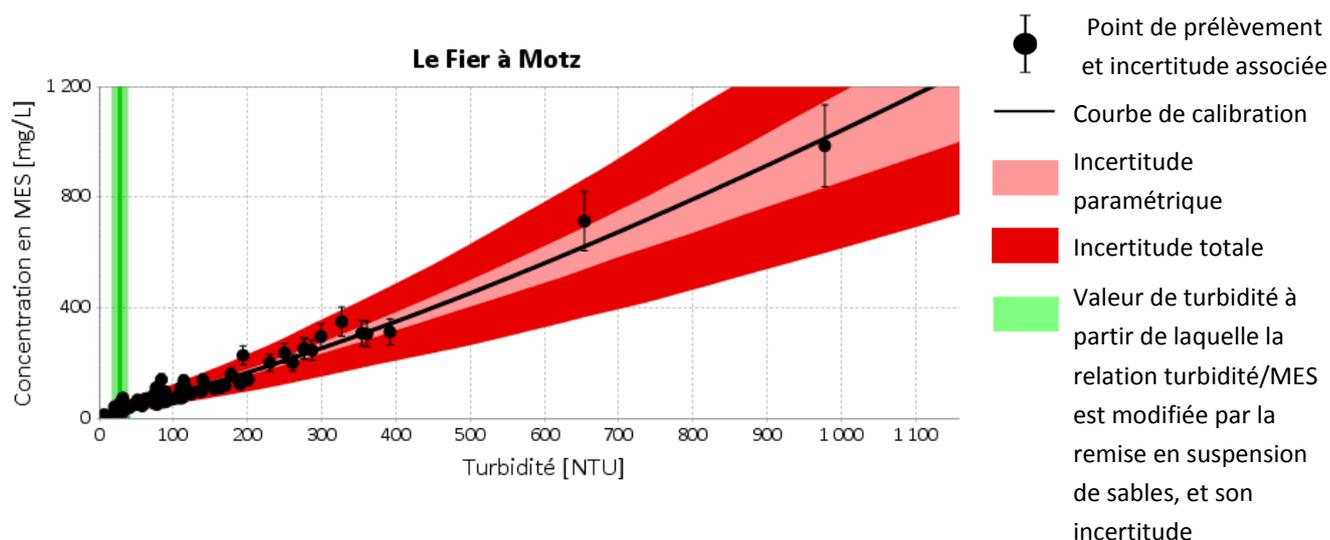


Figure 3 : Courbe de calibration du capteur de turbidité du Fier en fonctionnement depuis le 10/07/2017 établie à l'aide du logiciel BaRatin, et son incertitude au niveau de confiance à 95%. Les explications sur les incertitudes totale et paramétrique sont détaillées en Annexe 2.

Chaque barème de conversion est utilisable pour une période d'application et une plage de validité définies et peut être complété lorsque la courbe de calibration turbidité/MES du capteur de turbidité est modifiée. Lors de chaque passage sur la station pour effectuer la maintenance du capteur de turbidité (toutes les deux semaines ou tous les mois suivant les stations), un prélèvement manuel d'eau est réalisé pour l'analyse des MES. Le résultat d'analyse de MES sur cet échantillon ponctuel permet de contrôler régulièrement la chronique de MES calculée à partir des données de turbidité et du barème de conversion. Les courbes de calibration des capteurs de turbidité gérés par Irstea sont capitalisées sur le serveur informatique d'Irstea.

En période de crue, les échantillonnages d'eau par préleveur automatique sont renforcés sur toutes les stations, aussi longtemps que cela est nécessaire, pour affiner les courbes de calibration sur une gamme de turbidité élevée. Lorsque la courbe de calibration turbidité/MES est documentée avec un nombre de points suffisants sur une gamme de turbidité étendue et représentative des observations sur la station, le suivi par préleveur automatique sur les stations turbidimétriques peut être allégé.

Au 22 octobre 2018, sept stations turbidimétriques gérées par Irstea et l'Ifremer sont en activité sur des affluents du Rhône et en mer (Figure 1 et Annexe 1) :

- **l'Arve à Genève** (Suisse), station pérenne sur un affluent majeur, en fonctionnement depuis le 29/03/2012. La courbe de calibration du capteur de turbidité est construite par Irstea à partir de résultats d'analyses de MES assurées par Irstea en collaboration avec les Services Industriels de Genève (SIG). La courbe de calibration du capteur de turbidité installé le 18/02/2015 est documentée pour une gamme de turbidité comprise entre 6 et 1734 NTU. En 2018, 17 nouvelles analyses de concentration en MES ont été réalisées sur une gamme de turbidité comprise entre 15 et 1361 NTU. La courbe de calibration nécessite d'être complétée pour des valeurs de turbidité inférieures à 200 NTU ;
- **le Fier à Motz** (73), station pérenne en fonctionnement depuis le 15/04/2014. Sur cette station, la courbe de calibration du nouveau capteur de turbidité installé le 10/07/2017 est documentée pour une gamme de turbidité comprise entre 3 et 978 NTU. En 2018, 80 nouvelles analyses de concentration en MES ont été réalisées. La courbe de calibration nécessite d'être complétée pour des valeurs de turbidité inférieures à 100 NTU. En septembre 2018, l'armoire électrique de la station contenant l'alimentation en électricité, l'afficheur de turbidité et le système de télé-relève des données a été déplacée dans le bungalow de la CNR. Une nouvelle armoire électrique a été câblée pour satisfaire aux exigences de la CNR. Ce transfert permet d'abriter l'installation des intempéries et du vandalisme en vue de pérenniser le suivi de la turbidité sur cette station ;
- **la Saône à Lyon** (69), station pérenne sur un affluent majeur, en fonctionnement depuis le 02/12/2009. La courbe de calibration turbidité/MES est construite depuis janvier 2014 sur cette station. En 2018, 15 nouvelles analyses de concentration en MES ont été réalisées et la courbe de calibration a été vérifiée pour des valeurs de turbidité comprises entre 6 et 78 NTU grâce à des prélèvements réalisés en crue en janvier. Cette courbe nécessite une validation complémentaire pour une gamme de turbidité inférieure à 20 NTU. La turbidité de la Saône est enregistrée au niveau de la station de débit de la CNR, installée à la passerelle St-Georges à Lyon. Sur cette station, la mise en place d'un préleveur automatique n'est pas possible car la hauteur de pompage est trop importante avec un fort risque de vandalisme. Le préleveur automatique est donc installé environ 6 km à l'amont du capteur de turbidité sur la Saône à Caluire-et-Cuire (à 400 mètres environ en aval du pont de l'île Barbe) ;
- **le Gier à Givors** (69), station pérenne en fonctionnement depuis le 23/04/2013. En 2018, 23 nouvelles analyses de concentration en MES ont été réalisées et la courbe de calibration MES/turbidité a été complétée avec des valeurs comprises entre 3 et 98 NTU. La courbe de calibration nécessite d'être

alimentée pour une gamme de turbidité inférieure à 30 NTU. En janvier 2018, l'armoire électrique de la station contenant l'alimentation en électricité, l'afficheur de turbidité et le système de télé-relève des données a été déplacée dans le bungalow de la CNR, dans la partie allouée à la DREAL. Ce transfert permet d'abriter l'installation des intempéries et du vandalisme en vue de pérenniser le suivi de la turbidité sur cette station ;

- la **Drôme à Livron-sur-Drôme** (26), station nouvellement installée depuis le 23 octobre 2018. Le préleveur automatique pour la calibration du capteur de turbidité n'a pas encore été mis en place ;
- l'**Ardèche à Saint-Martin-d'Ardèche** (plage de Sauze) (07), station pérenne installée le 13/01/2016. La courbe de calibration est documentée pour des valeurs de turbidité comprises entre 1 et 68 NTU, grâce à l'analyse de MES sur 28 échantillons prélevés par Irstea et par le CEREGE. En 2018, les prélèvements manuels n'ont pas permis de mettre à jour la courbe de calibration car les concentrations en MES étaient très faibles et inférieures à la limite de quantification de la méthode d'analyse des concentrations en MES (<2 mg/L). Pour le moment, la courbe de calibration du capteur de turbidité contient six points au total et nécessite d'être complétée. L'éloignement géographique du site et les montées rapides de concentrations en MES rendent difficiles les prélèvements d'eau pour la construction de la courbe ;
- le **Gardon à Remoulins** (30), station pérenne installée le 20/06/2017. Pour le moment, cette nouvelle station n'est pas équipée de préleveur automatique pour calibrer le capteur de turbidité car le site n'est pas adapté à l'installation d'un tel équipement (passage fréquent de promeneurs sans possibilité d'installer le préleveur à l'abri du vandalisme et importantes montées des eaux en crue). Depuis mars 2018, des prélèvements manuels réguliers sont en cours pour calibrer le capteur de turbidité ; cependant, 6 échantillons prélevés présentent des concentrations en MES très faibles et inférieures à la limite de quantification de la méthode d'analyse (< 2 mg/L) ;
- en mer à la station **MesuRho** au large de Port-Saint-Louis-du-Rhône (13), la turbidité instantanée est mesurée par l'Ifremer toutes les 30 minutes à des profondeurs de 2,5 mètres et 18 mètres environ. Des prélèvements ponctuels sont effectués lors des rotations des sondes multi-paramètres pour calibration. Le centre Ifremer qui s'occupe de la maintenance de la station est situé à La Seyne/Mer, chaque intervention sur la station nécessite une certaine logistique. En effet l'éloignement du point de mise à l'eau et les interventions sous-marines impliquent la présence de plongeurs, de pilotes habilités (voiture et bateau) ainsi que la disponibilité du matériel sur des journées à météo favorable. Au 16 novembre 2018, 4 prélèvements de MES ont été effectués, dont 3 dans des conditions de turbidité équivalentes et faibles (<5 NTU) pour la zone. Ces prélèvements ne permettent pas la réalisation d'une courbe de calibration pour l'année 2018, mais fournissent un support à l'analyse et aux éventuelles corrections de données. La Figure 4 montre en effet un défaut sur les données de turbidité de surface pour la période de mai à septembre 2018, et une absence de données pour la période du 29 octobre au 9 novembre due à un problème sur les serveurs de redistribution des données.

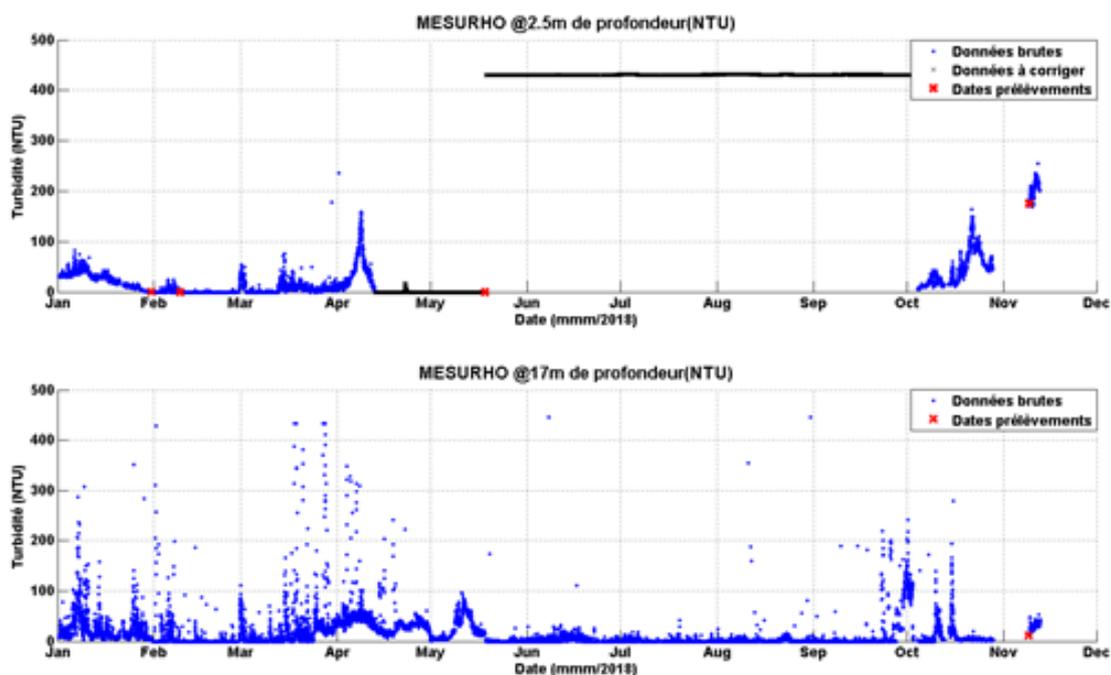


Figure 4 : Données de turbidité mesurées en 2018 à la station MesuRho toutes les 30 minutes à des profondeurs de 2,5m et de 17 m.

Plusieurs stations turbidimétriques gérées par des partenaires contribuent également aux calculs de flux de MES dans l'OSR :

- le **Rhône à Jons** (69), la maintenance du capteur de turbidité est assurée par le Grand-Lyon. La courbe de calibration, construite par Irstea, est largement documentée et contrôlée à chaque passage sur site par le biais d'analyses de MES sur des échantillons prélevés manuellement. Les 61 prélèvements d'eau réalisés pendant la crue de janvier 2018 avec le préleveur automatique ont permis de compléter la courbe pour des valeurs de turbidité comprises entre 21 et 638 NTU. Les prélèvements en régime hydrologique de base ont permis de consolider la courbe pour des valeurs de turbidité inférieures à 50 NTU ;
- l'**Isère à Beaumont-Monteux** (38), la **Durance à Bonpas** (84), le **Rhône à Creys** (38) et le **Rhône à Cruas** (07), les données de turbidité et de concentrations en MES sont transmises par EDF d'après la convention signée. Cependant, les courbes de calibration turbidité/MES ne sont pas fournies ;
- le **Rhône à Bugey** (01), les données de turbidité sont fournies par EDF sans la courbe de calibration turbidité/MES correspondante. En mai 2015, Irstea a débuté la construction d'une courbe de calibration, en prévision du suivi des flux en MES durant l'évènement de chasse de barrage de 2016 (avec une station CNR de mesure du débit située à Lagnieu, à une quinzaine de kilomètres en amont). Deux épisodes de crue ont été échantillonnés entre mai et juillet 2015. La courbe n'a pas été complétée depuis 2016 car aucun préleveur automatique n'était disponible. Cette courbe de calibration nécessite d'être alimentée pour des faibles concentrations en MES.

Le projet de station turbidimétrique sur le Rhône à Saint-Vallier, en aval de la Métropole de Lyon et de la vallée de la chimie et en amont de la confluence avec l'Isère, est toujours à l'étude par les services de la CNR pour une installation fin 2018.

Ainsi, 219 analyses de MES ont été réalisées par Irstea en 2018 pour l'étalonnage des capteurs de turbidité, toutes stations confondues (au 22 octobre 2018). Les résultats d'analyse des MES réalisées sur des échantillons d'eau prélevés manuellement permettent de vérifier de manière ponctuelle les concentrations en MES issues de la transformation de la turbidité par un barème de conversion (Figure 5).

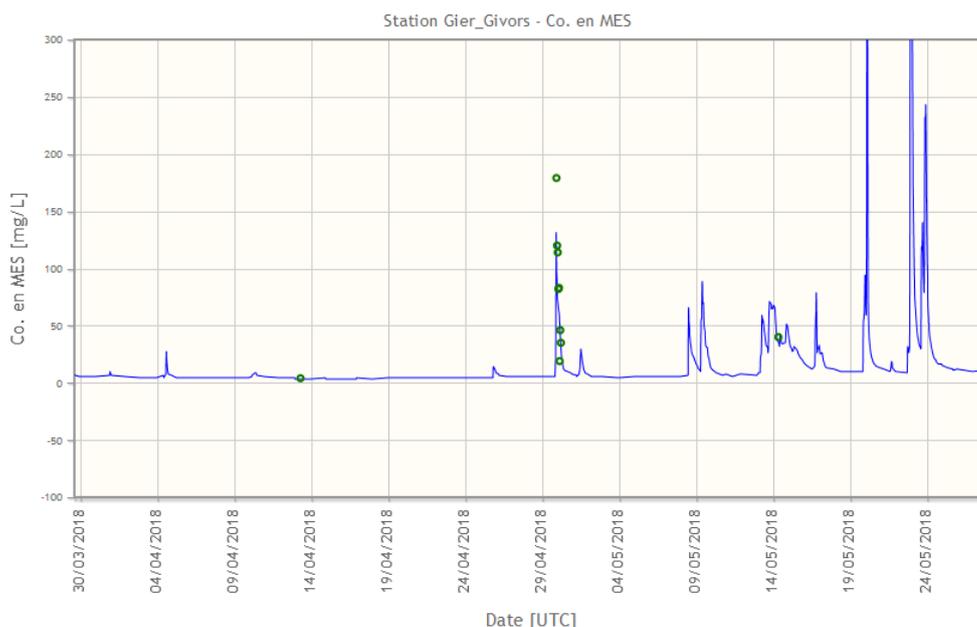


Figure 5 : Chronique de concentration en MES à Givors calculée d'après la chronique de turbidité et un barème de conversion (en bleu) et mesures des MES réalisées sur des échantillons d'eau prélevés manuellement (points verts).

Au 4 décembre 2018, 59 analyses de MES ont été réalisées par le CEREGE en 2018 sur des prélèvements ponctuels échantillonnés en 2017 et 2018 (35 échantillons du Rhône à Arles, 11 échantillons de l'Ardèche, 10 échantillons de la Durance et 3 échantillons de la Durance). A la même date, 8 analyses de MES ont été réalisées par l'IRSN en 2018 sur des prélèvements ponctuels échantillonnés en 2018 (3 échantillons de l'Ardèche, 2 échantillons de la Durance et 3 échantillons du Gardon).

1.4. Prélèvements de matières en suspension pour les analyses physico-chimiques

Les prélèvements de MES pour le suivi qualitatif sont effectués sur les stations de suivi turbidimétrique à des fréquences établies en fonction du régime hydrologique de chaque cours d'eau et de la variabilité temporelle des concentrations en MES. Afin de constituer une échantillothèque robuste, chaque prélèvement est documenté et archivé sans limitation temporelle.

Pour faciliter les échanges d'échantillons entre les équipes du Nord (Irstea) et du Sud (CEREGE, IRSN et MIO), les prélèvements de MES sont identifiés par un code normalisé qui se compose :

- du trigramme de la station ;
- du trigramme du mode de prélèvement ;
- de la date de prélèvement (ou des dates de début et de fin de prélèvement dans le cas des pièges à particules) au format AAMMJJ et des heures de prélèvement accompagnées du fuseau horaire.

Ainsi, un échantillon de MES issu de la centrifugeuse fixe de Jons prélevé le 28 février 2017 entre 9h05 et 13h30 sera nommé JON-CFI-170228-9h05 13h30(TU+1). La fiche descriptive de la dénomination des échantillons est disponible sur le site Internet de l'OSR ([pdf](#)). Ce site regroupe également les protocoles de prélèvements d'eau, d'utilisation de la centrifugeuse de Jons et de collecte des échantillons de pièges à particules (<http://www.graie.org/osr/spip.php?rubrique19>).

1.4.1. Prélèvements en régime de base

Sur les stations principales du Rhône à Jons et à Arles, des prélèvements bimensuels de MES sont réalisés à l'aide d'une centrifugeuse fixe. Ces deux stations disposent d'un équipement similaire (centrifugeuse fixe CEPA Z61) afin de collecter des échantillons de MES issus d'une même méthode de prélèvement entre le Nord et le Sud. A la station d'Arles, le prélèvement des MES pour les analyses de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma se fait par cartouche filtrante et celui pour le tritium et le carbone 14 par piège à particules émergé (voir paragraphe 1.4.2).

Sur les stations permanentes et temporaires (Figure 1), ainsi que sur la station principale de Jons, les prélèvements de MES sont réalisés à l'aide d'un piège à particules [Schulze *et al.*, 2007] afin d'échantillonner de manière intégrée, sur une longue période, les MES en régime de base et lors des pics de flux de MES. Ce dispositif nécessite une maintenance aisée et peu coûteuse. Il se présente sous la forme d'une boîte en inox 316 (40x30x25cm) percée de 3 trous sur les faces avant et arrière qui permettent de faire circuler l'eau. A l'intérieur, deux cloisons font chuter la vitesse de l'eau et entraînent la décantation des MES au fond de deux bacs amovibles (Figure 6).

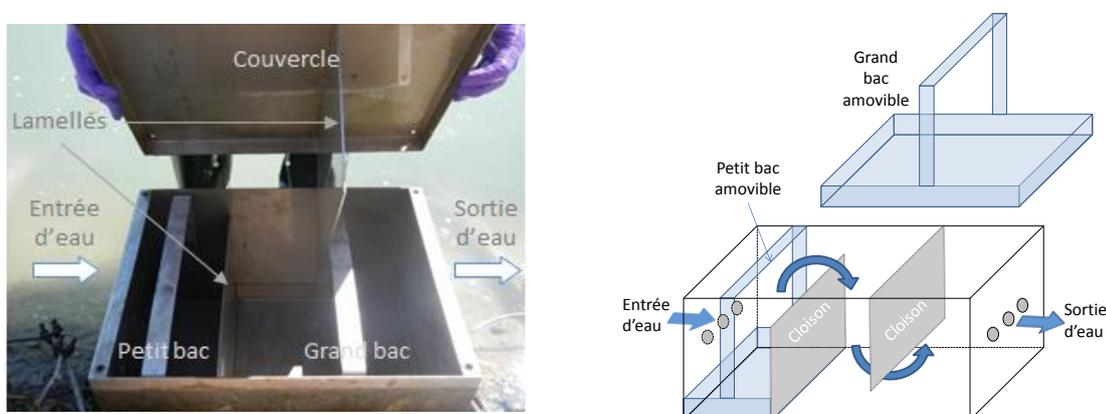


Figure 6 : Présentation d'un piège à particules immergé en inox de dimensions 40x30x25cm.

Les échantillons de MES des pièges à particules installés sur les affluents sont récupérés tous les mois. Le piège à particules installé sur la station de Jons a été relevé toutes les deux semaines entre le 22 juin 2011 et le 13 mars 2018. Ces prélèvements nécessitent un temps conséquent de préparation du matériel et de préparation des échantillons avant analyse ; pour cette raison, la fréquence d'échantillonnage à Jons a été abaissée à une fois par mois depuis le 13 mars 2018. Une étude a été menée afin de vérifier que la baisse de la fréquence d'échantillonnage n'a pas d'impact sur les tendances temporelles des concentrations en contaminants observées à Jons (cf. Chapitre 3).

Lorsque le piège est retrouvé retourné, le prélèvement est jeté car il est considéré comme non représentatif. Sur la station de Jons, la représentativité des échantillons issus du piège intégratif est validée par comparaison avec les concentrations en contaminants analysées dans des MES prélevées par centrifugation, considérées comme une référence ponctuelle.

Depuis le début de l'OSR, 13 stations ont été équipées de pièges à particules, dont 9 actuellement en activité (Tableau 1). La station de la Drôme à Livron-sur-Drôme a été récemment installée le 23 octobre 2018.

Tableau 1 : Stations sur le Rhône et ses affluents qui sont équipées ou qui ont été équipées d'un piège à particules et/ou d'une centrifugeuse pour la collecte de MES depuis le début du programme OSR en 2011. La fréquence de collecte est indiquée pour un régime hydraulique de base.

Cours d'eau	Localisation	Mode de prélèvement	Date de démarrage	Date d'arrêt	Fréquence de collecte
Arve	Genève (Suisse)	Piège à particules	12/11/12	25/08/14	Mensuelle
Fier	Motz (73)	Piège à particules	05/03/14	En fonctionnement au 24/10/18	Mensuelle
Guiers	Belmont-Tramonet (73)	Piège à particules	05/04/12	19/07/12	Mensuelle
Bourbre	Tignieu-Jamezyieu (38)	Piège à particules	15/11/11	28/08/13	Mensuelle
Ain	Chazey-sur-Ain (01)	Piège à particules	20/07/12	28/01/13	Mensuelle
Rhône	Jons (69)	Piège à particules et centrifugeuse	22/06/11	En fonctionnement au 24/10/18	Mensuelle depuis le 13/03/18, toutes les 2 semaines avant.
Saône	Lyon (69)	Piège à particules	02/08/12	En fonctionnement au 24/10/18	Mensuelle
Gier	Givors (69)	Piège à particules	23/04/13	En fonctionnement au 24/10/18	Mensuelle
Isère	Beaumont-Montoux (38)	Piège à particules	09/09/14	En fonctionnement au 24/10/18	Mensuelle
Drôme	Livron-sur-Drôme (26)	Piège à particules	23/10/18	En fonctionnement au 24/10/18	Mensuelle
Ardèche	Saint-Martin-d'Ardèche (07)	Piège à particules	01/03/16	En fonctionnement au 24/10/18	Mensuelle
Durance	Bonpas (84)	Piège à particules	14/10/15	En fonctionnement au 24/10/18	Mensuelle
Gardon	Remoulins (30)	Piège à particules	15/11/17	En fonctionnement au 24/10/18	Mensuelle
Rhône	Arles (13)	Centrifugeuse (CEREGE) et piège à particules (IRSN)	18/05/2011	En fonctionnement au 24/10/18	Toutes les 2 semaines

1.4.2. Prélèvements en régime de crue

Le suivi du Rhône et de ses affluents est intensifié durant un épisode de crue afin d'échantillonner l'évènement le plus finement possible (montée, pic/plateau et décrue). Le seuil de crue de chaque station correspond à la moitié de la valeur de son débit de crue biannuelle (période de retour deux ans, Q2). Les seuils de crue sont détaillés en Annexe 3. Il faut noter qu'il est très difficile d'assurer la collecte de tous les affluents lors des crues rapides d'une durée d'un à deux jours.

Plusieurs évènements hydrologiques ont été échantillonnés en crue en 2018 (Tableau 2).

Ainsi, au 24 octobre 2018, 5 évènements de crues ont été suivis sur la station du Rhône à Jons, 3 sur la station du Rhône à Arles, 6 sur les affluents du Nord (Fier, Saône et Isère) et 2 sur les affluents du Sud (Durance et Ardèche).

Tableau 2 : Synthèse des prélèvements de MES réalisés en crue en 2018 sur les stations du Rhône et ses affluents, avec les dates de prélèvement et le débit moyen observé sur la période de prélèvement.

Station	Date du prélèvement (TU+01)	Mode de prélèvement	Débit moyen (m ³ /s)	Date de dépassement du seuil (TU+01)	Débit maximal et date (TU+01)
Rhône à Jons	19/12/17 - 16/01/18	3 pièges à particules	1072 m ³ /s	27/12/17 19:00 - 15/01/18 19:00	2708 m ³ /s (06/01/18 00:00)
Saône à Lyon	19/12/17 - 27/02/18	4 pièges à particules	1220 m ³ /s	19/02/17 12:00 - 22/12/17 15:00 01/01/18 08:00 - 10/02/18 20:00 18/02/18 04:00 - 24/02/18 07:00	2138 m ³ /s (31/01/18 12:00)
Rhône à Jons	03/01/18 10:40-12:30	Centrifugation	1450 m ³ /s	03/01/18 10:40-12:30	1461 m ³ /s (03/01/18 10 :00)
Rhône à Jons	05/01/18 09:51-10:31	Centrifugation	2496 m ³ /s	05/01/18 09:51-10:31	2514 m ³ /s (05/01/18 11:00)
Rhône à Arles	08/01/18 11:00-11:15	Centrifugation	3546 m ³ /s		
Rhône à Arles	10/01/18 11:10-11:45	Centrifugation	3449 m ³ /s		
Rhône à Arles	13/01/18 11:30-12:05	Centrifugation	2966 m ³ /s		
Fier Motz	21/12/17 - 15/03/18	2 pièges particules	83 m ³ /s	30/12/17 19:00 - 06/01/18 15:00 17/01/18 06:00 - 24/01/18 00:00 17/02/18 18:00 - 18/02/18 04:00	677 m ³ /s (04/01/18 21:00)
Rhône à Jons	22/01/18 15:00-15:40	Centrifugation	2203 m ³ /s	22/01/18 15:00-15:40	2218 m ³ /s (22/01/18 16:00)
Rhône à Arles	29/01/18 11:30-12:15	Centrifugation	3849 m ³ /s		
Rhône à Jons	30/01/18 09:35-13:35	Centrifugation	1192 m ³ /s	30/01/18 09:35-13:35	1207 m ³ /s (30/01/18 09:00)
Rhône à Jons	30/01/18 - 27/02/18	2 pièges à particules	803 m ³ /s	30/01/18 12:00 - 06/02/18 06:00 16/02/18 17:00 - 22/02/18 04:00	1384 m ³ /s (18/02/18 10:00)
Rhône à Jons	13/03/18 - 10/04/18	Piège à particules	806 m ³ /s	13/12/17 12:00 - 20/03/18 18:00 29/03/18 12:00 - 01/04/18 11:00 03/04/18 11:00 - 10/04/18 12:00	1217 m ³ /s (31/03/18 07:00)
Rhône à Jons	13/03/18 11:28-14:40	Centrifugation	844 m ³ /s	13/03/18 11:28-14:40	892 m ³ /s (13/03/18 15:00)
Rhône à Arles	13/03/18 10:20-11:20	Centrifugation	3165 m ³ /s		
Rhône à Arles	19/03/18 12:00-12:30	Centrifugation	3361 m ³ /s		
Saône à Lyon	13/03/18 - 10/04/18	2 pièges à particules	1100 m ³ /s	13/03/18 12:00 - 26/03/18 03:00 30/03/18 15:00 - 09/04/18 14:00	1624 m ³ /s (20/03/18 17:00)
Rhône à Jons	10/04/18 08:53-12:57	Centrifugation	861 m ³ /s	10/04/18 08:53-12:57	863 m ³ /s (10/04/18 13:00)
Rhône à Jons	07/06/18 09:14-12:29	Centrifugation	947 m ³ /s	07/06/18 09:14-12:29	953 m ³ /s (10/04/18 09:00)
Isère à Beaumont-Monteux	22/05/18 - 10/07/18	2 pièges à particules	583 m ³ /s	22/05/18 11:00 - 20/06/18 13:00	1012 m ³ /s (13/06/18 14:00)
Rhône à Jons	07/05/18 - 20/06/18	2 pièges à particules	778 m ³ /s	14/05/18 13:00 - 19/05/18 00:00 01/06/18 05:00 - 19/06/18 07:00	1220 m ³ /s (14/06/18 07:00)
Durance à Bonpas	13/02/18 - 22/03/18	Piège à particules	181 m ³ /s	12/03/18 08:00 - 13/03/18 17:00 16/03/18 12:00 - 19/03/18 03:00	700 m ³ /s (16/03/18 18:00)
Ardèche à St-Martin-d'Ardèche	15/03/18 - 19/04/18	Piège à particules	170 m ³ /s	15/03/18 15:00 - 16/03/18 02:00	1430 m ³ /s (15/03/18 18:00)
Rhône à Arles	21/12/17 - 06/02/18	2 pièges à particules	2854 m ³ /s	04/01/18 18:00 - 14/01/18 01:00 21/01/15 23:00 - 06/02/18 03:00	4793 m ³ /s (27/01/18 15:00)

Les prélèvements en crue peuvent s'effectuer à l'aide :

- d'une centrifugeuse fixe au niveau des stations du Rhône à Jons et à Arles ;
- d'un banc de cartouche filtrante à la station d'Arles pour l'analyse des radionucléides émetteurs de rayonnement gamma ;
- d'un piège à particules intégratif sur les affluents du Rhône-Nord, le Rhône à Jons, l'Ardèche, la Durance, le Gardon et le Rhône à Arles (piège à particules géré par l'IRSN pour la collecte d'une grande quantité de MES nécessaire à l'analyse des radionucléides). Dans ce cas, le contenu du piège déjà en place est collecté, si possible, avant l'évènement afin de recueillir les MES provenant uniquement de la crue ;
- de prélèvements ponctuels de 15 L sur la Cèze, la Durance et le Gardon. Les MES sont ensuite récupérées au laboratoire à l'aide d'une centrifugeuse à godets.

Depuis 2015, Irstea dispose d'une nouvelle centrifugeuse mobile pour assurer des prélèvements en crue. Les tests menés en 2017 sur ce nouvel équipement avaient mis en évidence un débit de sortie trop faible par rapport à celui attendu (3L/min contre 12L/min supposés). La fabrication d'une nouvelle turbine, la pièce qui évacue l'eau clarifiée sous pression, n'avait pas permis d'atteindre le débit entrant souhaité. En février 2018, la centrifugeuse a donc été rapportée chez le fournisseur Centrimax en Allemagne pour une inspection complète. La forme de certaines pièces a été ajustée par le fournisseur et le débit entrant de 12 L/min est désormais atteint (tests réalisés le 7 juin 2018 sur la station du Rhône à Jons). La mutualisation de cet équipement entre les partenaires de l'OSR permettra d'effectuer des prélèvements de contrôle en situations hydrologiques variées (base, crue, chasse, saison, ...), sur le linéaire du Rhône et ses principaux affluents.

1.4.3. Bilan des prélèvements réalisés en 2018

La synthèse des échantillons prélevés en régime de base et en crue en 2018 est présentée par affluent et par technique de prélèvement dans le Tableau 3. Les prélèvements intégratifs à l'aide de cartouches filtrantes sont réalisés uniquement pour l'IRSN pour la mesure des radionucléides.

Tableau 3 : Nombre d'échantillons de MES prélevés en 2018 pour les analyses physico-chimiques sur chaque station (bilan au 22/11/2018) [nombre d'échantillons prélevés en crue].

Station	Nombre d'échantillons de MES prélevés et méthode de prélèvement				TOTAL	Nombre d'interventions sur la station
	Centrifugeuse fixe (ponctuel ~4h)	Centrifugeuse mobile (ponctuel ~4h)	Piège à particules (intégratif)	Cartouche filtrante (intégratif)		
Le Fier à Motz			11 [2]		11 [2]	13
Le Rhône à Jons	17 [7]	1 [1]	16 [8]		34 [16]	19
La Saône à Lyon			16 [6]		16 [6]	20
Le Gier à Givors			12		12	13
L'Isère à Beaumont-Montoux			7 [2]		7 [2]	9
La Drôme à Livron-sur-Drôme			1		1	4
L'Ardèche à St-Martin-d'Ardèche			9 [1]		9 [1]	9
La Durance à Bonpas			7 [1]		7 [1]	8
Le Gardon à Remoulins			4		4	7
Le Rhône à Arles	22 [6]		7 [3]	30 [22]	59 [31]	22
TOTAL	39 [13]	1 [1]	90 [23]	30 [22]	160 [59]	124

D'après la convention établie entre Irstea et EDF, les échantillons de l'Isère sont prélevés par EDF. Depuis novembre 2015, cette prestation est sous-traitée à Ineo Rhône-Alpes-Auvergne, basé à Grenoble, qui se rend sur la station une fois par mois. Les échantillons sont congelés par Ineo le soir du prélèvement, et récupérés à Grenoble par Irstea tous les trois mois environ. Cependant, les dates d'intervention sont fixées par Ineo plusieurs mois à l'avance sans tenir compte du régime hydrologique du cours d'eau. Lors du passage sur le site, le piège n'est pas relevé lorsque la hauteur d'eau est trop importante et la collecte de l'échantillon est reportée au mois suivant. Les échantillons mensuels entre janvier et mai 2018 n'ont donc pas été prélevés. Afin de garantir un prélèvement mensuel, la gestion du piège de l'Isère a été reprise par Irstea depuis le 24 avril 2018.

L'échantillon de MES prélevé à Jons par piège à particules entre les 16 et 30 janvier 2018 est manquant car le flacon s'est cassé sur le terrain.

Le piège à particules installé sur la Saône était inaccessible entre le 16 janvier 2018 et le 13 février 2018 à cause d'une crue ; l'échantillon a donc été prélevé sur une période supérieure à 1 mois (42 jours).

Le piège à particules installé sur le Gardon à Remoulins a été provisoirement démonté entre le 29 mai 2018 et le 12 septembre 2018 pour éviter le vandalisme pendant la saison touristique.

Par manque de personnel au CEREGE entre février et juin 2018, les pièges à particules installés sur l'Ardèche et la Durance ont été relevés par l'IRSN.

Sur la Durance, un trop haut niveau d'eau les jours de collecte prévus par le service de l'IRSN a rendu difficile le prélèvement à partir du 22 mars 2018. Côté CEREGE, la première campagne n'a pu être effectuée avant le 11 juillet 2018 ; l'échantillon a donc été prélevé sur une période supérieure à 1 mois (111 jours).

A noter que le piège à particule sur la Durance a subi un acte de vandalisme durant le mois d'août (vols de mousqueton en inox), mais le piège a pu rester en place dû au niveau d'eau assez bas.

Le piège à particule sur l'Ardèche n'a pas pu être prélevé entre le 19 avril 2018 et le 11 juillet 2018 ; l'échantillon a donc été prélevé sur une période supérieure à 1 mois (59 jours).

1.5. Analyses physico-chimiques

1.5.1. Les paramètres analysés

Une réflexion sur le choix des substances à suivre dans l'OSR a été menée dans le programme OSR 3 [Coquery *et al.*, 2015, paragraphe 2, Choix des paramètres et substances à analyser]. Les critères de décision ont porté en priorité sur les substances hydrophobes et prioritaires ou dangereuses réglementées [E.C, 2000 ; E.C, 2013], et les plus fréquemment quantifiées à partir de données existantes. La sélection des contaminants d'intérêt s'est ensuite basée sur les capacités des laboratoires des partenaires scientifiques impliqués dans l'OSR, en prenant en compte les performances des méthodes analytiques et spécifiquement les limites de quantification pour les micropolluants pré-ciblés en fonction des concentrations attendues dans les MES. Le nombre de micropolluants ciblés a été limité en fonction du budget disponible.

En 2018, les analyses « historiques » des paramètres déjà listés lors du précédent programme OSR ont été poursuivies par les partenaires scientifiques : éléments trace métalliques (ETM), radionucléides, carbone organique particulaire (COP), analyses élémentaires (CHN) et granulométrie (Tableau 4). L'étude des concentrations en polychlorobiphényles (PCB) et en polybromodiphényléthers (PBDE) n'a pas été poursuivie en 2018. Les paramètres analysés et les méthodes d'analyse, avec les performances associées (LQ, incertitudes) sont décrits en Annexe 4.

Tableau 4 : Paramètres analysés, nombre de substances par famille et laboratoires impliqués.

Analyse	Laboratoire partenaire
Mercure	Irstea
Eléments traces métalliques (ETM) (8)	CEREGE
Radionucléides (12)	IRSN
Carbone organique particulaire (COP)	Irstea et IRSN (Rhône Nord et Rhône Sud)
Carbone Hydrogène Azote (CHN)	Analyses complètes réalisées par l'IRSN sur les échantillons prélevés à Arles. L'hydrogène est analysé par l'IRSN sur les échantillons de Jons en complément de l'analyse du Tritium organiquement lié (TOL)
Granulométrie	Irstea et CEREGE (Rhône Nord et Rhône Sud)

Les 8 éléments traces métalliques suivis en priorité par le CEREGE sont le cadmium, le nickel, le plomb (métaux prioritaires ciblés par la DCE pour l'atteinte du bon état chimique des cours d'eau), l'arsenic, le cuivre, le zinc, le chrome (métaux ciblés par la DCE pour l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau) et le cobalt (substance complémentaire pertinente à surveiller).

Les radionucléides sur la phase particulaire suivis par l'IRSN sont les principaux radionucléides émetteurs de rayonnement gamma : ^{228}Ac , ^7Be , ^{40}K , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs . En fonction de la quantité de matière disponible, des analyses de tritium organiquement lié (TOL) et de carbone 14 (^{14}C) sont également prévues.

Les données relatives à chaque analyse (méthode, contrôles qualité, résultats, limites de quantification, ...) sont archivées sans limitation de durée par les laboratoires des partenaires scientifiques. Elles sont disponibles, pour certaines, dans l'espace privé du site Internet de l'OSR (<http://www.graie.org/osr/>).

1.5.2. Les échantillons analysés

Pour chacun des laboratoires des partenaires scientifiques, le nombre d'analyse à réaliser est défini dans la convention du programme de l'OSR 5 comme suit :

- 60 analyses de mercure, granulométrie et COP sont prévues par Irstea en 2018, soit un échantillon mensuel par station ;
- 120 analyses d'ETM au maximum sont prévues par le CEREGE en 2018. Les ETM sont analysés sur tous les échantillons du Rhône à Jons et à Arles prélevés à la centrifugeuse fixe, sur les prélèvements intégrés par pièges à particules sur les affluents ainsi que sur les prélèvements ponctuels sur les affluents en période de crue. 50 analyses de granulométrie sont prévues sur les prélèvements bimensuels à Arles et sur les prélèvements ponctuels et par pièges à particules sur les affluents ;
- 26 analyses de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma au maximum sont prévues par l'IRSN en 2018, ainsi que 16 analyses de TOL et de ^{14}C . L'analyse des radionucléides est contrainte par la quantité de matière disponible (un minimum de 20 g est nécessaire) ;
- 16 analyses de CHN (carbone, hydrogène, azote) sont prévues par l'IRSN sur les échantillons sélectionnés pour l'analyse du TOL et du ^{14}C .

Il n'est pas possible, ni forcément nécessaire, d'analyser en temps réel tous les échantillons prélevés. Le choix des échantillons à analyser est déterminé en fonction du nombre d'analyses, de la quantité d'échantillon disponible, du régime hydrologique du cours d'eau durant le prélèvement ainsi que du budget disponible.

Sur les échantillons prélevés par Irstea, le COP et la granulométrie sont systématiquement analysés car ils permettent, si besoin, d'effectuer une normalisation des teneurs en contaminants organiques et inorganiques, pour l'interprétation des résultats. La correction du biais granulométrique pour les pièges à particules est inutile lorsque le piège est soumis à des conditions d'exposition adéquates, ce qui est toujours le cas sauf à l'aval des barrages lors des opérations de chasse [Launay, 2014 ; Masson *et al.*, 2018]. La granulométrie est également mesurée systématiquement au CEREGE sur les prélèvements du Sud.

Pour les échantillons prélevés à Arles, le CHN est analysé par l'IRSN sur les échantillons de pièges à particules, et le COP par le MIO sur des échantillons d'eau prélevés par préleveur automatique.

Analyse des échantillons prélevés en 2017

Le Tableau 5 présente le nombre d'analyses réalisées ou en cours de réalisation en 2018 sur les échantillons de MES prélevés en 2017.

Tableau 5 : Nombre d'échantillons de MES prélevés en 2017 et analysés en 2018 (bilan au 22/11/2018) [total des analyses réalisées sur les échantillons de 2017].

Paramètre	Fier	Jons	Saône	Gier	Isère	Ardèche	Durance	Gardon	Arles	TOTAL
Nombre total d'échantillons prélevés par tous les partenaires scientifiques	12	54	15	13	5	9	7	1	25	141
Nombre d'échantillons disponibles au CEREGE	12	54	15	13	5	9	7	1	25	141
Nombre d'échantillons disponibles à Irstea	12	54	15	13	5	6	6	1	25	137
Mercure	2 [12]	9 [54]	3 [15]	2 [13]	2 [5]	3 [6]	3 [6]	1 [1]	8 [25]	33 [141]
ETM	4 [4]	25 [28]	12 [12]	4 [5]	3 [3]	3 [7]	3 [3]	0 [0]	13 [22]	67 [84]
Radionucléides gamma	3 [3]	9 [9]	3 [3]	4 [4]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	0 [0]	6 [6]	31 [31]
CHN (IRSN)	3 [7]	9 [14]	3 [7]	4 [6]	2 [5]	2 [2]	2 [2]	0 [0]	6 [44]	31 [87]
COP (Irstea)	2 [12]	9 [54]	3 [15]	2 [13]	2 [5]	3 [6]	3 [6]	1 [1]	0 [11]	25 [127]
Granulométrie	1 [12]	10 [54]	3 [15]	1 [13]	2 [5]	2 [9]	4 [7]	0 [0]	11 [25]	34 [140]

Le bilan total des analyses réalisées sur les échantillons de MES prélevés en 2017 (c'est-à-dire la somme des analyses réalisées en 2018 et en 2017, cf. Le Bescond *et al.*, 2017, partie 3.2.2) est le suivant :

- le mercure a été analysé sur tous les échantillons prélevés en 2017 et disponibles à Irstea (141 analyses) ;
- le COP a été analysé par Irstea dans 127 échantillons prélevés en 2017. Sur les 25 échantillons d'Arles disponibles à Irstea, le COP a été analysé par Irstea sur 11 échantillons ;
- la granulométrie a été réalisée par Irstea sur l'ensemble des prélèvements du Rhône Nord (99 échantillons). La granulométrie a été réalisée par Irstea sur 2 des 9 échantillons de MES prélevés sur l'Ardèche en 2017. La granulométrie a été réalisée sur l'ensemble des prélèvements du Rhône Sud par le CEREGE (41 échantillons), à l'exception de l'échantillon prélevé sur le Gardon ;
- les analyses d'ETM ont été effectuées sur 50 échantillons disponibles au CEREGE pour les stations du Rhône à Jons et Arles prélevés par centrifugation uniquement. Pour les MES prélevées sur les affluents, les ETM ont été analysés dans 34 échantillons sur les 62 échantillons disponibles au CEREGE. Pour les MES prélevées en 2016 sur les affluents, des analyses ont été effectués sur 12 échantillons de 2016 des affluents de l'Isère (2 analyses) et de la Saône (10 analyses) ;
- les radionucléides émetteurs de rayonnement gamma ont été analysés à l'IRSN sur 87 échantillons de 2017, dont 44 échantillons analysés dans le cadre de la surveillance à Arles ;
- l'analyse élémentaire CHN a été effectuée à l'IRSN sur les échantillons en complément des analyses de TOL, le pourcentage d'hydrogène étant nécessaire pour corriger les valeurs de mesures.

Analyse des échantillons prélevés en 2018

Le Tableau 6 récapitule le nombre d'analyses réalisées en 2018 sur les échantillons de MES prélevés en régime de base et en crue en 2018.

Tableau 6 : Nombre d'échantillons de MES prélevés en régime de base ou en crue en 2018, analysés ou en cours d'analyse au 22/11/2018.

Paramètre	Statut	Fier	Jons	Saône	Gier	Isère	Drôme	Ardèche	Durance	Gardon	Arles	TOTAL
Nombre total d'échantillons prélevés au 22/11/18 par tous les partenaires		11	34	16	12	7	1	9	7	4	59	160
Nombre d'échantillons disponibles au CEREGE		9	28	13	9	4	0	6	5	3	45	122
Nombre d'échantillons disponibles à Irstea		11	34	16	12	7	1	5	5	3	25	119
Mercuré (Irstea)	Analysés	9	28	13	9	4	0	4	3	3	23	96
	En cours d'analyse	1	4	2	2	2	0	1	2	0	2	16
COP (Irstea)	Analysés	9	28	13	9	4	0	4	3	3	/	73
	En cours d'analyse	1	4	2	2	2	0	1	2	0	/	14
ETM (CEREGE)	Analysés	0	15	1	0	0	0	1	0	0	4	21
	En cours d'analyse	0	7	5	0	0	0	3	5	2	7	29
Radionucléides gamma (IRSN)	En cours d'analyse	5	9	5	2	1	0	3	2	3	30	60
CHN (IRSN)	Analysés	5	9	5	2	1	0	3	2	3	7	37
Granulométrie	Analysés	0	0	0	0	0	0	3	2	0	3	8

Le mercure a été analysé (96) ou est en cours d'analyse (16) pour 112 échantillons sur les 119 disponibles à Irstea. Les 7 échantillons restants sont en attente de lyophilisation.

Au 22 novembre 2018, la distribution granulométrique n'a pas encore été analysée sur les échantillons de MES du Rhône Nord prélevés en 2018 à cause d'une panne de l'appareil (perte de puissance d'un des deux lasers). Les échantillons bruts de MES conservés réfrigérés à Irstea seront analysés dès que le granulomètre sera de nouveau opérationnel. L'analyse granulométrique a été réalisée par le CEREGE sur 3 échantillons prélevés régulièrement sur les stations d'Arles, et par l'IRSN sur 3 échantillons de l'Ardèche et 2 échantillons de la Durance.

Le COP a été analysé (73) ou est en cours d'analyse (14) par Irstea sur 87 échantillons de MES prélevés en 2018. Les 7 échantillons restants sont en attente de lyophilisation. Le COP n'est pas analysé par Irstea sur les échantillons d'Arles (7 prélevés par piège à particules et 18 prélevés par centrifugation).

En 2018, 9 échantillons prélevés sur Jons et 13 échantillons prélevés sur les affluents du Rhône ont été transmis à l'IRSN (5 sur le Fier, 2 sur le Gier, 1 sur l'Isère et 5 sur la Saône). 67 analyses de radionucléides émetteurs de rayonnement gamma sont en cours de réalisation à l'IRSN.

En 2018, Irstea a initié une réflexion sur la conservation à long terme des échantillons de MES. Une enceinte à -80°C a été achetée afin d'optimiser les conditions de stockage des échantillons dans le temps pour permettre, en fonction des besoins et de l'avancée du développement de nouvelles techniques analytiques, de les analyser ultérieurement sans détérioration. Tous les échantillons obtenus depuis le début du programme OSR seront prochainement transférés dans ce congélateur. Le suivi des échantillons contenus dans ce congélateur s'effectuera grâce au logiciel Web Collec-Science (<https://www.collec-science.org/>), développé par Irstea-Bordeaux.

1.6. L'outil BDOH pour la bancarisation des données

1.6.1. Présentation

La Base de Données des Observatoires en Hydrologie (BDOH) a été développée par Irstea pour gérer, bancariser et mettre à disposition des données hydrologiques et biogéochimiques issues des observatoires de long terme [Branger *et al*, 2014]. Les données issues du réseau d'observation des flux particuliers et de contaminants associés obtenues dans le cadre du programme de l'OSR sont stockées dans la base de données BDOH et accessibles sur une page spécifique à l'adresse suivante : <https://bdoh.irstea.fr/OBSERVATOIRE-DES-SEDIMENTS-DU-RHONE/>

Des conventions bilatérales entre Irstea et chaque producteur de données ont été établies pour définir les modalités de mise à disposition de ces données. Actuellement :

- les conventions ont été signées par EDF (2014) et Grand-Lyon (2015) ;
- les conventions avec la CNR et l'OFEV ne sont toujours pas signées ;
- la convention DREAL ARA est signée, mais Irstea n'a pas réussi à récupérer l'original ;
- une convention avec l'Agence n'est pas nécessaire car ces données sont publiques.

BDOH permet de calculer des chroniques de flux particuliers et de contaminants associés en combinant les mesures de débit, de MES et de contaminants particuliers issues d'une même station, ou d'une station proche par propagation du débit par exemple. La présentation de la méthode de calcul des flux de contaminants associés aux MES est détaillée dans le chapitre 2 du livrable « *Bilan actualisé des flux particuliers du Rhône* » [Poulier *et al.*, 2018a].

Les chroniques mesurées de concentration (MES et contaminants) et les chroniques calculées de flux sont consultables directement à travers l'interface Web. L'utilisateur peut définir la période sur laquelle il souhaite calculer un flux instantané ou un cumul de MES et/ou de contaminants associés.

Calcul de flux

Une chronique instantanée de **flux de MES** est obtenue en multipliant la chronique mère de débit d'une station donnée par la chronique de concentration en MES correspondante. Pour ce calcul, les actions effectuées directement dans BDOH sont les suivantes :

- chaque chronique de turbidité est convertie en chronique de concentrations en MES par l'application d'un barème de conversion turbidité/MES établi pour chaque station et chaque capteur de turbidité (cf. partie 3 « Suivi des concentrations en matières en suspension »). Les barèmes de conversion utilisés sont stockés dans BDOH pour une période d'application et une plage de validité définies et peuvent être complétés lorsque la courbe de calibration turbidité/MES du capteur de turbidité est modifiée ;
- la chronique de concentration en MES, calculée à partir de la chronique de turbidité, est multipliée par la chronique de débit à la station correspondante pour obtenir une chronique de flux de MES. Les deux chroniques mères sont mises au même pas de temps par interpolation linéaire à la seconde près entre deux points, pour ne pas perdre d'information.

Pour calculer une chronique instantanée de **flux de contaminant**, la chronique discontinue de concentration en contaminant particulière (données mesurées) est transformée en chronique continue, en supposant que

les concentrations varient linéairement entre deux valeurs mesurées successives. Chaque valeur est reliée à la suivante par un palier centré sur le point de prélèvement à l'aide d'un script développé avec le logiciel R. Une période de lacune est identifiée dans la chronique lorsque la fréquence de suivi régulier n'a pas été respectée, par omission d'un prélèvement (panne de la centrifugeuse, piège renversé) ou d'une analyse (tous les échantillons prélevés ne sont pas systématiquement analysés). Ainsi, les chroniques temporelles des concentrations en contaminants issues de centrifugation sont considérées lacunaires au-delà de 14 jours entre deux données. Les chroniques temporelles de concentrations en contaminants issues du piège à particules sont jugées incomplètes dès lors que la date de mise à l'eau d'un piège à particules diffère de la date de collecte de l'échantillon précédent. En général, il est préférable de construire une chronique continue de concentrations en contaminants particulaires à partir des résultats du piège à particules, avec vérification par des prélèvements ponctuels (centrifugeuse), ou de considérer des teneurs moyennes par année ou par type de régime hydrologique.

Une chronique de flux de contaminant particulaire instantané est obtenue directement dans BDOH en multipliant cette chronique continue de concentration en contaminant particulaire par la chronique de flux instantané de MES précédemment calculée à cette station. Les périodes de calculs de flux instantanés de contaminants dépendent de la réalisation des analyses, liée à la disponibilité de l'échantillon (étape de traitement de l'échantillon et envoi au partenaire scientifique en charge de l'analyse) et à l'état d'avancement de l'analyse en elle-même. Les calculs de flux annuels sont détaillés dans le livrable « *Bilan actualisé des flux particuliers du Rhône* » [Poulier *et al.*, 2018a].

Estimation des chroniques lacunaires

Les chroniques temporelles acquises en continu sur les stations d'observation sont généralement incomplètes. L'absence de données peut provenir de données invalidées car jugées aberrantes lors de la validation ou de lacunes causées par une panne de capteur ou du système de prélèvement par exemple. Ces lacunes sont propagées dans les chroniques de flux instantanés dérivées et empêchent les calculs de flux cumulés sur les périodes concernées. C'est pourquoi il est nécessaire au préalable de reconstituer les périodes de lacunes dans les chroniques mères continues. La durée de temps entre deux valeurs successives à partir de laquelle une chronique est considérée comme lacunaire varie selon le pas de temps d'acquisition et la variabilité temporelle des données.

Les chroniques de **débit** sont bancarisées dans BDOH au pas de temps horaire et sont considérées lacunaires lorsqu'une donnée horaire n'est pas disponible. Les chroniques de débit contiennent une heure de lacune par an, observée lors du passage à l'heure d'été. Ces lacunes sont estimées par interpolation linéaire entre les deux valeurs qui l'encadrent.

Pour le moment, les lacunes dans les chroniques de **concentration en MES** ne sont pas reconstituées.

Dans une chronique de **concentration en contaminant particulaire**, une lacune est avérée lorsqu'au moins une donnée dans la série temporelle est manquante par rapport à la fréquence de prélèvement établie à une station. La lacune peut être issue soit d'une perte d'un échantillon (piège à particules retourné, flacon cassé, dysfonctionnement de la centrifugeuse, etc.), soit de l'omission d'une analyse sur un ou plusieurs échantillons. Pour chaque station et chaque contaminant bancarisé, les lacunes dans les chroniques de concentration en contaminants sont reconstituées avec un forfait déterminé par gamme de débit (période de base, régime de crue ou événement de chasse de barrage). Ce forfait correspond à la valeur médiane de l'ensemble des concentrations acquises depuis le début du programme OSR sur chaque station (Annexe 5). Lorsque la fréquence de quantification du composé est inférieure à 50% sur la station, ce forfait n'est pas calculé et la chronique lacunaire n'est pas comblée (Tableau 7).

Tableau 7 : Synthèse des chroniques de mercure, des 7 PCB indicateurs, des 8 ETM et des 3 radionucléides bancarisées dans BDOH ne contenant aucune lacune, contenant des lacunes reconstituées avec un forfait déterminé par gamme de débit (période de base, régime de crue ou évènement de chasse de barrage) ou contenant des lacunes non reconstituées car la fréquence de quantification du composé est inférieure à 50% sur la station (lacunaires).

Station	Mercure	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	ETM (7)	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K ²³⁴ Th
Arve	Estimée	Lacunaire	Lacunaire	Lacunaire	Lacunaire	Estimée	Estimée	Lacunaire	Estimée	Pas de données	Pas de données
Fier	Estimée	Lacunaire	Lacunaire	Estimée	Lacunaire	Estimée	Estimée	Estimée	Sans lacune	Estimée	Pas de données
Guiers	Nombre de données insuffisant (n=3)	Pas de données	Pas de données	Pas de données							
Bourbre	Estimée	Estimée	Pas de données	Pas de données							
Ain	Sans lacune	Pas de données	Pas de données	Pas de données							
Rhône à Jons	Estimée	Lacunaire	Lacunaire	Estimée	Lacunaire	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée
Saône	Estimée	Lacunaire	Lacunaire	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Pas de données
Gier	Estimée	Estimée	Estimée	Pas de données							
Isère	Estimée	Lacunaire	Lacunaire	Estimée	Lacunaire	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Pas de données
Drôme	Pas de données	Pas de données	Pas de données	Pas de données							
Ardèche	Estimée	Sans lacune	Estimée	Pas de données en crue	Pas de données						
Durance	Estimée	Lacunaire	Estimée	Pas de données en crue	Pas de données						
Gardon	Nombre de données insuffisant (n=4)	Pas de données	Pas de données	Pas de données	Pas de données						
Rhône à Arles	Estimée	Lacunaire	Lacunaire	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée	Estimée

Dans BDOH, toutes les valeurs reconstituées sont identifiées avec un code qualité « e » pour « estimée ».

1.6.2. Données bancarisées et flux calculés en 2018

Le Tableau 8 synthétise les données publiques et non publiques de débit, de turbidité, de concentrations en MES (calculées à partir de la turbidité sauf pour Arles, cf. partie cf. partie 3 « Suivi des concentrations en matières en suspension ») et en contaminants associés (mercure, PCB individuels, ETM et radionucléides) bancarisées dans BDOH sur toutes les stations du réseau de suivi OSR (en activité ou non). Il présente également l'avancement des calculs de flux de MES à chaque station.

Tableau 8 : Synthèse des données bancarisées dans BDOH sur les stations du réseau de suivi OSR en activité ou non (et le producteur de la donnée) à la date du 22/11/2018.

Station	Débit	Turbidité	Concentration en MES	Flux de MES	Concentration en Hg	Flux de Hg	Concentration en PCB _i individuels	Flux de PCB _i individuels	Concentration en ETM	Flux en ETM	Concentration en radio-nucléides	Flux en radio-nucléides
Arve à Genève	31/12/73	29/03/12	29/03/12	29/03/12	13/11/12	13/11/12	13/11/12	13/11/12	22/01/13	22/01/13	Non bancarisée	Non calculés
	30/09/18 (OFEV)	05/09/18 (Irstea)	05/09/18 (Irstea)	05/09/18 (Irstea)	25/08/14 (Irstea)	25/08/14 (Irstea)	25/08/14 (Irstea)	25/08/14 (Irstea)	25/08/14 (Cerege)	25/08/14 (Cerege)		
Fier à Motz	15/01/99	15/04/14	15/04/14	15/04/14	05/03/14	15/04/14	05/03/14	15/04/14	21/12/15	21/12/15	20/01/15	20/01/15
	30/09/18 (CNR)	02/08/18 (Irstea)	02/08/18 (Irstea)	02/08/18 (Irstea)	05/09/18 (Irstea)	02/08/18 (Irstea)	24/11/16 (Irstea)	24/11/16 (Irstea)	20/12/16 (Cerege)	20/12/16 (Cerege)	23/11/17 (IRSN)	23/11/17 (IRSN)
Guiers à Belmont-Tramonet	01/01/90	05/04/12	05/04/12	05/04/12	05/04/12	Non calculé	Non bancarisées	Non calculés	Non bancarisées	Non calculés	Non bancarisée	Non calculés
	30/09/18 (CNR)	18/07/12 (Irstea)	18/07/12 (Irstea)	18/07/12 (Irstea)	19/07/12 (Irstea)							
Rhône à Creys	A Pont de Groslée	30/10/08	31/12/09	31/12/09	Non mesurée	Non mesuré	Non mesurées	Non mesurés	Non mesurées	Non mesurés	Non mesurée	Non calculés
	14/02/99	23/08/18 (EDF)	31/12/16 (EDF)	31/12/16 (Irstea)								
Rhône à Bugey	A Lagnieu	29/10/08	29/10/08	30/04/15	Non mesurée	Non mesuré	Non mesurées	Non mesurés	Non mesurées	Non mesurés	Non mesurée	Non calculés
	01/01/91	03/09/18 (EDF)	31/12/16 (EDF)	31/12/16 (Irstea)								
Bourbre à Tignieu-Jamezieu	31/12/80	20/10/11	20/10/11	20/10/11	02/01/12	07/05/12	02/01/12	07/05/12	05/01/12	05/01/12	Non mesurée	Non calculés
	20/09/18 (DREAL ARA)	26/10/13 (Irstea)	26/10/13 (Irstea)	26/10/13 (Irstea)	28/08/13 (Irstea)	28/08/13 (Irstea)	28/08/13 (Irstea)	28/08/13 (Irstea)	15/03/13 (Cerege)	15/03/13 (Cerege)		
Ain à Pont-de-Chazey	01/11/11	20/07/12	20/07/12	20/07/12	08/12/11	20/07/12	08/12/11	28/08/12	Non bancarisées	Non calculés	Non bancarisée	Non calculés
	31/01/13 (DREAL ARA)	08/06/17 (Irstea)	08/06/17 (Irstea)	16/01/13 (Irstea)	28/01/13 (Irstea)	16/01/13 (Irstea)	28/01/13 (Irstea)	16/01/13 (Irstea)				
Rhône à Jons	31/12/92	31/12/99	31/12/99	31/12/99	15/03/11	22/06/11	22/06/11	22/06/11	20/09/11	20/09/11	18/01/12	18/01/12
	20/09/18 (Irstea)	05/09/18 (Eau du Gd Lyon)	05/09/18 (Irstea)	05/09/18 (Irstea)	28/08/18 (Irstea)	28/08/18 (Irstea)	06/12/16 (Irstea)	06/12/16 (Irstea)	30/01/18 (Cerege)	30/01/18 (Cerege)	19/12/17 (IRSN)	19/12/17 (IRSN)
Saône à Lyon	14/09/81	02/12/09	02/12/09	02/12/09	12/12/11	02/08/12	12/12/11	02/08/12	08/02/13	08/02/13	08/02/13	08/02/13
	30/09/18 (CNR)	04/09/18 (Irstea)	04/09/18 (Irstea)	04/09/18 (Irstea)	28/08/18 (Irstea)	28/08/18 (Irstea)	28/11/16 (Irstea)	28/11/16 (Irstea)	25/10/16 (Cerege)	25/10/16 (Cerege)	19/12/17 (IRSN)	19/12/17 (IRSN)
Gier à Givors	31/12/89	23/04/13	23/04/13	23/04/13	23/04/13	23/04/13	23/04/13	23/04/13	06/01/16	06/01/16	03/12/14	03/12/14
	06/09/18 (DREAL ARA)	04/09/18 (Irstea)	04/09/18 (Irstea)	04/09/18 (Irstea)	29/08/18 (Irstea)	29/08/18 (Irstea)	28/11/16 (Irstea)	28/11/16 (Irstea)	14/02/17 (Cerege)	14/02/17 (Cerege)	25/10/17 (IRSN)	25/10/17 (IRSN)
Isère à Beaumont-Montoux	20/03/97	01/01/10	01/01/10	01/01/10	09/09/14	09/09/14	09/09/14	09/09/14	09/09/14	09/09/14	16/01/15	16/01/15
	30/09/18 (CNR)	03/09/18 (EDF)	03/09/18 (EDF)	03/09/18 (Irstea)	29/08/18 (Irstea)	29/08/18 (Irstea)	15/09/16 (Irstea)	15/09/16 (Irstea)	18/04/17 (Cerege)	18/04/17 (Cerege)	18/04/17 (IRSN)	18/04/17 (IRSN)
Drôme à Livron-sur-Drôme	01/02/18	Pas de données	Non calculée	Non calculés	Pas de données	Non calculé	Pas de données	Non calculés	Pas de données	Non calculés	Pas de données	Non calculés
Ardèche à St-Martin-d'Ardèche	01/01/10	14/01/16	14/01/16	14/01/16	01/03/16	01/03/16	01/03/16	01/03/16	01/03/16	01/03/16	01/03/16	01/03/16
	02/09/18 (HPCGD)	05/09/18 (Irstea)	05/09/18 (Irstea)	02/09/18 (Irstea)	19/04/18 (Irstea)	19/04/18 (Irstea)	18/10/16 (Irstea)	18/10/16 (Irstea)	16/01/18 (Cerege)	16/01/18 (Cerege)	21/04/17 (IRSN)	21/04/17 (IRSN)
Durance à Bonpas	01/01/93	21/06/10	31/10/13	30/11/13	14/10/15	14/10/15	16/11/15	16/11/15	16/11/15	16/11/15	15/02/16	15/02/16
	30/09/18 (CNR)	03/09/18 (EDF)	04/09/18 (EDF)	04/09/18 (Irstea)	22/03/18 (Irstea)	22/03/18 (Irstea)	19/07/16 (Irstea)	19/07/16 (Irstea)	20/12/17 (Cerege)	20/12/17 (Cerege)	07/06/17 (IRSN)	07/06/17 (IRSN)
Gardon à Remoulins	01/01/00	20/06/17	20/06/17	20/06/17	15/11/17	15/11/17	Pas de données	Non calculés	15/03/11	Non calculés	Non bancarisées	Non calculés
	30/09/18 (CNR)	05/09/18 (Irstea)	05/09/18 (Irstea)	05/09/18 (Irstea)	29/05/18 (Irstea)	29/05/18 (Irstea)			29/10/15 (Cerege)			
Rhône à Beaucaire	31/12/99	Non mesurée	Données du Rhône à Arles	03/03/05	Données du Rhône à Arles	24/03/09	Données du Rhône à Arles	18/01/10	Données du Rhône à Arles	01/06/18	Données du Rhône à Arles	03/03/05
	30/09/18 (CNR)		19/07/18 (Irstea)	19/07/18 (Irstea)	16/07/18 (Irstea)	16/07/18 (Irstea)	19/10/16 (Irstea)	19/10/16 (Irstea)	19/03/18 (Cerege)	19/03/18 (Cerege)	12/11/14 (IRSN)	
Rhône à Arles	01/01/90	Non mesurée	03/03/05	03/03/05	24/03/09	18/01/10	18/01/10	18/01/10	01/06/11	01/06/11	03/01/05	03/03/05
	30/09/18 (CNR)		19/07/18 (MIO/Cerege/IRSN)	19/07/18 (Irstea)	16/07/18 (Irstea et Ifremer)	16/07/18 (Irstea)	19/10/16 (Irstea et Ifremer)	19/10/16 (Irstea)	19/03/18 (Cerege)	19/03/18 (Cerege)	12/11/14 (IRSN)	12/11/14 (IRSN)

Toutes les données de débit sont à jour pour le premier semestre 2018.

A l'exception du Guiers, de l'Ain et de la Bourbre (stations inactives), les données de turbidité enregistrées par Irstea et le Grand Lyon sont bancarisées jusqu'en août 2018. Les concentrations en MES calculées à partir de ces données de turbidité sont également à jour jusqu'à cette période. Actuellement, la courbe de calibration turbidité/MES des capteurs de turbidité sur l'Ardèche et le Gardon ne sont pas suffisamment documentées. Les concentrations en MES sont calculées à partir de la turbidité avec un barème de conversion fixé à 1.

Les données de MES mesurées à Arles sont disponibles jusqu'à juillet 2018.

Les données de turbidité sur le Rhône à Creys et à Bugey, sur l'Isère à Beaumont-Monteux et sur la Durance à Bonpas (données EDF) sont à jour jusqu'à fin août 2018. Les données de concentrations en MES fournies par EDF sont disponibles jusqu'à début septembre 2018 pour les stations de la Durance à Bonpas et de l'Isère à Beaumont-Monteux ; pour les stations du Rhône à Creys et à Bugey, elles sont disponibles jusqu'au 31 décembre 2016 (EDF ne dispose pas de données plus récentes).

Les données de concentrations en mercure sur le Rhône à Jons et les stations en activité sur les affluents du Rhône Nord (Fier, Saône, Gier et Isère) et du Rhône à Arles sont bancarisées jusqu'au premier semestre 2018 et les flux instantanés de Hg sont calculés pour la même période. Les données de concentration en mercure sur les affluents du Rhône Sud sont bancarisées jusqu'à mai 2018 pour le Gardon, avril 2018 pour l'Ardèche et mars 2018 pour la Durance, et les flux instantanés de Hg sont calculés pour les mêmes périodes. Toutes les données de mercure disponibles sont bancarisées dans BDOH. Les chroniques sont complétées dès la réception des nouveaux résultats d'analyse (cf. partie « Analyse des échantillons prélevés en 2018 »).

Aucune nouvelle analyse de PCB indicateurs n'a été réalisée en 2018. Les données disponibles dans BDOH sont bancarisées jusqu'en décembre 2016 pour le Rhône à Jons, novembre 2016 pour le Fier, la Saône et le Gier, octobre 2016 pour l'Ardèche et le Rhône à Arles, septembre 2016 pour l'Isère et juillet 2016 pour la Durance. Les flux instantanés des 7 PCB indicateurs sont calculés sur la même période que les chroniques de concentrations en PCB, parfois à partir de chroniques lacunaires de concentrations en PCB (Tableau 7). Les données de concentrations en PCB indicateurs mesurées sur le Guiers ne sont pas reconstituées car le nombre de données sur cette station est insuffisant (seulement 3 données en régime hydrologique de base et aucune en période de crue).

Les données de concentrations en ETM (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) sont bancarisées jusqu'en janvier 2018 pour la station de Jons et jusqu'en mars 2018 pour Arles. Toutes les données acquises depuis le début du programme OSR sur les stations des affluents ont également été bancarisées : jusqu'en janvier 2018 pour l'Ardèche, jusqu'en 2017 pour la Durance, l'Isère et le Gier, jusqu'en 2016 pour le Fier, jusqu'en 2015 pour le Gardon, jusqu'en 2014 pour l'Arve et jusqu'en 2013 pour la Bourbre. Les flux de métaux sur les stations du Rhône à Jons et à Arles sont calculés à partir des concentrations en métaux mesurées sur des MES prélevées par centrifugation.

Pour les stations de Jons et d'Arles, seules les concentrations en ^{137}Cs , en ^{40}K et en ^{234}Th sont bancarisées ; les concentrations des six autres radionucléides sont principalement inférieures aux limites de détection. Les données en radionucléides sont disponibles jusqu'en décembre 2017 à Jons et jusqu'à novembre 2014 à Arles. Pour ces deux stations, les flux de ^{137}Cs , de ^{40}K et de ^{234}Th sont calculés jusqu'à ces mêmes dates, à partir de chroniques de concentrations reconstituées. Pour les stations sur les affluents, seules les concentrations en ^{137}Cs sont bancarisées pour le moment : jusqu'en décembre 2017 pour la Saône, jusqu'en novembre 2017 pour le Fier, jusqu'en octobre 2017 pour le Gier, jusqu'en juin 2017 pour la Durance et jusqu'en avril 2017 pour l'Isère et l'Ardèche. Le nombre de données de concentrations en radionucléides disponibles pour les autres stations (Arve, Guiers, Ain, Gardon) sont trop faibles (moins de 5 données) et ne sont pas bancarisées dans BDOH. Les flux de ^{137}Cs sont calculés sur les mêmes périodes.

1.6.3. Avancées des fonctionnalités de BDOH en 2018

En 2018, le pôle Informatique Scientifique d'Irstea a travaillé sur les montées de version des briques logicielles utilisées pour l'interface Web de BDOH. Depuis juin 2018, un agent contractuel (Benoît Vila) travaille sur les parties du code qui ont été altérées par les montées de version du logiciel. La nouvelle interface devrait être déployée sur la base de production de BDOH d'ici octobre 2018.

Pour la suite, le développement de nouvelles fonctionnalités est prévu notamment sur les calculs et la visualisation de flux mais aussi sur l'ergonomie de l'interface Web [Thollet *et al.*, 2017] :

- possibilité de hiérarchiser l'affichage des chroniques en liste pour chaque station (par famille de contaminants par exemple), à utiliser aussi pour sélectionner les chroniques mères pour le calcul des chroniques filles ;
- affichage différent des données estimées et inférieures aux limites de quantification/détection ;
- calcul du ratio pourcentage de données réellement mesurées par rapport aux mesures estimées dans les flux cumulés ;
- affichage du nombre de mesures disponibles pour chaque mois dans les chroniques discontinues (sur l'exemple des camemberts des taux de remplissage utilisés pour les chroniques continues) ;
- détection automatique des dates de début et de fin des chroniques mères pour calculer une chronique fille sur la période de recouvrement des chroniques mères ;
- transformation d'une chronique discontinue en une chronique continue, applicable sur des lots de chroniques. Un programme R extérieur à la base est actuellement utilisé ; son implémentation dans BDOH permettrait de le déployer pour l'ensemble des utilisateurs.

Une amélioration importante est attendue pour le séquençement des calculs effectués par la base, sous forme de « jobs » (une série de tâche à exécuter dans un ordre déterminé) dont l'état sera visible et archivé.

2. VALIDATION DES DEUX SYSTEMES DE CENTRIFUGATION EN CONTINU UTILISES SUR LA STATION PERMANENTE DU RHONE A JONS POUR LES PRELEVEMENTS DE MATIERES EN SUSPENSION

C. Le Bescond, M. Lagouy, F. Thollet, J. Le Coz, J. Panay, G. Grisot, M. Masson, A. Dabrin, M. Coquery.

Dans l'OSR, les prélèvements de MES pour le suivi physico-chimique sur la station principale du Rhône à Jons sont réalisés ponctuellement par centrifugation en continu. Les prélèvements sont réalisés toutes les deux semaines en régime hydrologique de base et plus fréquemment pendant les épisodes de crue, sur une période de quelques dizaines de minutes à quatre heures, en fonction de la concentration en MES au moment du prélèvement. Les MES prélevées sont ensuite analysées pour le mercure (Hg), les polychlorobiphényles (PCB), les polybromodiphényléthers (PBDE), les éléments traces métalliques (ETM), les radionucléides, la distribution granulométrique et le carbone organique particulaire (cf. Paragraphe 1.5.1).

Entre mars 2011 et mai 2014, les prélèvements de MES à Jons ont été réalisés à l'aide d'une centrifugeuse mobile (Westfalia KA-2) embarquée sur une remorque. En juillet 2013, la station de Jons a été équipée d'une centrifugeuse fixe identique à celle installée sur la station du Rhône à Arles (CEPA Z61).

L'objectif de ce chapitre est de vérifier la représentativité de la distribution granulométrique des particules échantillonnées à la station de Jons avec la centrifugeuse fixe par rapport aux particules qui transitent dans l'eau du Rhône et de vérifier la continuité des séries temporelles de contaminants particulaires dosés dans des MES prélevées à l'aide des deux centrifugeuses utilisées à Jons.

2.1. Représentativité granulométrique des matières en suspension échantillonnées à Jons avec la centrifugeuse fixe en continu

2.1.1. Matériel et méthode

Prélèvements de matières en suspension par centrifugation en continu

Centrifugation en continu

Les MES ont été prélevées ponctuellement à l'aide d'une centrifugeuse tubulaire à haute vitesse CEPA Z61. Sur la station de Jons, l'eau du Rhône est pompée en continu puis acheminée vers la centrifugeuse avec un débit entrant d'environ 700 L par heure. Ce débit est contrôlé à l'aide d'un compteur d'eau et d'un chronomètre.

L'eau pénètre par le bas de la centrifugeuse puis entre dans un cylindre en inox qui tourne à 17 000 tours par minute et qui renferme une feuille de Téflon amovible préalablement lavée (détergent, neutralisant et rinçage à l'eau déminéralisée). L'eau remonte à travers le cylindre grâce à la force centrifuge ; les MES adhèrent à la feuille de Téflon amovible qui est plaquée sur les parois du cylindre, tandis que l'eau clarifiée est évacuée vers l'extérieur par le haut du cylindre (Figure 7).

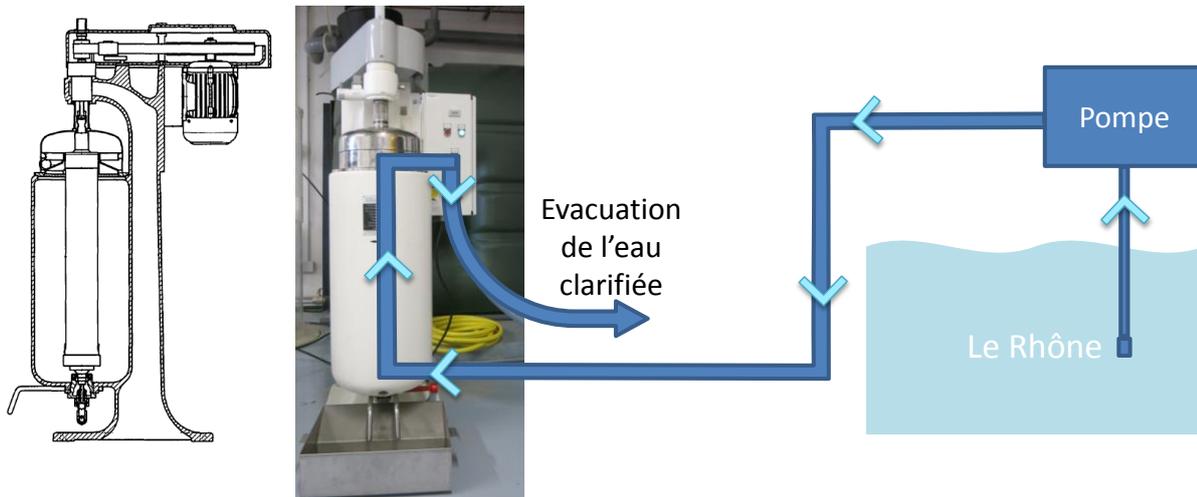


Figure 7 : Vue schématique de profil du cylindre positionné dans le corps de la centrifugeuse (source du schéma : mode d'emploi fourni par le constructeur) et circuit de l'eau du Rhône dans la centrifugeuse CEPA Z61 installée sur la station de Jons. Les flèches bleues représentent le cheminement de l'eau dans les tuyaux.

Un premier prélèvement de MES par centrifugation en continu a été réalisé le 19 juillet 2016 sur une durée de 4h53 (de 08h52 à 13h15, TU+01), avec un débit moyen sur cette période de 694 m³/s et une concentration en MES moyenne de 28 mg/L. Un second prélèvement de MES a été réalisé le 22 novembre 2016 sur une durée de 3h30 (de 10h00 à 13h30, TU+01), avec un débit moyen sur cette période de 495 m³/s et une concentration en MES moyenne de 27 mg/L. Les deux prélèvements ont été réalisés en régime hydrologique de base (débit inférieur à 800 m³/s, cf. Annexe 3). Le volume d'eau centrifugé lors de chaque prélèvement était d'environ 3000 L.

Avant chaque prélèvement par centrifugation, le tuyau d'alimentation en eau a été purgé pendant environ 30 secondes afin d'éliminer les particules qui se sont accumulées dans les tuyaux entre deux prélèvements par centrifugation.

Sous-échantillonnage des matières en suspension prélevées par centrifugation

Après la centrifugation, la feuille de Téflon a été récupérée puis déroulée à plat pour prélever l'échantillon de MES. Un gradient de taille et de concentration de particules est observable à l'œil nu (Figure 8). Un dépôt de particules grossières est visible sur la partie de la feuille de Téflon qui se situe en bas du cylindre de la centrifugeuse (plus foncée), tandis que la partie correspondant au haut du cylindre contient les particules les plus fines en plus petite quantité.



Figure 8 : Matières en suspension collectées sur la feuille de Téflon après centrifugation dans le cylindre. La partie de gauche correspond aux particules collectées en bas du cylindre (particules plus grossières), celle de droite au haut du cylindre de la centrifugeuse (particules plus fines).

Les MES déposées sur la feuille de Téflon ont été collectées à l'aide d'une spatule en silicone alimentaire préalablement lavée (détergent, neutralisant, rinçage à l'eau déminéralisée puis rinçage à l'acétone) en

suivant deux protocoles de collecte de MES pour évaluer l'influence du sous-échantillonnage sur les résultats de mesure de la distribution granulométrique.

Sous-échantillonnage des matières en suspension prélevées par centrifugation

Une petite quantité de MES collectées sur la feuille de Téflon lors de la centrifugation du 19 juillet 2016 a été collectée avec la pointe de spatule sur une fine bande qui s'étend sur toute la longueur de la feuille de Téflon, en évitant de collecter les gros amas de particules grossières pour conserver un maximum de matière pour les analyses chimiques (Figure 9). Puis les MES ont été transférées dans un pilulier en polypropylène pour l'analyse de la distribution granulométrique des particules.



Figure 9 : Sous-échantillonnage en bande sur toute la longueur de la feuille de Téflon pour l'analyse de la distribution granulométrique des matières en suspension prélevées par centrifugation.

Les MES restantes ont été prélevées avec la même spatule puis entièrement transférées dans un flacon en verre brun pour l'analyse des contaminants (mercure, polychlorobiphényles, éléments traces métalliques, radionucléides). Le pilulier en polypropylène et le flacon en verre ont été conservés dans une glacière jusqu'à l'arrivée au laboratoire. Le pilulier en polypropylène pour l'analyse de la granulométrie a été conservé au réfrigérateur à 4°C jusqu'à l'analyse.

Sous-échantillonnage après homogénéisation de la totalité de l'échantillon

Les MES collectées sur la feuille de Téflon lors de la centrifugation du 22 novembre 2016 ont été récupérées en totalité avec une spatule en silicone alimentaire puis transférées dans un flacon en verre brun. L'échantillon a ensuite été homogénéisé après ajout d'une dizaine de millilitres d'eau du Rhône. Un sous-échantillon de ce prélèvement homogénéisé a été transféré dans un pilulier en polypropylène pour l'analyse de la distribution granulométrique. Les MES restantes dans le flacon en verre brun ont été stockées pour l'analyse des contaminants (mercure, polychlorobiphényles, éléments traces métalliques, radionucléides). Le pilulier en polypropylène et le flacon en verre ont été conservés dans une glacière jusqu'à l'arrivée au laboratoire. Le pilulier en polypropylène pour l'analyse de la granulométrie a été conservé au réfrigérateur à 4°C jusqu'à l'analyse.

Prélèvements manuels de matières en suspension

Au début de chaque prélèvement par centrifugation, un échantillon manuel de MES a été prélevé dans un flacon de 1 L en polyéthylène haute densité (PEHD) directement dans le Rhône depuis la berge. Avant le prélèvement, le flacon et son bouchon ont été rincés avec l'eau du Rhône. Puis, l'échantillon d'eau a été prélevé en plongeant le flacon sous la surface de l'eau, dans le sens de l'écoulement (col vers l'amont). Le prélèvement a été effectué dans une zone de bon écoulement de l'eau et à proximité de la prise d'eau pour l'alimentation de la centrifugeuse fixe en continu. Ce prélèvement a été réalisé le 19 juillet 2016 à 09h00 et le 22 novembre 2016 à 09h40. Lors de la centrifugation du 22 novembre 2016, le prélèvement manuel d'eau du

Rhône a été répété en fin de centrifugation (à 13h30) pour vérifier la variabilité de la granulométrie pendant toute la durée de la centrifugation.

Avant chaque prélèvement par centrifugation, un second prélèvement manuel de MES a été réalisé au niveau de l'entrée de l'eau pompée dans la centrifugeuse. Cet échantillon permet d'évaluer l'influence du pompage de l'eau et de son acheminement dans les tuyaux sur distribution granulométrique des particules centrifugées. Avant le prélèvement, le flacon de 1 L en PEHD et son bouchon ont préalablement été rincés avec l'eau du Rhône pompée. Ce prélèvement a été réalisé le 19 juillet 2016 à 08h45 et le 22 novembre 2016 à 09h40. Lors de la centrifugation du 22 novembre 2016, le prélèvement manuel d'eau du Rhône pompée a été répété en fin de centrifugation (à 13h30) pour vérifier la variabilité de la granulométrie pendant toute la durée de la centrifugation.

Tous les flacons de 1 L en PEHD ont été conservés dans une glacière jusqu'à l'arrivée au laboratoire, puis au réfrigérateur à 4°C jusqu'à leur analyse.

La Figure 10 présente une synthèse des échantillons de MES prélevés pour l'étude de la représentativité granulométriques des échantillons de MES prélevés sur le Rhône à Jons par centrifugation.

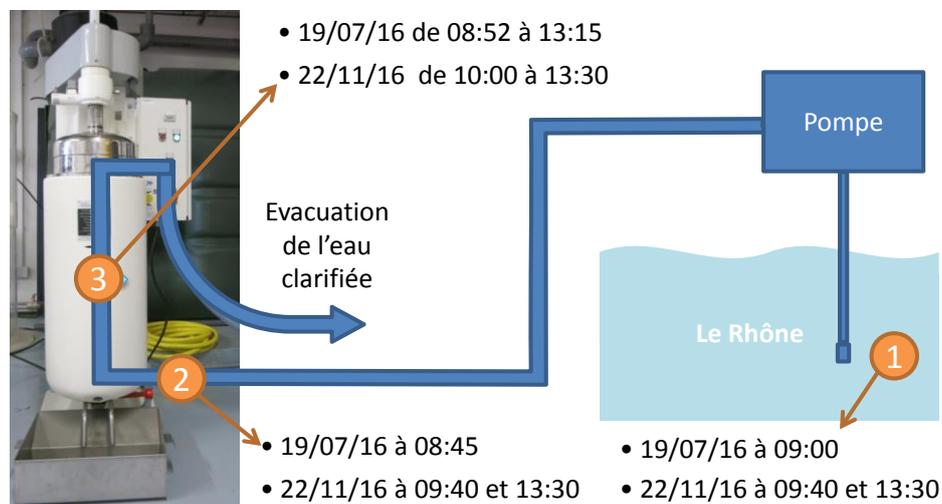


Figure 10 : Schéma des prélèvements réalisés sur la station du Rhône à Jons pour la comparaison granulométrique des particules présentes dans l'eau du Rhône et échantillonnées par centrifugation : 1) prélèvement d'eau manuel réalisé directement dans le Rhône au niveau de la prise d'eau pour l'alimentation de la centrifugeuse en continu, 2) prélèvement d'eau manuel réalisé au niveau de l'entrée de l'eau pompée dans la centrifugeuse et 3) prélèvement de MES par centrifugation en continu.

Méthode d'analyse de la granulométrie

Les distributions granulométriques des échantillons de MES prélevés manuellement et par centrifugation en continu ont été analysés le jour des prélèvements par diffraction laser avec un granulomètre Cilas 1190 selon la norme ISO 13320 [AFNOR, 2009a]. La gamme de mesure de cet appareil s'étend de 0,04 μm à 2500 μm .

Les échantillons frais de MES prélevés par centrifugation contenus dans les piluliers en polypropylène ont été mélangés à quelques millilitres d'eau déminéralisée, puis homogénéisés à l'aide d'une pipette de transfert en plastique. A l'aide de la même pipette de transfert, une partie des échantillons frais a été prélevée et introduite dans la cuve de l'appareil. La quantité introduite doit être suffisante pour être représentative de l'échantillon total, tout en évitant les phénomènes de diffraction multiples engendrés par un nombre trop important de particules. La concentration de l'échantillon introduite dans la cuve a donc été suivie grâce à la mesure de l'obscurité (en %), qui correspond au pourcentage de lumière atténuée par la présence des particules. Toutes les mesures ont été réalisées avec un taux optimal d'obscurité de la cellule de mesure compris entre 12 et 18%.

Les échantillons d'eau prélevés manuellement ont été homogénéisés. Puis un volume d'environ 350 mL a été introduit dans la cuve de l'appareil (capacité totale de la cuve). En cas d'échantillon d'eau trop concentré en MES (obscurité supérieure à la limite maximale de 18%), l'échantillon a été dilué en vidangeant une partie de l'échantillon contenu dans la cuve de l'appareil et en complétant le niveau de liquide dans la cuve par l'ajout d'eau déminéralisée, jusqu'à atteindre la gamme d'obscurité optimale. La vidange a été réalisée pendant l'agitation de l'échantillon dans la cuve pour conserver un échantillon homogène.

Pour chaque échantillon, une première mesure a été réalisée sans l'utilisation des ultrasons. Puis, sur le même sous-échantillon, une seconde mesure a été réalisée en utilisant les ultrasons sur une durée de 20 secondes pendant la dispersion de l'échantillon dans le circuit de l'appareil puis pendant toute la durée de l'analyse, l'utilisation d'ultrasons permettant de casser d'éventuels floes. Le diamètre des particules présentes dans l'échantillon est déterminé par l'appareil en mesurant la variation de l'angle de diffusion d'un faisceau laser qui traverse les particules dispersées selon le modèle optique de Fraunhofer. L'appareil fournit une proportion de particules (en %) par classe de diamètres (en μm).

L'incertitude sur la mesure de la distribution granulométrique est élevée pour des particules dont le diamètre est inférieur à 1 μm . Les particules de ces diamètres sont peu présentes dans les échantillons étudiés. Les 11 classes de diamètres compris entre 0,04 et 0,9 μm ne sont donc pas traitées dans la suite de ce chapitre. Pour les classes de diamètres supérieurs à 1 μm , l'incertitude élargie avec un niveau de confiance à 95% est estimée à 10%. Cette incertitude est de 30% pour les classes les plus grossières présentes dans les échantillons en proportion inférieure à 1,5%.

Traitement des résultats

Comparaison des résultats au regard des incertitudes analytiques

Les distributions granulométriques des échantillons de MES prélevés manuellement et par centrifugation ont été comparées en tenant compte des incertitudes analytiques pour chaque diamètre de particules. Lorsque les incertitudes de mesures sur les prélèvements se recoupent, les distributions granulométriques des échantillons étudiés sont considérées similaires au regard des incertitudes de mesure.

Calculs des différences relatives et de leur incertitude associée par rapport à un échantillon de référence

La granulométrie de l'échantillon d'eau du Rhône considéré comme la référence correspond à la moyenne des mesures granulométriques dans les échantillons d'eau prélevés manuellement dans le Rhône et en entrée de centrifugeuse (eau pompée) pour chaque classe de diamètre. L'incertitude sur cette mesure moyenne (U_δ) est calculée d'après l'Équation 1.

$$U_\delta = 1,96 * \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right)^2 * \left[\left(n_1 * \frac{U_{n_1}}{1,96}\right)^2 + \left(n_2 * \frac{U_{n_2}}{1,96}\right)^2 + \left(n_3 * \frac{i_U}{1,96}\right)^2 \right]} \quad \text{Équation 1}$$

avec n le nombre de données utilisées dans le calcul de la moyenne, n_1 la proportion de classe de diamètre de particules considérée (en %) mesurée dans l'échantillon 1 et U_{n_1} son incertitude élargie relative associée, n_2 la proportion de classe de diamètre de particules considérée (en %) mesurée dans l'échantillon 1 et U_{n_2} son incertitude élargie relative associée, etc.

Pour quantifier les différences de granulométrie entre l'échantillon de référence d'eau du Rhône et un échantillon de MES prélevées par centrifugation, les différences relatives δ ont été calculées d'après l'Équation 2 pour chaque classe de diamètre.

$$\delta = \frac{x - y}{y}$$

Équation 2

avec x la proportion de classe de diamètre de particules considérée (en %) mesurée dans l'échantillon de MES prélevées par centrifugation et y la proportion de cette même classe de diamètre de particules mesurée dans l'échantillon de référence d'eau du Rhône (en %).

Une différence relative positive signifie que la classe considérée est présente en proportion plus importante dans l'échantillon de MES prélevées par centrifugation que dans l'échantillon de référence d'eau du Rhône.

L'incertitude élargie absolue sur la différence relative (U_δ) pour chaque classe de diamètre a été calculée d'après l'Équation 3.

$$U_\delta = 1,96 * \sqrt{\left(\frac{1}{y}\right)^2 * \left(x * \frac{U_x}{1,96}\right)^2 + \frac{x^2}{y^4} * \left(y * \frac{U_y}{1,96}\right)^2}$$

Équation 3

avec x la proportion de classe de diamètre de particules considérée (en %) mesurée dans l'échantillon de MES prélevé par centrifugation) et U_x son incertitude élargie relative associée, et y la proportion de cette même classe de diamètre de particules mesurée dans l'échantillon de référence d'eau du Rhône (en %) et U_y son incertitude élargie relative associée.

Les distributions granulométriques des échantillons étudiés sont considérées similaires au regard des incertitudes de mesure lorsque les barres d'erreur sur la différence relative coupent l'axe 0 des abscisses.

2.1.2. Résultats et discussion

Influence du pompage sur la granulométrie des particules des échantillons d'eau du Rhône

Les distributions granulométriques des échantillons d'eau prélevés manuellement dans le Rhône et en entrée de centrifugeuse (après pompage) ont été mesurées puis comparées en tenant compte des incertitudes de mesures (Figure 11).

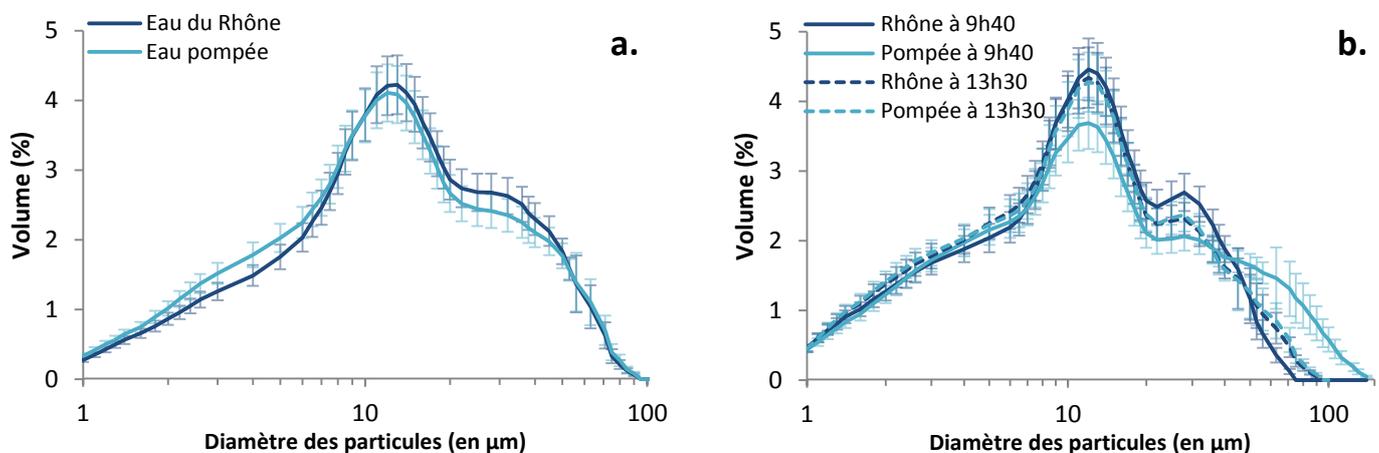


Figure 11: Distributions granulométriques des échantillons d'eau prélevés manuellement dans le Rhône et des échantillons d'eau du Rhône prélevés après pompage a) le 19 juillet 2016 et b) le 22 novembre 2016 sur la station de Jons. Les mesures ont été réalisées avec ultrasons. Les barres d'erreur correspondent à l'incertitude élargie sur la mesure à un niveau de confiance 95%.

Les prélèvements d'eau du Rhône en entrée et en sortie du tuyau de pompage réalisés le 19 juillet 2016 ont des distributions granulométriques similaires en tenant compte des incertitudes de mesure, sauf pour les fines particules de diamètres inférieurs à 5 μm qui sont présentes en plus grande proportion dans l'eau pompée (18% de plus en moyenne). La distribution granulométrique des échantillons d'eau utilisée comme échantillon de référence d'eau du Rhône le 19 juillet 2016 correspond donc à la moyenne des résultats des deux prélèvements.

Les distributions granulométriques des particules des échantillons prélevés le 22 novembre 2016 à 13h30 dans le Rhône et en entrée de centrifugeuse sont similaires. En revanche, l'échantillon d'eau prélevé dans le Rhône en début de centrifugation contient légèrement (17%) plus de particules de diamètre 25-40 μm que l'échantillon prélevé au même endroit en fin de centrifugation. L'échantillon d'eau pompée prélevé en début de centrifugation contient beaucoup plus (> 91%) de particules grossières (> 53 μm) que l'échantillon d'eau prélevé dans le Rhône à la même heure. Cette différence de granulométrie pourrait s'expliquer par un temps de purge trop court des tuyaux d'arrivée de l'eau pompée dans la centrifugeuse ; les particules déposées dans les tuyaux depuis la précédente centrifugation n'auraient pas totalement été éliminées lors de la purge et auraient pu être relarguées lors du prélèvement d'eau à cet endroit. Par conséquent, la distribution granulométrique des échantillons d'eau utilisée comme échantillon de référence d'eau du Rhône le 22 novembre 2016 correspond à la moyenne des deux prélèvements réalisés à la fin de la centrifugation et du prélèvement d'eau du Rhône réalisé en début de centrifugation.

D'après les résultats de ces 2 campagnes de prélèvements, le pompage de l'eau du Rhône et son acheminement par des tuyaux coudés jusqu'à la centrifugeuse n'ont donc pas d'influence sur la représentativité de la granulométrie des MES qui entrent dans la centrifugeuse.

Influence du sous-échantillonnage sur la granulométrie des particules prélevées par centrifugation en continu

Les distributions granulométriques des échantillons de référence d'eau du Rhône et des échantillons de MES prélevés par centrifugation puis sous-échantillonnés suivant deux protocoles (par bande et après homogénéisation) ont été comparées en tenant compte des incertitudes de mesures (Figure 12).

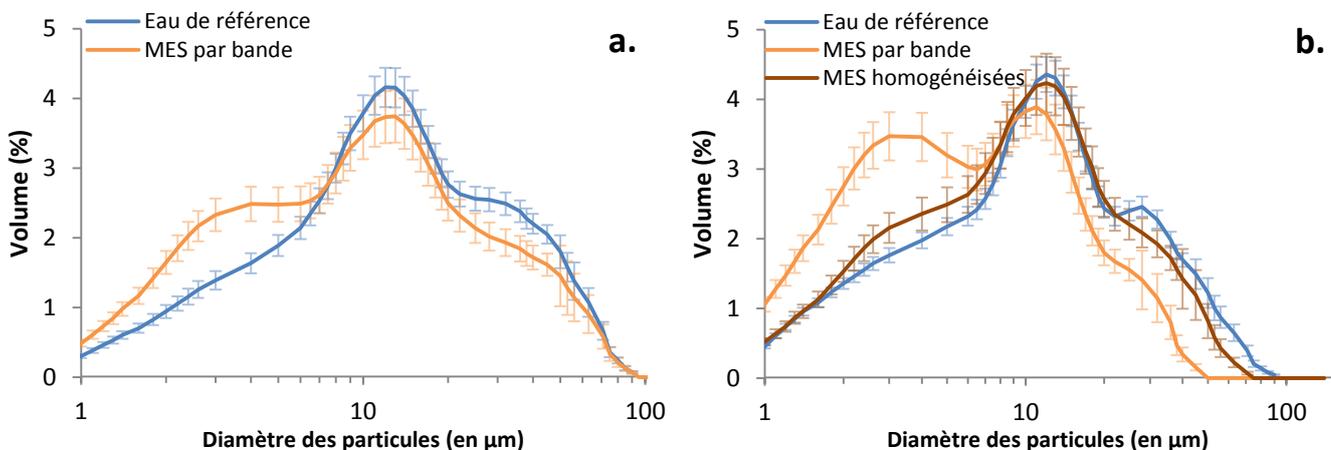


Figure 12: Distributions granulométriques des échantillons de référence d'eau du Rhône et des échantillons de matières en suspension prélevés par centrifugation en continu a) le 19 juillet 2016 et b) le 22 novembre 2016 sur la station de Jons. Les mesures ont été réalisées avec ultrasons. Les barres d'erreur correspondent à l'incertitude élargie sur la mesure à un niveau de confiance 95%.

Les échantillons de MES prélevés par centrifugation puis sous-échantillonnés par bande contiennent beaucoup plus de particules fines (de diamètres compris entre 1 et 8 μm) que les échantillons de référence. En effet, l'échantillon de MES issu de la centrifugation du 19 juillet 2016 contient 60% de plus de particules de diamètres 1-6 μm que l'échantillon d'eau de référence ; l'échantillon de MES issu de la centrifugation du 22 novembre 2016 contient en moyenne 81% de plus de particules de diamètres 1-7,5 μm de plus que l'échantillon d'eau de référence. A l'inverse, les échantillons de MES issus de centrifugation contiennent moins de particules de diamètre supérieur à 12 μm que l'échantillon d'eau de référence : 20% de moins en moyenne de particules de diamètres 22-45 μm dans l'échantillon de MES du 19 juillet 2016 et 39% de moins en moyenne de particules de diamètres 12-45 μm dans l'échantillon de MES du 22 novembre 2016 (Figure 13).

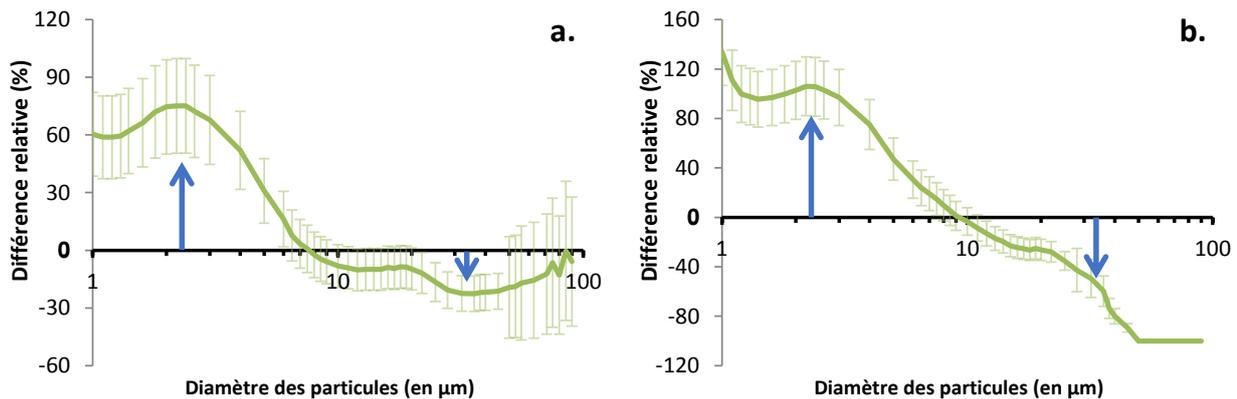


Figure 13 : Différence relative (en %) entre la granulométrie mesurée dans l'eau du Rhône de référence et celles mesurées dans les MES prélevées par centrifugation en continu puis sous-échantillonnées en bande a) le 19 juillet 2016 et b) le 22 novembre 2016 sur la station de Jons en fonction du diamètre des particules (en μm). Les barres d'erreur correspondent à l'incertitude élargie sur la différence relative à un niveau de confiance 95%. Les mesures ont été réalisées avec ultrasons.

Cette modification des proportions des diamètres de particules dans l'échantillon de MES centrifugé peut s'expliquer par un biais induit par l'étape de sous-échantillonnage par bande. En effet, les MES sont prélevés sur une petite bande qui s'étire sur toute la longueur de la feuille de Téflon, en évitant de prélever les amas de particules grossières pour conserver un maximum de matières pour les analyses chimiques qui nécessitent une prise d'essai conséquente. Ce protocole modifie les proportions de tailles des particules par rapport à l'échantillon initial et favorise la présence de fines particules par rapport aux plus grossières.

En considérant les incertitudes analytiques, la distribution granulométrique de l'échantillon de MES prélevé le 22 novembre 2016 par centrifugation puis sous-échantillonné après homogénéisation de l'échantillon complet est similaire à celle de l'échantillon d'eau de référence, sauf pour des particules de diamètre supérieur à 50 μm . Ces dernières sont présentes en proportions moins importantes (60% de moins en moyenne) dans les MES issues de centrifugation que dans l'eau de référence, ce qui pourrait s'expliquer par un possible défaut d'aspiration des sables par le système de pompage de l'eau du Rhône (Figure 14).

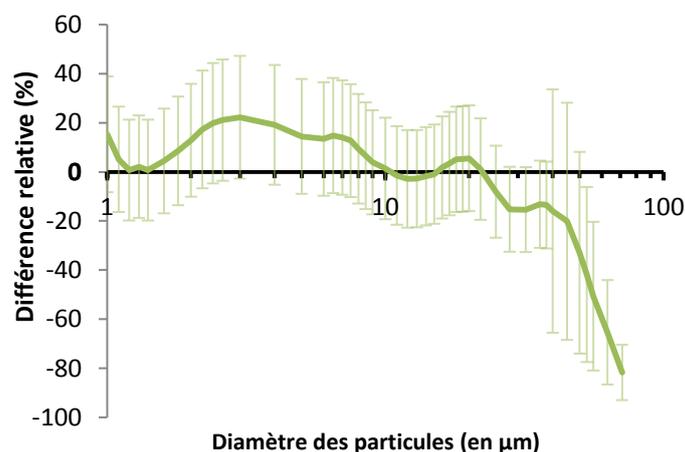


Figure 14 : Différence relative (en %) entre la granulométrie mesurée dans l'échantillon d'eau du Rhône de référence et dans l'échantillon de MES prélevé par centrifugation en continu puis sous-échantillonné après homogénéisation le 22 novembre 2016 sur la station de Jons en fonction du diamètre des particules (en μm). Les barres d'erreur correspondent à l'incertitude élargie sur la différence relative à un niveau de confiance 95%. Les mesures granulométriques ont été réalisées avec ultrasons.

Ces résultats confirment l'hypothèse d'un biais lors du sous-échantillonnage. Le protocole de sous-échantillonnage après homogénéisation des MES prélevées par centrifugation améliore la représentativité des particules présentes dans l'échantillon par rapport au protocole de sous-échantillonnage par bande. En effet, les MES collectées suivant ce protocole de sous-échantillonnage pour l'analyse de la granulométrie sont représentatives de celles qui transitent dans la rivière.

2.1.3. Conclusion

Dans l'OSR, les concentrations en contaminants particuliers sur la station du Rhône à Jons sont suivies grâce à des prélèvements ponctuels de MES réalisés par pompage de l'eau du Rhône en continu puis centrifugation. Les expérimentations menées dans cette étude ont permis d'évaluer la représentativité de la distribution granulométrique des MES prélevées par centrifugation puis récupérées en suivant deux protocoles différents en régime hydrologique de base. Grâce à des prélèvements manuels d'eau réalisés avant et après pompage de l'eau acheminée vers la centrifugeuse, cette étude a montré que la granulométrie des particules contenues dans l'eau qui alimente la centrifugeuse est similaire à celle des particules qui transitent dans le Rhône.

La comparaison de deux méthodes de sous-échantillonnage des MES centrifugées pour l'analyse des distributions granulométriques a mis en évidence un biais induit par la méthode par bande, qui contribue à l'augmentation des proportions de particules fines par rapport aux plus grossières. Les MES centrifugées puis sous-échantillonnées après homogénéisation de l'échantillon total ont une distribution granulométrique similaire à celle de l'eau du Rhône et sont donc représentatives des particules qui transitent dans le Rhône. **Depuis le 23 novembre 2016, le protocole de sous-échantillonnage après homogénéisation est appliqué à Jons pour mieux caractériser la granulométrie des particules collectées par centrifugation avant leur analyse chimique.** La totalité des MES échantillonnées par centrifugation est collectée dans un flacon en verre puis homogénéisée grâce à l'ajout de quelques millilitres d'eau du Rhône. L'analyse de la granulométrie est réalisée sur un sous-échantillon de MES homogénéisées.

2.2. Continuité des séries temporelles de concentrations en contaminants analysées dans les matières en suspension prélevées avec deux systèmes de centrifugation en continu

2.2.1. Matériel et méthode

Systèmes de centrifugation en continu

Les deux systèmes de centrifugation en continu utilisés sur la station permanente du Rhône à Jons sont un clarificateur Westfalia KA-2 avec bol à deux chambres et une centrifugeuse tubulaire à haute vitesse CEPA Z6 (Figure 15).

L'eau du Rhône est pompée en continu puis acheminée à l'intérieur du rotor de la centrifugeuse qui tourne à très grande vitesse (bol dans le cas de la Westfalia, cylindre dans le cas de la CEPA). L'eau et les MES sont séparées par centrifugation : les MES se collent aux parois du rotor, tandis que l'eau clarifiée est évacuée vers l'extérieur du bol ou du cylindre.

La centrifugeuse mobile Westfalia est installée sur une remorque. L'eau du Rhône est aspirée par une pompe à moteur thermique dans un tuyau souple translucide Spirabel (gamme SNT-A), qui présente l'avantage d'être très lisse à l'intérieur donc qui limite les pertes de charge, muni d'une crépine en inox. Les tuyaux sont installés à chaque prélèvement et la hauteur de la crépine dans le cours d'eau peut donc varier d'un prélèvement à l'autre. Toutefois, la crépine est installée au même niveau que le tuyau d'alimentation en eau de la centrifugeuse CEPA.

La centrifugeuse fixe CEPA est raccordée à un système fixe de tuyaux en PVC qui acheminent l'eau du Rhône vers le cylindre de la centrifugeuse. L'altitude de la prise d'eau peut varier car la crépine est installée sur une passerelle flottante, mais la hauteur d'eau entre la crépine et la surface de l'eau ne varie pas. Avant chaque prélèvement, le tuyau est purgé environ 30 secondes pour éliminer les MES qui se sont accumulées dans le circuit depuis le dernier prélèvement.

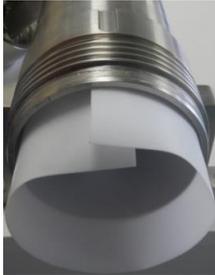
	Clarificateur avec bol à deux chambres Westfalia KA-2	Centrifugeuse tubulaire à haute vitesse CEPA Z61
Vue extérieure de la centrifugeuse complète		
Système de collecte des particules (rotor)	<p>Bol en étain enduit d'une pellicule de Téflon :</p>  <p>Capacité : 2,2 L Vitesse de rotation : 9 700 tours/min Débit entrant min/max : - / 700 L/h Débit entrant réel : 700 L/h environ</p>	<p>Cylindre en inox et feuille de Téflon amovible :</p>  <p>Capacité : 6 L Vitesse de rotation : 17 000 tours/min Débit entrant min/max : 50 / 1500 L/h Débit entrant réel : 700 L/h environ</p>
Particules échantillonnées		

Figure 15: Comparaison des deux centrifugeuses en continu utilisées pour le prélèvement de MES sur le Rhône à Jons pour le suivi des paramètres physico-chimiques : une centrifugeuse mobile Westfalia KA-2 utilisée de mars 2011 à mai 2014 et une centrifugeuse fixe CEPA Z61 en service depuis juillet 2013.

Dates de prélèvement des matières en suspension et conditions hydrologiques

Les prélèvements de MES avec les centrifugeuses Westfalia et CEPA ont été réalisés quatre fois en doublon entre le 9 juillet et le 27 août 2013. Les périodes de prélèvement sont présentées dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Débits et concentrations en MES observés sur le Rhône à Jons durant les quatre périodes de prélèvements réalisés en doublon avec les centrifugeuses fixe CEPA et mobile Westfalia.

Date de prélèvement	Débit (m ³ /s)			Concentration en MES* (mg/L)			Prélèvement à la centrifugeuse fixe		Prélèvement à la centrifugeuse mobile	
	Moyenne	Min	Max	Moyenne	Min	Max	Heures (TU+01)	Durée	Heures (TU+01)	Durée
09/07/2013	742	739	745	18	14	20	10h15 à 14h30	4h15	09h45 à 14h00	4h15
16/07/2013	410	400	449	2	2	2	09h15 à 12h45	3h30	08h45 à 12h15	3h30
30/07/2013**	1393	1361	1421	375	322	424	11h30 à 14h40	3h10	11h00 à 14h10	3h10
27/08/2013	359	346	395	< 2 (0,6)	< 2 (0)	2	09h55 à 14h15	4h20	09h25 à 13h45	4h20

* mesure par turbidité et étalonnage (Thollet, 2012) ; ** prélèvements en crue

Les prélèvements du 30 juillet 2013 ont été réalisés en crue, c'est-à-dire avec un débit du Rhône à Jons supérieur à 800 m³/s (seuil de crue fixé arbitrairement comme la moitié de la valeur du débit de crue biennale, période de retour deux ans Q2). La concentration moyenne en MES pendant les prélèvements (375 mg/L) est élevée en comparaison de la concentration en MES moyenne estimée sur la totalité du mois de juillet 2013 (69 mg/L).

Les trois autres doublons de prélèvements ont été réalisés en régime hydrologique de base. Les prélèvements du 16 juillet et du 27 août 2013 ont été réalisés dans des conditions de faibles débits (autour de 400 m³/s) et de très faibles concentrations en MES (très proches voire inférieures à la limite de quantification de la méthode analytique de 2 mg/L).

Les prélèvements du 9 juillet 2013 ont été réalisés dans des conditions de débit moyen proches du seuil de débit de crue (742 m³/s) avec une concentration moyenne en MES proche de la concentration moyenne du mois de juillet en régime de base (13 mg/L en moyenne sur la période du 1er au 29 juillet 2013).

Prétraitement des échantillons et analyses chimiques

Prétraitement des échantillons

Les MES collectées par centrifugation ont été transférées dans des flacons en verre brun de 250 mL à l'aide d'une spatule en silicone alimentaire préalablement lavée (détergent, neutralisant et rinçage à l'eau déminéralisée) puis rincée à l'acétone. Les échantillons ont été conservés dans une glacière jusqu'au retour au laboratoire avant d'être stockés au congélateur à -18°C pendant au moins une nuit. Les échantillons de MES ont ensuite été lyophilisés puis broyés à l'aide d'un broyeur planétaire à billes dans un bol en agate. Les MES broyées ont été conservées dans des flacons en verre brun hermétiques à température ambiante et à l'abri de la lumière jusqu'à leur analyse.

Méthodes d'analyse

Les contaminants analysés sont : le mercure, les 7 PCB indicateurs (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 et PCB 180), les PCB Dioxin-Like 105 et 156, et les BDE 47 et 99 (Tableau 10). Le carbone organique particulaire (COP) et la distribution granulométrique ont aussi été mesurés afin de caractériser la nature et la taille des particules, et de normaliser, si besoin, les concentrations en contaminants organiques et inorganiques. Ces corrections permettent de comparer les résultats en s'affranchissant des modifications de la nature des MES qui sont susceptibles de faire varier les teneurs en contaminants. Toutes les analyses ont été réalisées par Irstea, sauf les analyses de COP qui ont été réalisées par l'INRA d'Arras.

Tableau 10 : Liste des 12 contaminants et autres paramètres physico-chimiques (COP, granulométrie) analysés sur les échantillons de MES collectés sur le Rhône à Jons par centrifugation en continu ; méthode d'analyse et performances analytiques.

Paramètre	Méthode d'analyse	Limite de quantification	Incertitude
Mercure	Décomposition thermique et amalgamation, dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique	0,01 mg/kg	14%
Polychlorobiphényles indicateurs	PCB 28	0,50 µg/kg	30 – 100%
	PCB 52	1,00 µg/kg	
	PCB 101	0,50 µg/kg	
	PCB 118	Extraction ASE, purification sur cartouche Florisil	
	PCB 153	Dosage par GC-ECD avec confirmation du résultat sur 2 colonnes chromatographiques	
	PCB 138	différentes	
Polychlorobiphényles de type dioxine	PCB 180	0,50 µg/kg	
	PCB 105	0,50 µg/kg	
Polybromodiphényléthers	PCB 156	0,50 µg/kg	
	BDE 47	0,50 µg/kg	
	BDE 99	0,50 µg/kg	
Carbone organique particulaire	Décarbonatation par ajout d'acide phosphorique Dosage par analyseur élémentaire	0,5 g/kg	5%
Granulométrie	< 20 µm	Diffraction laser	Gamme de 0,03 à 2500 µm*
	20 - 63 µm		
	< 63 µm		
	63 - 150 µm		
	150 - 200 µm		
> 200 µm		12%	

* Il s'agit de l'étendue de la gamme de mesure de l'appareil

Le mercure (Hg) a été analysé par décomposition thermique et amalgamation puis dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique (DMA 80 Milestone) selon la norme EPA 7473 [EPA, 2007] et la méthode Aquaref MA-02 [Cossa *et al.*, 2013]. La limite de quantification (LQ) de la méthode, validée selon la norme NF T90-210 [AFNOR, 2009b], est estimée à 0,010 mg/kg. L'incertitude analytique est estimée à 14% (incertitude élargie, facteur k=2) selon la norme NF ISO 11352 [AFNOR, 2013]. Des blancs et des deux matériaux de référence certifiés (sédiments marin et côtier) sont systématiquement analysés en triplicat dans chaque série d'analyse pour contrôler la justesse des résultats (estimée à 94% en moyenne).

Les 9 polychlorobiphényles (PCB) et les 2 polybromodiphényléthers (PBDE) ont été analysés par chromatographie gazeuse couplée à un détecteur à capture d'électrons (GC-ECD) d'après la méthode Aquaref MA-49 [Lionard *et al.*, 2014a]. Environ exactement un gramme d'échantillon lyophilisé et broyé a été extrait à haute pression et sous haute température par un mélange de solvants cyclohexane/acétone (respectivement 90% et 10% en volume). Les extraits ont ensuite été concentrés puis purifiés sur cartouche Superclean LC-Florisil 1mg/6mL. Enfin, environ un gramme de copeaux de cuivre a été ajouté aux extraits avant analyse afin de limiter les interférences entre les sulfures et les électrons ⁶³Ni du détecteur à capture d'électrons. Les composés présents dans les extraits purifiés ont été séparés sur une colonne chromatographique RTX-5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm), puis quantifiés à l'aide d'un détecteur à capture d'électrons (ECD). Les résultats ont été confirmés par une seconde analyse après séparation des composés sur une colonne de polarité différente induisant des temps de rétention différents (RTX-PCB 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). Le résultat validé correspond à la moyenne des concentrations des deux analyses (deux colonnes chromatographiques différentes), avec un critère d'acceptation de 30% de différence relative entre les deux résultats. Les PCB 138,

153 et 180 sont coélus avec la colonne RTX-PCB ; pour ces trois composés, la concentration validée correspond uniquement à la concentration mesurée après séparation distincte des composés sur la colonne RTX-5. La concentration des deux congénères coélus avec la colonne RTX-PCB est comparée à la somme des deux congénères individuels de la colonne RTX-5, avec un critère d'acceptation de 30% de différence relative entre les deux sommes.

Chaque série d'analyse comprend 10 échantillons de MES, un blanc (sable d'Ottawa) qui a suivi toutes les étapes de préparation des échantillons et 2 solutions étalons de contrôle. Ces solutions sont préparées à des concentrations de 2,5 µg/L et 75 µg/L (points bas et haut de la gamme d'étalonnage) et sont injectées au début et à la fin de chaque série analytique pour surveiller les biais par rapport à la gamme étalon (exactitude) et la dérive dans le temps (précision).

Les LQ de la méthode ont été validées selon la norme NF T90-210 [AFNOR, 2009b] par le dopage d'une matrice non contaminée de sédiment (sable d'Ottawa) et par la vérification du test d'exactitude ($LQ \pm 60\% \times LQ$). Les LQ validées varient entre 0,50 et 1,00 µg/kg en fonction du composé. Cependant, la LQ de tous les composés est systématiquement recalculée lors de chaque nouvelle série analytique car la sensibilité de la chaîne GC-ECD peut varier dans le temps. L'intensité de chaque pic du chromatogramme du premier point de la gamme d'étalonnage (solution à 0,50 µg/L) est comparée à la valeur du bruit de fond du chromatogramme, calculé à l'aide du logiciel d'acquisition du GC-ECD. Si l'intensité du pic est supérieure à 10 fois la valeur du bruit de fond, la LQ recalculée du composé considéré est fixée à 0,50 µg/kg. Sinon, l'intensité des pics et le bruit de fond sont comparés pour le point de gamme d'étalonnage suivant (solution à 0,75 µg/L), etc.

Les incertitudes de mesure ont été évaluées avec une carte de contrôle établie d'après les résultats d'analyse d'un échantillon de MES de la Bourbre (un affluent de Rhône) qui est extrait puis analysé à chaque série de 10 échantillons. L'échantillon de MES de la Bourbre est utilisé comme matériau de référence car il n'existe pas de MES certifiées pour les gammes de concentrations en PCB et PBDE retrouvées dans les MES du bassin versant du Rhône. Cependant, l'incertitude sur la mesure de la concentration varie en fonction de la composition de la matrice analysée, de la performance du GC-ECD et du niveau de contamination de l'échantillon. Elle est donc systématiquement recalculée pour chaque échantillon d'après les règles suivantes :

- l'incertitude est estimée à 30% lorsque la différence relative entre les deux concentrations mesurées après séparation des composés sur les deux colonnes chromatographiques est inférieure à 30%. Cette incertitude est majorée à 60% pour les concentrations inférieures à 5 fois la LQ du composé ;
- l'incertitude est estimée à 100% lorsque la différence relative entre les deux concentrations mesurées après séparation des composés sur les deux colonnes chromatographiques est supérieure à 30% ;
- le résultat d'analyse est invalidé si la concentration mesurée dans les solutions étalons de contrôle ne respectent pas le critère d'acceptation de $\pm 60\%$ par rapport à la valeur cible pour la solution de contrôle à 2,5 µg/L et de $\pm 30\%$ par rapport à la valeur cible pour la solution de contrôle à 75 µg/L.

Le carbone organique particulaire (COP) a été analysé par le laboratoire d'analyse des sols de l'INRA d'Arras par décarbonatation selon la norme NF ISO 10694 [AFNOR, 1995]. La LQ de la méthode est estimée à 0,5 g/kg. Le modèle mathématique utilisé par l'INRA pour déterminer l'incertitude absolue (I , en g/kg) sur chaque concentration (C , en g/kg) est de la forme : $I = 0,031 * [C] + 0,20$. Pour les 8 échantillons étudiés, les incertitudes sur les concentrations en COP sont inférieures à 5% (comprises entre 3,9 et 4,4%).

La granulométrie des MES a été analysée par diffraction laser avec un granulomètre Cilas 1190 selon la norme ISO 13320 [AFNOR, 2009a]. Un sous-échantillon frais a été introduit dans la cuve de l'appareil en quantité suffisante pour être représentative de l'échantillon total tout en évitant les phénomènes de diffraction multiples engendrés par un nombre trop important de particules. La quantité d'échantillon introduit dans la cuve a été suivie grâce à la mesure de l'obscurité (en %), qui correspond au pourcentage de lumière atténuée par la présence des particules. Toutes les mesures ont été réalisées avec un taux d'obscurité optimal

compris entre 12 et 18% et en utilisant les ultrasons sur une durée de 20 secondes pendant la dispersion de l'échantillon dans le circuit de l'appareil puis pendant toute la durée de l'analyse. Le diamètre des particules présentes dans l'échantillon a été déterminé par l'appareil selon le modèle optique de Fraunhofer. L'appareil fournit une teneur (en % du volume) par classe de tailles de particules (en μm). Les proportions de chaque classe sont ensuite sommées pour exprimer les pourcentages de 6 fractions : les particules de diamètres inférieurs à 20 μm , les particules de 20 à 63 μm , les particules inférieures à 63 μm , les particules de 63 à 150 μm , les particules de 150 à 200 μm et les particules supérieures à 200 μm . L'incertitude de mesure de la granulométrie a été estimée grâce à l'analyse, à chaque série d'analyse, d'un échantillon de sédiment lyophilisé et broyé prélevé sur l'Azergues, un affluent de la Saône. Après suppression des mesures aberrantes détectées avec un test de Grubbs sur les 50 résultats d'analyse, la moyenne et l'écart-type ont été calculés pour chacune des 6 fractions. D'après les résultats, l'incertitude élargie avec un niveau de confiance à 95% sur la mesure des proportions des diamètres de particules est estimée à 12%.

Analyse des résultats au regard des incertitudes analytiques

Pour un jour de prélèvement et un paramètre donné, les deux systèmes de centrifugation sont considérés similaires au regard des incertitudes de mesure lorsque les barres d'erreur analytiques se recoupent.

Analyse statistique des résultats

Un test statistique t-test pour des échantillons appariés a été utilisé afin de déterminer si les concentrations en contaminants mesurées dans les MES prélevées avec les deux centrifugeuses sont significativement différentes. Pour cela, la différence entre deux concentrations appariées mesurées dans les MES issues des deux systèmes de prélèvements est calculée et un test est mené pour vérifier que la moyenne de toutes les différences est égale à 0.

Pour chaque paramètre, une valeur $t_{\text{calculé}}$ est calculée d'après l'Équation 4 [Miller, 2000].

$$t_{\text{calculé}} = \frac{\bar{d}\sqrt{n}}{S} \quad \text{Équation 4}$$

avec \bar{d} la moyenne des différences de chaque paire de concentrations, n le nombre de paires et S l'écart-type des différences de deux concentrations appariées.

La valeur absolue de $t_{\text{calculé}}$ est ensuite comparée à la valeur critique t_{table} lue dans une table. Pour un intervalle de confiance à 95% et un nombre de degrés de liberté égal à 3 (soit $n-1$), le t_{table} est égal à 3,18.

Si la valeur de $t_{\text{calculé}}$ est inférieure à t_{table} (3,18), l'hypothèse de départ n'est pas rejetée, c'est-à-dire que les concentrations en contaminants ou autres paramètres physico-chimiques mesurés dans les MES issues des deux centrifugeuses ne sont pas significativement différentes.

2.2.2. Résultats et discussion

Les résultats détaillés des concentrations en 12 contaminants, des teneurs en COP et de la composition granulométrique des échantillons de MES du Rhône à Jons prélevés simultanément avec les centrifugeuses fixe CEPA et mobile Westfalia pendant quatre périodes du 09/07/13 au 27/08/13 sont présentés en Annexe 6.

Etude des fréquences de quantification pour les contaminants

Les fréquences de quantification ont été calculées pour chaque contaminant, en distinguant les échantillons de MES prélevés avec la centrifugeuse mobile Westfalia et la centrifugeuse fixe CEPA (Tableau 11). Pour une meilleure lisibilité, les fréquences de quantification ont été regroupées en 6 classes et un code couleur a été attribué à chacune de ces classes d'après Poulier *et al.* (2018b).

Tableau 11 : Fréquence de quantification (en %) des 12 contaminants analysés dans les MES prélevées sur le Rhône à Jons avec les centrifugeuses fixe CEPA et mobile Westfalia durant quatre périodes du 09/07/2013 au 27/08/2013. Les fréquences de quantification du COP et des 6 fractions granulométriques étudiées ne sont pas présentées.

Paramètre		Centrifugeuse fixe CEPA n=4	Centrifugeuse mobile Westfalia n=4
Mercure		100	100
PCB indicateurs	PCB 28	0	0
	PCB 52	0	0
	PCB 101	100	100
	PCB 118	0	25
	PCB 138	100	100
	PCB 153	100	100
	PCB 180	100	100
	PCB Dioxin-Like		
	PCB 105	0	0
	PCB 156	0	0
PBDE	BDE 47	0	0
	BDE 99	0	0

Légende : 0% 1 – 10% 11 – 25% 26 – 50% 51 – 75% 76 – 100% Non calculée

Le code couleur est extrait de Poulhier, 2017.

Le mercure est toujours quantifié et parmi les contaminants organiques, seuls les PCB 101, 138, 153 et 180 sont quantifiés. Les fréquences de quantification des 12 contaminants analysés dans les MES du Rhône à Jons sont majoritairement identiques pour un même paramètre, quelle que soit la centrifugeuse utilisée pour le prélèvement. Seul le PCB 118 est quantifié une fois dans les MES prélevées avec la centrifugeuse Westfalia le 27 août 2013 (1,05 µg/kg), alors qu'il n'est pas quantifié dans les MES prélevées avec la centrifugeuse CEPA le même jour ; mais dans ce cas, la concentration quantifiée en PCB 118 est inférieure à 5 fois la valeur de la LQ (0,50 µg/kg) et l'incertitude sur le résultat est de 60%.

Comparaison des concentrations mesurées dans les matières en suspension prélevées à l'aide des deux centrifugeuses

Une comparaison des concentrations mesurées dans les MES prélevées à l'aide des deux centrifugeuses Westfalia et CEPA a été réalisée uniquement pour les 5 contaminants toujours quantifiés (Hg, PCB 101, PCB 138, PCB 153, PCB 180), ainsi que pour le COP et la granulométrie (fraction inférieure à 20 µm, fraction de 20 à 63 µm, fraction inférieure à 63 µm, fraction de 63 à 200 µm et fraction supérieure à 200 µm). Les fractions granulométriques de 63 à 150 µm et de 150 à 200 µm ont été regroupées car elles sont très peu présentes (Figure 16).

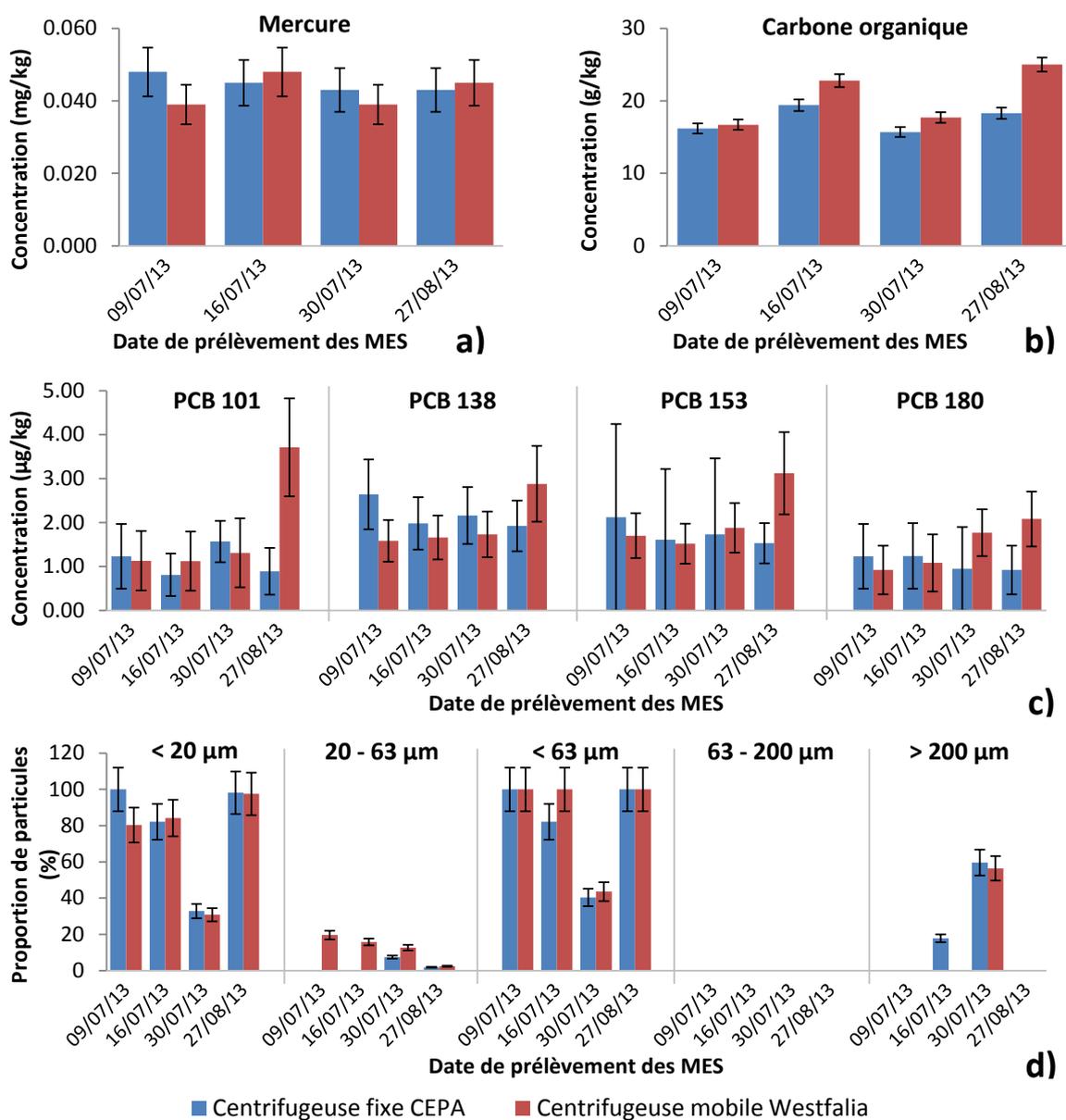


Figure 16 : Résultats d'analyses a) du mercure, b) du carbone organique particulaire, c) des 4 PCB quantifiés et d) de 5 fractions granulométriques mesurés dans des échantillons de MES prélevés sur le Rhône à Jons avec la centrifugeuse fixe CEPA et la centrifugeuse mobile Westfalia durant quatre périodes du 09/07/2013 au 27/08/2013. Les fractions granulométriques de 63 à 150 µm et de 150 à 200 µm ont été regroupées.

Les concentrations en mercure, PCB 138 et PCB 180 mesurées dans les MES prélevées avec les deux centrifugeuses durant les quatre périodes de prélèvements sont similaires au regard des incertitudes analytiques.

Les concentrations en PCB 101 et PCB 153 mesurées dans les MES prélevées du 9 au 30 juillet 2013 avec les deux centrifugeuses sont similaires au regard des incertitudes analytiques. En revanche, les concentrations de ces deux congénères mesurées dans l'échantillon de MES prélevé le 27 août avec la centrifugeuse mobile Westfalia sont toujours plus élevées que celles mesurées dans l'échantillon prélevé le même jour avec la centrifugeuse fixe CEPA (2,5 fois plus élevées en moyenne) et sont différentes au regard des incertitudes analytiques. Les différences relatives des concentrations de ces 2 congénères mesurées dans les échantillons du 27 août sont de 61% pour le PCB 153 et de 123% pour le PCB 101 (cf. Annexe 7). Les concentrations en PCB 138 et PCB 153 sont également plus élevées dans l'échantillon de MES prélevées avec la centrifugeuse mobile que dans celles prélevées avec la centrifugeuse fixe ; cependant, ces concentrations ne sont pas différentes

au regard des incertitudes de mesure. Ces plus fortes concentrations en PCB mesurées dans l'échantillon de centrifugeuse mobile pourraient s'expliquer par une concentration plus importante en COP dans l'échantillon de MES prélevé avec la centrifugeuse mobile que dans celui prélevé avec la centrifugeuse fixe. En effet, les concentrations en COP dans les deux échantillons de MES prélevés le 27 août sont différentes au regard des incertitudes de mesure (qui semblent faibles) ; les deux concentrations ont une différence relative de 31%.

En tenant compte des incertitudes de mesure, les concentrations en COP sont également différentes dans les échantillons de MES prélevés avec les deux centrifugeuses les 16 et 30 juillet (différences relatives respectivement de 16 et 12%). L'incertitude de mesure fournie par l'INRA (<5%) est peut-être sous-estimée.

Les deux prélèvements de MES collectés le 30 juillet ne contiennent pas de particules comprises entre 63 et 200 μm de diamètre alors qu'ils contiennent en moyenne 58% de particules de diamètres supérieurs à 200 μm (sables). Ces résultats ne semblent pas réalistes et proviennent probablement d'une erreur analytique ; toutes les mesures réalisées sur ces échantillons sont donc écartées pour comparer les deux systèmes de centrifugation.

Pour les 3 périodes de prélèvement, les particules de diamètres inférieurs à 20 μm et inférieurs à 63 μm sont présentes en proportions identiques dans les deux échantillons de centrifugeuse mobile et fixe au regard des incertitudes de mesure. En revanche, les particules de diamètres compris entre 20 et 63 μm sont toujours présentes en quantité plus importante dans l'échantillon de MES collecté avec la centrifugeuse mobile qu'avec la centrifugeuse fixe. En effet, le 9 et le 16 juillet, les échantillons de MES collectés avec la centrifugeuse mobile contiennent en moyenne 18% de particules de diamètre 20-63 μm alors que les échantillons collectés avec la centrifugeuse fixe n'en contiennent pas. L'échantillon collecté le 27 août avec la centrifugeuse mobile contient 35% de particules de diamètres 20-63 μm en plus que l'échantillon collecté avec la centrifugeuse fixe.

La totalité des particules contenues dans les échantillons analysés ont un diamètre inférieur à 63 μm , sauf pour l'échantillon prélevé le 16 juillet avec la centrifugeuse fixe. Dans cet échantillon, les particules fines inférieures à 63 μm sont présentes en plus faible proportion (82%), tandis qu'une fraction de particules plus grossières (> 200 μm), non présente dans les autres échantillons, apparaît (proportion de 18%). Cette différence de proportions de particules de diamètres 20-63 μm observés entre les 2 systèmes de centrifugation pourrait peut-être s'expliquer par une erreur de sous-échantillonnage des MES collectées avec la centrifugeuse fixe. En effet, des tests menés entre juillet et novembre 2016 ont mis en évidence un biais granulométrique induit par la technique de sous-échantillonnage pour l'analyse de la granulométrie, favorisant la présence de particules très fines (< 10 μm) par rapport à l'échantillon total. La technique de sous-échantillonnage a été modifiée depuis novembre 2016.

Les fractions granulométriques de 63 à 150 μm et de 150 à 200 μm sont présentes en proportions nulles ou très faibles (< 0,01%) dans tous les échantillons analysés. Seul l'échantillon de MES prélevé avec la centrifugeuse fixe le 27 août contient des particules de diamètres compris entre 63 et 150 μm ; cette observation est cependant à nuancer car la quantité mesurée est très faible (0,01%).

En conclusion, les fractions granulométriques inférieures à 20 μm et à 63 μm sont présentes en proportions identiques dans les échantillons de MES prélevés avec les centrifugeuses fixe et mobile. Les particules de diamètres supérieurs à 63 μm ne sont généralement pas ou peu présentes dans les échantillons étudiés. En revanche, les échantillons de MES prélevés par centrifugeuse mobile contiennent toujours plus de particules de diamètres 20 à 63 μm que l'échantillon de centrifugeuse fixe ; cette différence pourrait s'expliquer par une erreur de sous-échantillonnage.

Le t-test a été mené sur les mêmes contaminants (Tableau 12).

Tableau 12 : Résultats du t-test sur les mesures appariées des contaminants (Hg et 4 PCBi) et autres paramètres physico-chimiques (COP, granulométrie) analysés dans des échantillons de matières en suspension prélevés sur le Rhône à Jons simultanément à l'aide des centrifugeuses Westfalia et CEPA pendant quatre périodes de prélèvements du 09/07/2013 au 27/08/2013.

Paramètre	Valeur absolue de $t_{\text{calculé}}$	Résultat du t-test	
Mercuré	0,71	Non significativement différents	
PCB indicateurs	PCB 101	0,96	Non significativement différents
	PCB 138	0,26	Non significativement différents
	PCB 153	0,54	Non significativement différents
	PCB 180	1,04	Non significativement différents
Carbone organique particulaire	2,38	Non significativement différents	
Granulométrie	< 20 μm	1,02	Non significativement différents
	20 - 63 μm	2,33	Non significativement différents
	< 63 μm	1,24	Non significativement différents
	63 - 150 μm	1,00	Non significativement différents
	150 - 200 μm	Non calculable (moyenne égale à 0)	/
	> 200 μm	1,24	Non significativement différents

Toutes les valeurs de $t_{\text{calculé}}$ du t-test sur des données appariées des 5 contaminants quantifiés (Hg, PCB 101, PCB 138, PCB 153 et PCB 180) et autres paramètres physico-chimiques (COP et granulométrie) sont inférieures à 3,18. D'après le t-test, les concentrations des paramètres physico-chimiques analysés dans les MES prélevées avec les deux centrifugeuses ne sont donc pas significativement différentes pour un intervalle de confiance à 95%.

2.2.3. Conclusion

Les concentrations en mercure, PCB, PBDE et COP ainsi que la distribution granulométrique de MES prélevées simultanément dans le Rhône à Jons avec deux centrifugeuses de spécifications techniques différentes dans des situations hydrologiques variées ont été comparées. L'interprétation graphique des résultats prenant en compte les incertitudes analytiques et l'analyse statistique de l'ensemble des données appariées par paramètre (t-test) montrent que les mesures réalisées dans les MES issues des deux centrifugeuses sont similaires. Sur la station du Rhône à Jons, le changement de centrifugeuse pour le prélèvement ponctuel de MES survenu le 9 juillet 2013 n'a pas d'impact sur la continuité des séries temporelles de concentrations en contaminants. L'ensemble des chroniques de concentrations en contaminants générées sur cette station depuis le début du programme OSR peut être utilisé avec confiance.

2.3. Conclusion du Chapitre 2

Dans l'OSR, les concentrations en contaminants particuliers sur les stations principales du Rhône sont suivies dans des MES prélevés ponctuellement par centrifugation en continu de l'eau du Rhône. Sur la station de Jons, deux centrifugeuses différentes se sont succédées.

Dans un premier temps, l'évaluation de la représentativité des MES prélevées avec la centrifugeuse fixe en service depuis juillet 2013 a montré que la granulométrie des particules contenues dans l'eau qui alimente la centrifugeuse est similaire à celle des particules qui transitent dans le Rhône. La méthode de sous-échantillonnage des particules centrifugées pour l'analyse de la distribution granulométrique est une étape importante. La méthode utilisée jusqu'en novembre 2016, qui consiste à prélever une petite bande de MES sur toute la longueur de la feuille de Téflon, induit un biais et contribue à l'augmentation des proportions de particules fines par rapport aux plus grossières. En revanche, les particules contenues dans un sous-échantillon de MES prélevé après homogénéisation de l'échantillon total ont une distribution granulométrique similaire à celle de l'eau du Rhône et sont donc représentatives des particules qui transitent dans le Rhône. A Jons, ce protocole de sous-échantillonnage est suivi depuis le 23 novembre 2016.

Dans un deuxième temps, ce chapitre s'est intéressé à la comparaison des concentrations en contaminants (mercure, PCB, PBDE) et en COP ainsi qu'à la distribution granulométrique des MES prélevées avec deux centrifugeuses différentes dans des situations hydrologiques variées. Les résultats des mesures sont similaires avec les deux centrifugeuses en tenant compte des incertitudes analytiques. Ces conclusions ont été confirmées par un test statistique (t-test sur des données appariées). Sur la station du Rhône à Jons, le changement de centrifugeuse pour le prélèvement ponctuel de MES survenu le 17 juin 2014 n'a pas d'impact sur la continuité des séries temporelles de concentrations en contaminants. L'ensemble des chroniques de concentrations en contaminants générées sur cette station depuis le début du programme OSR peut être utilisé avec confiance.

3. ANALYSE DES TENDANCES TEMPORELLES DES CONCENTRATIONS EN CONTAMINANTS PARTICULAIRES SUR LE RHONE A JONS POUR ALLEGER LA FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE DES MATIERES EN SUSPENSION

C. Le Bescond, A. Dabrin, M. Coquery, J. Le Coz, A. Yari.

3.1. Objectifs

Sur les deux stations principales du Rhône à Jons et à Arles, les échantillons de MES sont collectés ponctuellement à l'aide d'une centrifugeuse en continu (CEPA Z61). Ces deux stations disposent d'un équipement similaire afin de collecter des échantillons issus d'une même méthode de prélèvement. La station de Jons dispose également d'un piège à particules immergé, qui permet de collecter des MES sur une longue période (cf. Chapitre 1, partie 4). Quelle que soit la technique de prélèvement, la fréquence d'échantillonnage à ces deux stations bimensuelles en régime de base et plus élevée en période de crue [Le Bescond et al., 2017].

L'étude de l'ensemble des données des concentrations générées depuis 2011 sur plusieurs familles de contaminants organiques a permis d'évaluer la variabilité temporelle des concentrations en contaminants à Jons et à Arles [Poulier et al., 2018b]. Or, les prélèvements par centrifugation requièrent un temps de préparation et de fonctionnement conséquent ainsi qu'une formation préalable des utilisateurs. L'objectif de cette étude est de comparer les tendances temporelles des concentrations en contaminants particulaire « historiques » de l'OSR observées grâce à des données acquises selon une fréquence bimensuelle ou bien mensuelle, afin de définir s'il est envisageable d'alléger la fréquence de collecte des échantillons de MES sur la station de Jons sans perdre d'information.

3.2. Matériel et méthode

3.2.1. Séries temporelles complètes

L'étude des tendances temporelles a porté sur les données de concentrations en mercure (Hg), en PCB indicateurs (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 153 et PCB 180) et en ETM (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) mesurées dans le MES sur la station du Rhône à Jons depuis le début du suivi de l'OSR en mars 2011 et jusqu'en septembre 2017 selon une fréquence bimensuelle.

Les concentrations mesurées dans les MES prélevées par pièges à particules et par centrifugation ont été traitées séparément (Tableau 13).

Tableau 13 : Présentation des séries temporelles complètes de concentrations de 16 contaminants organiques et inorganiques analysés dans des MES prélevées sur le Rhône à Jons par pièges à particules et par centrifugation toutes les deux semaines depuis mars 2011 et jusqu'à septembre 2017. La fréquence de quantification (%) et le nombre de données disponibles en régime hydrologique de base et en période de crue et de chasse de barrage sont indiqués pour chaque contaminant.

	Série de données complète issue de centrifugation					Série de données complète issue du piège à particules				
	Nombre de données	Durée entre la première et la dernière donnée (jours)	Fréquence de quantification (%)	Données en régime de base	Données en période de crue et de chasse	Nombre de données	Durée entre la première et la dernière donnée (jours)	Fréquence de quantification (%)	Données en régime de base	Données en période de crue et de chasse
Hg	163	2373	100	115	48	148	2260	100	92	56
PCB 28	106	1680	1,9	67	39	116	1980	13,8	64	52
PCB 52	106	1680	1,9	67	39	116	1980	6,9	64	52
PCB 101	106	1680	77,4	67	39	116	1980	70,7	64	52
PCB 118	106	1680	39,6	67	39	116	1980	33,6	64	52
PCB 138	106	1680	88,7	67	39	116	1980	94,0	64	52
PCB 153	106	1680	89,6	67	39	116	1980	87,9	64	52
PCB 180	106	1680	87,7	67	39	116	1980	90,5	64	52
As	136	1960	100	96	40	/	/	/	/	/
Cd	134	1960	100	94	40	/	/	/	/	/
Co	136	1960	100	96	40	/	/	/	/	/
Cr	136	1960	100	96	40	/	/	/	/	/
Cu	136	1960	100	96	40	/	/	/	/	/
Ni	136	1960	100	96	40	/	/	/	/	/
Pb	136	1960	100	96	40	/	/	/	/	/
Zn	136	1960	100	96	40	/	/	/	/	/

Les ETM ont été analysés par le CEREGE uniquement dans les échantillons prélevés par centrifugation. Les concentrations en Cd sont manquantes pour deux échantillons. Les données mesurées dans l'échantillon de MES prélevé par centrifugation le 04/06/13 ont été supprimées car les concentrations en Cu, Pb et Zn mesurées dans cet échantillon sont 8 à 16 fois plus élevées que la moyenne de toutes les autres données.

3.2.2. Séries temporelles dégradées

Au total, 24 séries temporelles complètes de contaminants sont disponibles pour la station de Jons, dont 16 séries temporelles complètes de concentrations issues de centrifugation et 8 séries temporelles complètes issues du piège à particules. Ces 24 séries temporelles complètes de concentrations en contaminants établies grâce à un échantillonnage de MES bimensuel ont ensuite été dégradées afin de simuler une fréquence d'échantillonnage mensuelle.

Séries temporelles dégradées issues de centrifugation

La liste des échantillons de MES prélevés par centrifugation a été tronquée afin de conserver un échantillon sur deux, soit un seul échantillon par mois. Il en résulte deux séries temporelles dégradées, appelées série dégradée 1 et série dégradée 2. En période de crue ou d'évènement de chasse de barrage, les échantillonnages ont été intensifiés et tous ces échantillons ont été conservés dans les deux séries dégradées (Figure 17).

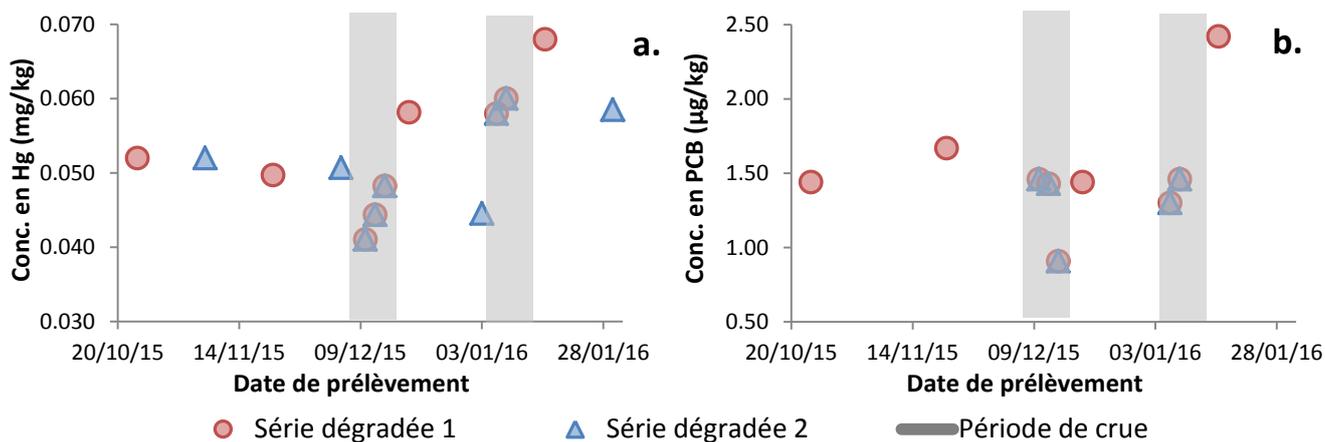


Figure 17 : Exemple de deux séries temporelles dégradées de concentrations en Hg (a) et en PCB 180 (b) analysés dans des échantillons de MES prélevés sur le Rhône à Jons par centrifugation toutes les deux semaines. En période de crue, les concentrations sont conservées à l'identique dans les deux séries temporelles dégradées.

Les séries dégradées 1 et 2 n'ont pas le même nombre de données. Par exemple, les PCB ont souvent été analysés dans un échantillon sur deux prélevé en régime hydrologique de base, ce qui correspond déjà à une donnée mensuelle de concentration (Tableau 14). La première série temporelle dégradée de concentration en PCB contient donc toutes les données acquises en régime de base, alors que la seconde série temporelle dégradée n'en contient aucune.

Séries temporelles dégradées issues du piège à particules

Les échantillons de MES prélevés par piège à particules de la série complète bimensuelle ont été regroupés deux par deux pour imiter un prélèvement intégratif sur un mois. La moyenne des concentrations en contaminants mesurées dans les MES prélevées à une fréquence bimensuelle dans les deux pièges regroupés a été calculée pour créer la série temporelle dégradée mensuelle de concentration en contaminants.

Les échantillons prélevés en période de crue ou lors d'évènement de chasse de barrage ont été conservés individuellement. Certains échantillons de MES ont été prélevés sur quatre semaines au lieu de deux car la quantité de MES piégée au bout de deux semaines d'immersion était insuffisante. Dans ce cas, l'échantillon de la série temporelle complète a été conservé à l'identique dans la série temporelle dégradée. Pour des raisons pratiques, certains pièges à particules ont été immergés trois semaines au lieu de deux. Dans ce cas, le regroupement des échantillons s'est basé, autant que possible, sur les mêmes dates que celles choisies dans le premier jeu de données dégradé issu de centrifugation.

Les données non quantifiées ont été remplacées par la valeur de LQ. Lorsqu'un des deux échantillons regroupés n'a pas été analysé, la concentration dans la série temporelle dégradée correspond à l'unique valeur mesurée dans l'autre échantillon de MES (Figure 18).

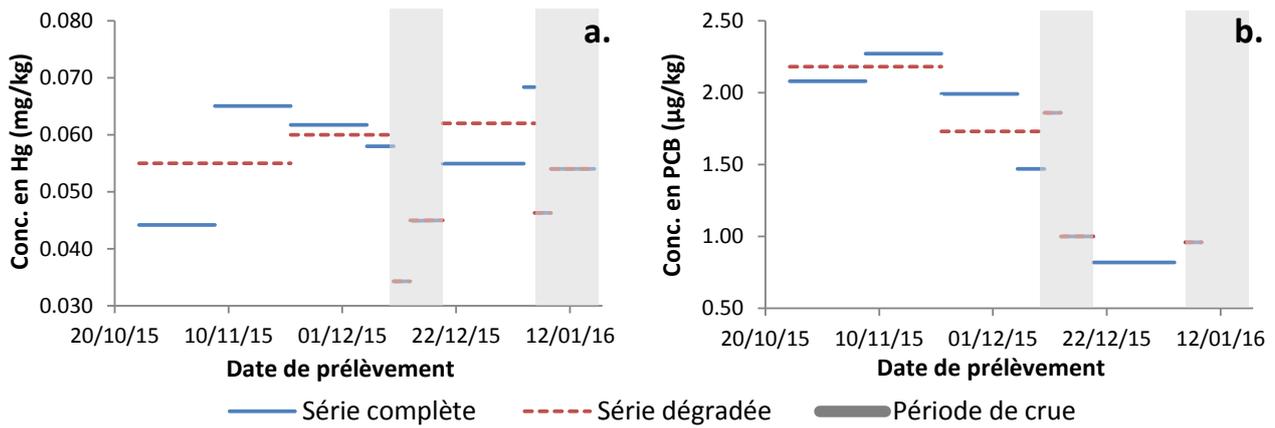


Figure 18 : Exemple de deux séries temporelles de concentrations en Hg (a) et en PCB 180 (b) analysés dans des échantillons de MES prélevés sur le Rhône à Jons à l'aide d'un piège à particules sur une durée de deux semaines. En période de crue, les concentrations de chaque contaminant sont conservées à l'identique dans les séries temporelles dégradées.

Le Tableau 14 récapitule, pour chaque mode de prélèvements, le nombre de données de concentrations, la fréquence de quantification des seize contaminants étudiés pour chaque série temporelle dégradée et le nombre de données disponibles pour chaque régime hydrologique (base ou période de crue et de chasse de barrage).

Tableau 14 : Présentation des séries temporelles dégradées de concentrations de 16 contaminants organiques et inorganiques issues de la série temporelle complète de concentrations en contaminants analysés dans des MES prélevées sur le Rhône à Jons par centrifugation et par piège à particules toutes les deux semaines depuis mars 2011 et jusqu'à septembre 2017. La fréquence de quantification (%) et le nombre de données disponibles en régime hydrologique de base et en période de crue et de chasse de barrage sont indiqués pour chaque contaminant.

	Centrifugeuse – Série dégradée 1				Centrifugeuse - Série dégradée 2				Piège à particules – Série dégradée			
	Nombre de données	Fréquence de quantification (%)	Données en régime de base	Données en période de crue et de chasse	Nombre de données	Fréquence de quantification (%)	Données en régime de base	Données en période de crue et de chasse	Nombre de données	Fréquence de quantification (%)	Données en régime de base	Données en période de crue et de chasse
Hg	105	100	57	48	106	100	58	48	110	100	54	56
PCB 28	70	2,9	31	39	75	1,3	36	39	92	16,3	40	52
PCB 52	70	2,9	31	39	75	1,3	36	39	92	8,7	40	52
PCB 101	70	77,1	31	39	75	74,7	36	39	92	73,9	40	52
PCB 118	70	42,9	31	39	75	32,0	36	39	92	38,0	40	52
PCB 138	70	91,4	31	39	75	86,7	36	39	92	95,7	40	52
PCB 153	70	92,9	31	39	75	85,3	36	39	92	89,1	40	52
PCB 180	70	85,7	31	39	75	86,7	36	39	92	92,4	40	52
As	86	100	46	40	90	100	50	40	/	/	/	/
Cd	86	100	46	40	88	100	48	40	/	/	/	/
Co	86	100	46	40	90	100	50	40	/	/	/	/
Cr	86	100	46	40	90	100	50	40	/	/	/	/
Cu	86	100	46	40	90	100	50	40	/	/	/	/
Ni	86	100	46	40	90	100	50	40	/	/	/	/
Pb	86	100	46	40	90	100	50	40	/	/	/	/
Zn	86	100	46	40	90	100	50	40	/	/	/	/

Les données mesurées dans l'échantillon de MES prélevé par centrifugation le 4 juin 2013 ont été supprimées car les concentrations en PCB 138, PCB 153 et PCB 180 mesurées dans cet échantillon sont 8 à 21 fois supérieures à la moyenne des 116 autres données de concentrations.

3.2.3. L'outil HYPE pour l'évaluation des tendances temporelles

Pour détecter des changements de moyennes ou des ruptures de tendances dans les séries temporelles complètes et dégradées de concentrations en contaminants dans les MES, les données ont été traitées avec l'outil statistique HYPE. Il s'agit d'un script R développé par le BRGM [Croizet *et al.*, 2013] qui permet de déceler une stabilisation, une diminution ou une augmentation progressive dans les valeurs d'une série temporelle. Des précisions sur l'interprétation des graphiques issus de l'outil HYPE sont disponibles dans Poulhier *et al.*, 2018b (Chapitre 2, partie 5.2).

Les PCB 28, PCB 52 et PCB 118 ont une fréquence de quantification inférieure à 50%, ce qui rend beaucoup moins fiables les tests statistiques utilisés dans HYPE. Pour ces trois PCB, les résultats fournis par HYPE ne sont pas exploités.

3.3. Résultats : comparaison des tendances des séries temporelles et complètes dégradées

Les graphiques des tendances détectées par HYPE dans les séries temporelles complètes et dégradées de concentrations en contaminants particuliers sont disponibles en Annexe 8.

3.3.1. Séries temporelles issues de centrifugation

Les résultats des tendances générales et des changements de moyenne observés par l'outil HYPE dans les séries temporelles complètes et dégradées de concentrations en Hg, en PCB indicateurs et en ETM issues de centrifugation ont été comparés (Tableau 15).

Tableau 15 : Tendances temporelles et changements de moyenne dans les séries temporelles complètes d'une part et dégradées 1 et 2 d'autre part de concentrations en Hg, PCB indicateurs et ETM analysés dans des MES prélevées sur le Rhône à Jons par centrifugation entre mars 2011 et septembre 2017. La date de changement de moyenne est indiquée entre parenthèses.

	Tendance générale			Changement de moyenne		
	Série temporelle complète	Série dégradée 1	Série dégradée 2	Série temporelle complète	Série dégradée 1	Série dégradée 2
Hg	Pas de tendance	Pas de tendance	Pas de tendance	Pas de rupture	0,05 - 0,06 mg/kg (05/11/13)	Pas de rupture
PCB 101	-0,01 µg/kg/an	Pas de tendance	Pas de tendance	1,89 - 1,19 µg/kg (22/05/12)	1,83 - 1,17 µg/kg (22/05/12)	1,31 - 0,90 µg/kg (20/01/15)
PCB 138	-0,33 µg/kg/an	-0,29 µg/kg/an	-0,29 µg/kg/an	2,61 - 1,32 µg/kg (17/03/15)	3,70 - 1,99 µg/kg (22/05/12)	2,39 - 1,22 µg/kg (17/03/15)
PCB 153	-0,44 µg/kg/an	-0,45 µg/kg/an	-0,36 µg/kg/an	Pas de rupture	3,61 - 1,66 µg/kg (22/05/12)	Pas de rupture
PCB 180	Pas de tendance	Pas de tendance	Pas de tendance	Pas de rupture	1,76 - 1,21 µg/kg (22/05/12)	Pas de rupture
As	+0,80 mg/kg/an	+1,05 mg/kg/an	+0,50 mg/kg/an	8,68 - 12,79 mg/kg (08/01/13)	8,05 - 12,81 mg/kg (08/01/13)	8,83 - 12,77 mg/kg (17/12/12)
Cd	-0,02 mg/kg/an	-0,02 mg/kg/an	-0,02 mg/kg/an	Pas de rupture	Pas de rupture	Pas de rupture
Co	Pas de tendance	Pas de tendance	Pas de tendance	10,1 - 9,35 mg/kg (16/12/14)	9,16 - 10,07 mg/kg (09/04/13)	10,17 - 9,37 mg/kg (03/12/14)
Cr	-2,17 mg/kg/an	Pas de tendance	-2,43 mg/kg/an	77,18 - 67,06 mg/kg (26/08/14)	75,45 - 67,36 mg/kg (31/03/15)	78,73 - 67,79 mg/kg (12/08/14)
Cu	Pas de tendance	Pas de tendance	Pas de tendance	42,06 - 61,37 mg/kg (22/04/14)	Pas de rupture	Pas de rupture
Ni	-1,65 mg/kg/an	-1,24 mg/kg/an	-1,58 mg/kg/an	Pas de rupture	42,17 - 36,43 mg/kg (12/08/14)	43,35 - 36,28 mg/kg (12/08/14)
Pb	Pas de tendance	+1,01 mg/kg/an	Pas de tendance	27,05 - 29,23 mg/kg (26/05/15)	26,11 - 29,52 mg/kg (26/05/15)	Pas de rupture
Zn	Pas de tendance	Pas de tendance	Pas de tendance	130,12 - 157,09 mg/kg (23/06/15)	119,28 - 161,17 mg/kg (23/06/15)	Pas de rupture

Légende

- Tendance générale ou changement de moyenne identique dans la série dégradée et la série complète
- Changement de tendance ou de moyenne dans la série dégradée par rapport à la série complète

Pour les 13 composés étudiés, les tendances observées dans la série dégradée 1 sont similaires à celles observées dans la série temporelle complète dans 77% des cas ; dans la série dégradée 2, elles le sont à 92%. Les tendances générales détectées par HYPE dans les deux séries dégradées sont similaires dans 85% des cas.

HYPE détecte une très faible baisse (-0,01 µg/kg/an) des concentrations en PCB 180 dans le temps dans la série complète qui n'est détectée dans aucune des deux séries temporelles dégradées.

Il détecte une tendance à la baisse dans la série temporelle complète de concentration en Cr, qui est également détectée dans la série dégradée 2, alors qu'aucune tendance n'est détectée dans la série dégradée 1. Aucune tendance n'est observée dans les séries complète et dégradé 2 de concentration en Pb alors que la série dégradée 1 présente une tendance générale à la hausse (+1,01 mg/kg/an).

Pour les 13 composés étudiés, les changements de moyennes observés dans la série dégradée 1 sont similaires à ceux observés dans la série temporelle complète dans 46% des cas ; dans la série dégradée 2, ils le sont à 69%. Les changements de moyenne détectés par HYPE dans les deux séries dégradées sont similaires dans 46% des cas. Ces différences pourraient être en lien avec le nombre de données plus important dans la série dégradée 2 que dans la série dégradée 1 (cf. Tableau 14).

Pour les 4 PCB étudiés, les changements de moyenne dans la série dégradée 2 sont tous identiques à ceux observés dans la série complète. En revanche, dans la série dégradée 1, les résultats de HYPE sont différents

pour 3 des 4 PCB étudiés, soit parce que la baisse de moyenne détectée par HYPE dans la série dégradée 1 n'est pas détectée dans la série complète (cas des PCB 153 et 180), soit parce que la date du changement diffère (cas du PCB 138, qui montre une rupture en mai 2012 alors que la rupture dans les série complète et dégradée 2 est observée en mars 2015).

Sur les 9 métaux étudiés, 3 présentent des changements de moyenne similaires dans la série complète et les 2 séries dégradées (As, Cd et Cr).

La série complète de concentration en Hg ne présente pas de rupture de moyenne, tout comme la série dégradée 2, tandis que la série dégradée 1 montre une hausse de moyenne de 20%. Les séries complète et dégradée 2 de concentration en Co présentent une baisse de leur moyenne (-8% en moyenne) tandis que HYPE détecte une hausse de 10% dans la série dégradée 2.

HYPE ne détecte pas de changement de moyenne dans la série complète de concentration en Ni, alors qu'il détecte une baisse de moyenne au même moment dans les deux séries dégradées (-15% en moyenne). A l'inverse, HYPE détecte un changement de moyenne dans la série complète de concentration en Cu (+46%) qui n'est détecté dans aucune des deux séries temporelles dégradées.

HYPE détecte une augmentation de moyenne dans les séries complète et dégradée 1 de concentration en Pb (+11% en moyenne) et Zn (+28% en moyenne) qui n'est pas observée dans la série dégradé 2.

D'après ces résultats, les tendances observées dans les séries temporelles dégradées 1 et 2 (mensuelles) sont similaires à celles observées dans les séries temporelles complètes bimensuelles, alors que les ruptures de moyenne (différence de concentration avant et après rupture, et date du changement) peuvent varier entre la série complète et les 2 séries dégradées. Sur la base de ces observations, le suivi des concentrations en contaminants particuliers sur le Rhône à Jons par centrifugation peut être allégé. La fréquence de prélèvement peut être abaissée à un seul échantillonnage par mois au lieu de deux par mois en régime de base.

3.3.2. Séries temporelles issues du piège à particules

Les résultats des tendances générales et des changements de moyenne observés par l'outil HYPE dans les séries temporelles complètes et dégradées de concentrations en Hg et en PCB indicateurs issues de piège à particules ont été comparés (Tableau 16). Pour rappel, les ETM n'ont pas été analysés dans les échantillons prélevés par piège à particules (cf. Chapitre 3, partie 2.2).

Tableau 16 : Tendances temporelles et changements de moyenne dans les séries temporelles complètes d'une part et dégradées d'autre part de concentrations en Hg et PCB indicateurs analysés dans des MES prélevées sur le Rhône à Jons par piège à particules entre juin 2011 et septembre 2017. La date de changement de moyenne est indiquée entre parenthèses.

	Tendance générale		Changement de moyenne	
	Série temporelle complète	Série dégradée	Série temporelle complète	Série dégradée
Hg	Pas de tendance	Pas de tendance	Pas de rupture	Pas de rupture
PCB 101	-0,16 µg/kg/an	-0,16 µg/kg/an	Pas de rupture	Pas de rupture
PCB 138	-0,26 µg/kg/an	-0,23 µg/kg/an	Pas de rupture	Pas de rupture
PCB 153	-0,30 µg/kg/an	-0,27 µg/kg/an	Pas de rupture	Pas de rupture
PCB 180	-0,07 µg/kg/an	Pas de tendance	1,52 – 1,03 µg/kg (09/04/14)	1,46 – 0,99 µg/kg (09/04/14)

Légende

- Tendance générale ou changement de moyenne identique dans la série dégradée et la série complète
- Changement de tendance ou de moyenne dans la série dégradée par rapport à la série complète

Pour les 5 composés étudiés, les tendances observées dans la série dégradée sont similaires à celles observées dans la série complète dans 80% des cas. Tous les changements de moyenne sont identiques dans les 2 séries temporelles.

Les séries complètes des concentrations des 4 PCB étudiés présentent une tendance générale à la baisse qui est également identifiée avec des pentes similaires dans les séries dégradées, sauf pour le PCB 180 (pas de tendance).

Pour 4 des 5 composés étudiés, aucun changement significatif de moyenne n'est détecté par HYPE ni dans les séries complètes ni dans les séries dégradées. Seules les séries de concentration en PCB 180 montrent une baisse de leurs concentrations de -32% ; ce changement de moyenne intervient à la même date dans la série complète et la série dégradée.

Ces résultats montrent que les tendances et les moyennes observées sur les concentrations en Hg et en 4 PCB indicateurs dans des MES prélevées à l'aide d'un piège à particules sont similaires dans les séries temporelles complètes d'une part et dégradées d'autre part. Sur la base de ces observations, le suivi des concentrations en contaminants particuliers sur le Rhône à Jons par piège à particules peut être allégé. En régime hydrologique de base, le piège à particules peut échantillonner des MES sur une période d'un mois au lieu de deux semaines.

3.4. Conclusion et perspectives du Chapitre 3

Les concentrations en contaminants particuliers sur la station du Rhône à Jons sont suivies grâce à des prélèvements bimensuels de MES réalisés par centrifugation et à l'aide d'un piège à particules, complétés par un échantillonnage plus fin lors de crue et d'évènement de chasse de barrage. Les séries temporelles de concentrations en contaminants acquises depuis le début du programme OSR ont été dégradées afin de simuler une fréquence de prélèvement mensuelle, en conservant à l'identique les concentrations mesurées dans les échantillons prélevés en crue et en période de chasse de barrage. La comparaison des séries temporelles complètes et dégradées de concentrations en Hg, PCB indicateurs et ETM sur la période mars 2011-septembre 2017 a montré que les tendances temporelles sont similaires lorsque les prélèvements en régime hydrologique de base sont bimensuels ou mensuels.

A partir du 13 mars 2018, le suivi des concentrations en contaminants à Jons en régime hydrologique de base sera allégé. La fréquence de prélèvement, jusqu'alors bimensuelle, sera fixée à une fois par mois. La relève du piège à particules déployé sur la station de Jons s'effectuera, autant que possible, durant la même semaine que celle des pièges à particules installés sur les stations secondaires des affluents gérés par Irstea (Fier, Saône et Gier). Cette synchronisation permettra de minimiser les lacunes dans les séries temporelles de concentrations en contaminants sur des périodes différentes. Les prélèvements continueront d'être intensifiés en période de crue.

4. ETUDE COMPARATIVE DE LA CONTAMINATION DES MATIERES EN SUSPENSION A L'AMONT ET A L'AVAL DE LA METROPOLE DE LYON

C. Le Bescond, C. Miège, A. Dabrin, M. Coquery, J. Le Coz, M. Lagouy, F. Thollet, G. Dramais, J. Panay, G. Grisot, L. Dherret

4.1. Objectifs

Dans le cadre de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), les flux de contaminants sur le Rhône sont estimés finement grâce à deux stations de mesure, l'une située à une vingtaine de kilomètres en amont de Lyon, l'autre à Arles (Figure 1). Entre ces deux stations distantes d'environ 300 km, des affluents comme la Saône, l'Isère et la Durance (stations OSR) contribuent aux apports de MES et de contaminants associés dans le Rhône. Pour les flux de contaminants, se pose également la question des pollutions intermédiaires (ou enrichissement) apportées par la Métropole de Lyon, qui englobe la ville de Lyon et la vallée de la chimie. Or, il n'est pas possible de mesurer correctement les flux de MES en aval de Lyon, dans le secteur de Chasse-sur-Rhône, car les concentrations en MES sur cette section sont suspectées d'être hétérogènes en raison de la proximité de la confluence Rhône/Saône (distance de bon mélange des eaux non atteinte) et de l'aménagement de Pierre-Bénite qui sépare les écoulements du Vieux-Rhône par un canal usinier [Le Coz *et al.*, 2011]. Les flux de MES à l'aval de Lyon sont donc estimés en sommant les flux mesurés sur deux stations situées en amont dans des sections homogènes : la Saône à Lyon et le Rhône à Jons. Afin de tester l'hypothèse d'un enrichissement des MES en contaminants (mercure, PCB et métaux) à la traversée de la Métropole de Lyon, des prélèvements spécifiques ont été menés en régime hydrologique de base. L'objectif principal était de comparer la contamination des MES dans le Rhône et dans la Saône sur des stations situées à l'amont et à l'aval de la Métropole de Lyon. L'objectif complémentaire était de vérifier si l'hétérogénéité des concentrations en MES sur les deux rives du Rhône en aval de la Métropole de Lyon (à Chasse-sur-Rhône), mise en évidence par des mesures de conductivité électrique [Pouchoulin *et al.*, 2018], était également identifiable pour les contaminants particuliers.

Les résultats obtenus permettront de justifier l'intérêt d'une station intermédiaire de suivi des flux sur le Rhône entre les stations principales de Jons et d'Arles, à l'aval de la Métropole de Lyon et en amont de la confluence avec l'Isère.

4.2. Matériel et méthode

4.2.1. Choix des stations d'étude

Pour cette étude, les points de référence en amont de la Métropole de Lyon correspondent à deux stations de suivi pérennes de l'OSR (Figure 19) :

- le Rhône à Jons, station de suivi principale ;
- la Saône à Lyon, station de suivi secondaire sur un affluent majeur.

Une station de prélèvement intermédiaire a été placée sur le Rhône au pont Pasteur (Lyon), à 2 km en amont de la confluence avec la Saône, afin de mieux encadrer la vallée de la chimie et de mettre en évidence les éventuels apports de contaminants au Rhône entre Jons et la confluence Rhône/Saône.

Enfin, deux stations de prélèvement ont été positionnées sur le Rhône à l'aval de Lyon à Chasse-sur-Rhône en rive gauche et à Givors en rive droite. Les points de prélèvement ont été placés sur les deux rives du Rhône

car les concentrations en MES sont suspectées d'être hétérogènes. En effet, ces stations de prélèvement se situent à seulement 18 km environ à l'aval de la confluence Rhône/Saône et à 3 km de la confluence avec le canal usinier de Pierre-Bénite, qui sépare l'écoulement du Rhône sur 11 km et dont le point de diffuence se situe dans une zone où les eaux du Rhône et de la Saône sont très peu mélangées. Les stations de prélèvement ont été positionnées afin d'être i) le plus en aval possible de la confluence Rhône/Saône pour espérer atteindre la zone de bon mélange des eaux, ii) en amont de la confluence avec le Gier (affluent en rive gauche) pour exclure les apports de MES et de contaminants de cet affluent.



Figure 19 : Localisation des cinq stations de prélèvement de l'étude sur l'impact de la ville de Lyon et de la vallée de la chimie sur la contamination particulaire et leurs équipements (source du fond de carte : Géoportail).

Sur la Saône, les débits sont mesurés en continu par la CNR à Couzon-au-Mont-d'Or, soit environ 8 km en amont du PAP, et la turbidité est suivie à Lyon (passerelle Saint-Georges), soit environ 6 km en aval du PAP. Pour simplifier, les stations de mesure sur la Saône sont regroupées sous le nom « Saône à Lyon » dans la suite du document.

4.2.2. Campagnes de prélèvements des matières en suspension

Les MES ont été prélevées à l'aide d'un piège à particules (PAP) de type German Specimen Bank [Schulze *et al.*, 2007 ; Launay, 2014 ; Masson *et al.*, 2018] (cf. Chapitre 1, partie 4 et Figure 6).

Les campagnes de prélèvement se sont déroulées entre février et avril 2015 en régime hydrologique de base afin de réduire au maximum l'effet de dilution des apports urbains et industriels dans le Rhône. Les seuils de crue sont fixés à 800 m³/s pour le Rhône à Jons et à 850 m³/s pour la Saône à Couzon [Launay, 2014], et correspondent à la moitié de la valeur du débit de crue biannuelle (Q2, période de retour de deux ans).

Les PAP ont été immergés sur une période de 2 semaines en régime hydrologique de basses eaux, pour récupérer une quantité suffisante de MES en vue de leur analyse physico-chimique tout en minimisant le risque d'échantillonner une crue. Les pièges à particules ont été déployés durant quatre périodes consécutives afin d'augmenter la représentativité des résultats. A la fin de chaque période d'exposition, les échantillons de MES collectés dans les PAP disposés sur la Saône et sur les deux rives du Rhône en aval de la Métropole de

Lyon (Givors et Chasse-sur-Rhône) ont été récupérés le même jour (Tableau 17). Pour des raisons pratiques, les échantillons de MES du PAP exposé sur le Rhône à Jons ont été prélevés la veille.

Tableau 17 : Débits (m³/s) et concentrations en MES (mg/L) du Rhône à Jons et de la Saône à Lyon durant les quatre campagnes de prélèvements de MES réalisées à l'aide de pièges à particules du 04/02/15 au 29/04/15 sur cinq stations placées en amont et en aval de la Métropole de Lyon.

	Campagne	Période	Durée (jours)	Débit (m ³ /s)				Concentration en MES (mg/L)			
				Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Le Rhône à Jons	1	04/02/15 18/02/15	14	615	146	332	974	12	4	6	22
	2	18/02/15 04/03/15	14	736	238	425	1685	16	21	5	120
	3	04/03/15 18/03/15	14	704	215	395	1456	18	27	4	135
	4	15/04/15 29/04/15	14	520	139	265	986	5	1	5	21
La Saône à Lyon	1	04/02/15 18/02/15	14	521	217	302	1151	18	11	8	46
	2	18/02/15 04/03/15	14	652	202	339	1004	20	9	9	39
	3	04/03/15 18/03/15	14	591	279	259	1081	16	13	3	37
	4	15/04/15 29/04/15	14	194	40	91	268	4	1	3	6

A Jons, les débits sont calculés grâce au modèle Rhône1D développé dans l'OSR [Le Bescond *et al.*, 2017] à partir des hydrogrammes du Rhône à Lagnieu (données CNR), de l'Ain à Port-Galland (données CNR) et de la Bourbre à Tignieu-Jameyzieu (données DREAL ARA).

Les concentrations en MES (en mg/L) sont estimées grâce à l'enregistrement de la turbidité (en NTU) toutes les 10 minutes et à une courbe de conversion turbidité/MES [Thollet, 2012].

4.2.3. Prétraitement des échantillons et analyses chimiques

Préparation des échantillons

Les MES échantillonnées dans les deux bacs amovibles du PAP ont été transférées dans des flacons en verre brun d'un litre à l'aide d'une spatule en silicone alimentaire. Les échantillons ont été conservés dans une glacière jusqu'au retour au laboratoire avant d'être stockés au réfrigérateur à 4°C pendant une nuit. Le lendemain, l'eau surnageante a été éliminée par siphonage puis les MES ont été tamisées à 2 mm à l'aide d'un tamis en inox avant d'être congelées à -18°C dans des flacons en verre brun de 250 mL. Les échantillons ont ensuite été lyophilisés puis broyés à l'aide d'un broyeur automatique à bol et billes en agate. Les MES broyées ont été conservées dans des flacons en verre brun hermétiques à température ambiante et à l'abri de la lumière avant analyse. Tout le matériel utilisé (flacons, spatules) a été préalablement lavé en machine à 50°C avec du détergent et du neutralisant puis rincé à l'eau déminéralisée et à l'acétone.

Méthodes d'analyse

Les paramètres analysés correspondent à ceux du suivi régulier de l'OSR : le mercure, les 7 PCB indicateurs, 2 PCB type-dioxine, 2 polybromodiphényléthers (PBDE) et les éléments traces métalliques (ETM) [Le Bescond *et al.*, 2017]. Sur les 8 ETM historiques suivis dans l'OSR, cette étude s'est focalisée sur 4 éléments métalliques ciblés par la Directive Cadre sur l'Eau pour la surveillance des cours d'eau ont été analysés : le nickel (suivi du bon état chimique) et le zinc, le cuivre et le chrome (suivi du bon état écologique).

Le carbone organique particulaire et la distribution granulométrique des particules ont été analysés car ils sont susceptibles de faire varier les teneurs en contaminants [Lionard *et al.*, 2015]. Ils permettent, si besoin, de

corriger les concentrations en contaminants pour comparer les résultats en s'affranchissant des modifications de la nature des MES. Toutes les analyses ont été réalisées par Irstea (Tableau 18).

Tableau 18 : Liste des paramètres analysés dans les échantillons de MES prélevés en amont et en aval de la Métropole de Lyon à l'aide de pièges à particules ; méthodes d'analyse et performances analytiques.

Paramètre		Méthode d'analyse	Limite de quantification	Incertitude
Mercure		Décomposition thermique et amalgamation, dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique	0,01 mg/kg	14%
Polychlorobiphényles indicateurs	PCB 28	Extraction ASE, purification sur cartouche Florisil Dosage par GC-ECD avec confirmation du résultat sur 2 colonnes chromatographiques différentes	0,50 µg/kg	30 – 100%
	PCB 52		1,00 µg/kg	
	PCB 101		0,50 µg/kg	
	PCB 118		0,50 µg/kg	
	PCB 153		0,50 µg/kg	
	PCB 138		0,50 µg/kg	
	PCB 180		0,50 µg/kg	
Polychlorobiphényles de type dioxine				
Polybromodiphényléthers	PCB 105		0,50 µg/kg	
	PCB 156		0,50 µg/kg	
Polybromodiphényléthers	BDE 47		0,50 µg/kg	
	BDE 99		0,50 µg/kg	
Eléments traces métalliques		Minéralisation totale triacide (HF, HNO ₃ , HCl) Dosage par ICP-OES	0,01 mg/kg	30%
Carbone organique particulaire		Décarbonatation par ajout d'acide phosphorique Dosage par analyseur élémentaire	0,5 g/kg	8%
Granulométrie	D50	Diffraction laser	Gamme de 0,03 à 2500 µm*	8%

* Il s'agit de l'étendue de la gamme de mesure de l'appareil

Les méthodes d'analyse du **mercure**, des **9 PCB** et des **2 PBDE** sont explicitées au Chapitre 2, partie 2.1.3.

Les éléments traces métalliques (chrome, cuivre, nickel et zinc) ont été dosés par ICP-OES après minéralisation totale (attaque triacide : HNO₃, HCl, et HF), selon la norme NF ISO 14869-3 [AFNOR, 2017].

Le carbone organique particulaire (COP) a été analysé avec un analyseur élémentaire (Thermo Electron, CN Flash 2000) après décarbonatation par ajout d'acide phosphorique selon la norme NF ISO 10694 [AFNOR, 1995]. La LQ de la méthode est estimée à 0,5 g/kg. L'incertitude analytique est estimée à 8% (incertitude élargie, facteur k=2). Des blancs et un matériau de référence (issu d'un essai-interlaboratoire) sont systématiquement analysés dans chaque série d'analyse pour contrôler la qualité des analyses.

La granulométrie a été analysée par diffraction laser avec un granulomètre Cilas 1190 selon la norme ISO 13320 [AFNOR, 2009a], comme explicité au Chapitre 2, partie 2.1.3. L'appareil fournit une proportion de particules (en %) par classe de diamètres (en µm) et le résultat du D50 (en µm), qui indique que 50% des particules de l'échantillon analysé ont un diamètre inférieur ou égal à cette valeur. L'incertitude élargie sur les D10, D50 et D90 (en µm) des analyses granulométriques a été calculée grâce à une carte de contrôle établie d'après les résultats obtenus sur un échantillon naturel de référence. Il s'agit de MES du cours d'eau Azergues préalablement lyophilisées et broyées qui sont systématiquement analysées avant chaque série d'échantillons. Le calcul de l'incertitude analytique s'est basé sur 50 mesures de D10, D50 et D90, dont 3

valeurs ont été détectées aberrantes d'après le test de Grubbs. Les incertitudes élargies calculées à partir des 47 données restantes sont estimées à 8% pour le D10 (moyenne de $4,56 \pm 0,18 \mu\text{m}$), à 3% pour le D50 (moyenne de $21,82 \pm 0,38 \mu\text{m}$) et à 2% pour le D90 (moyenne de $55,00 \pm 0,66 \mu\text{m}$). L'incertitude élargie retenue pour l'analyse de la granulométrie correspond à la plus élevée des 3, soit 8%.

4.2.4. Traitement statistique des résultats

Homogénéité des concentrations particulières à l'aval de Lyon

Pour vérifier l'homogénéité des concentrations en contaminants sur le Rhône en aval de la Métropole de Lyon, les différences relatives entre les concentrations mesurées en rive gauche et en rive droite (δ_{RD-RG} , en %) ont été calculées d'après l'Équation 5.

$$\delta_{RD-RG} = \frac{C_{RD} - C_{RG}}{\left(\frac{C_{RD} + C_{RG}}{2}\right)} \quad \text{Équation 5}$$

avec C_{RD} la concentration mesurée en rive droite (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et C_{RG} la concentration mesurée en rive gauche (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre).

Les incertitudes absolues sur les différences relatives ($U_{\delta_{RD-RG}}$, en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) ont été calculées d'après l'Équation 6, tirée du guide pour l'expression de l'incertitude de mesure [GUM, 2008].

$$U_{\delta_{RD-RG}} = 1,96 \sqrt{\frac{C_{RG}^2}{\left(\frac{C_{RG} + C_{RD}}{2}\right)^4} * \left(\frac{C_{RD} * U_{C_{RD}}}{1,96}\right)^2 + \frac{C_{RD}^2}{\left(\frac{C_{RG} + C_{RD}}{2}\right)^4} * \left(\frac{C_{RG} * U_{C_{RG}}}{1,96}\right)^2} \quad \text{Équation 6}$$

avec C_{RD} la concentration mesurée en rive droite (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et $U_{C_{RD}}$ son incertitude élargie (en %), C_{RG} la concentration mesurée en rive gauche (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et $U_{C_{RG}}$ son incertitude élargie (en %).

Une différence relative positive signifie que la concentration mesurée en rive droite (Givors) est supérieure à celle mesurée en rive gauche (Chasse-sur-Rhône). Lorsque les bornes $\delta_{RD-RG} \pm U_{\delta_{RD-RG}}$ contiennent 0 (c'est-à-dire que, graphiquement, la barre d'erreur intersecte l'axe 0 des abscisses), les deux concentrations sont considérées similaires au regard des incertitudes analytiques.

Contribution de la ville de Lyon sur la contamination particulière

Pour estimer l'impact de la ville de Lyon sur l'enrichissement des MES en contaminants, les différences relatives entre les concentrations mesurées sur le Rhône à Jons et à Lyon ($\delta_{Lyon-Jons}$, en %) ont été calculées d'après l'Équation 7.

$$\delta_{Lyon-Jons} = \frac{C_{Lyon} - C_{Jons}}{\left(\frac{C_{Lyon} + C_{Jons}}{2}\right)} \quad \text{Équation 7}$$

avec C_{Lyon} la concentration mesurée sur le Rhône à Lyon (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et C_{Jons} la concentration mesurée sur le Rhône à Jons en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre).

Les incertitudes absolues sur les différences relatives ($U_{\delta_{Lyon-Jons}}$, en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) ont été calculées d'après l'Équation 8.

$$U_{\delta_{Lyon-Jons}} = 1,96 \sqrt{\frac{C_{Jons}^2}{\left(\frac{C_{Jons} + C_{Lyon}}{2}\right)^4} * \left(\frac{C_{Lyon} * U_{Lyon}}{1,96}\right)^2 + \frac{C_{Lyon}^2}{\left(\frac{C_{Jons} + C_{Lyon}}{2}\right)^4} * \left(\frac{C_{Jons} * U_{Jons}}{1,96}\right)^2} \quad \text{Équation 8}$$

avec C_{Lyon} la concentration mesurée sur le Rhône à Lyon (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et U_{Lyon} son incertitude élargie (en %), C_{Jons} la concentration mesurée sur le Rhône à Jons (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et U_{Jons} son incertitude élargie (en %).

Une différence relative positive signifie que la concentration mesurée sur le Rhône à Lyon est supérieure à celle mesurée à Jons en amont de la ville de Lyon. Lorsque les bornes $\delta_{Lyon-Jons} \pm U_{\delta_{Lyon-Jons}}$ contiennent 0 (c'est-à-dire que, graphiquement, la barre d'erreur intersecte l'axe 0 des abscisses), les deux concentrations sont considérées similaires au regard des incertitudes analytiques.

Contribution de la vallée de la chimie sur la contamination particulière

Concentrations mesurées en aval de la vallée de la chimie

Les concentrations mesurées sur le Rhône en aval de la vallée de la chimie pour chaque période de prélèvement ($C_{mesurée}$, en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) correspondent aux moyennes des concentrations mesurées à Chasse-sur-Rhône et à Givors (Équation 9).

$$C_{mesurée} = \frac{C_{RD} + C_{RG}}{2} \quad \text{Équation 9}$$

avec C_{RD} la concentration du contaminant particulière considéré mesurée en rive droite en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et C_{RG} la concentration du contaminant particulière considéré mesurée en rive gauche (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre).

Les incertitudes absolues (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) sur les concentrations mesurées en aval ($U_{C_{mesurée}}$) ont été calculées d'après l'Équation 10.

$$U_{C_{mesurée}} = 1,96 \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 * \left[\left(\frac{C_{RG} * U_{C_{RG}}}{1,96}\right)^2 + \left(\frac{C_{RD} * U_{C_{RD}}}{1,96}\right)^2 \right]} \quad \text{Équation 10}$$

avec C_{RG} la concentration du contaminant particulière considéré mesurée en rive gauche (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et $U_{C_{RG}}$ son incertitude élargie (en %), C_{RD} la concentration du contaminant particulière considéré mesurée en rive droite (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et $U_{C_{RD}}$ son incertitude élargie (en %).

Concentrations théoriques calculées en aval de la vallée de la chimie

Sous hypothèses d'un mélange Rhône/Saône parfait et de concentrations en contaminants constantes sur la période d'exposition du piège à particules, les concentrations théoriques du Rhône en aval de la Métropole de Lyon ($C_{théorique}$, en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) pour chaque période de prélèvement ont été calculées d'après l'Équation 11.

$$C_{théorique} = C_{Rhône} \times \frac{F_{Rhône}}{F_{Rhône} + F_{Saône}} + C_{Saône} \times \frac{F_{Saône}}{F_{Rhône} + F_{Saône}} \quad \text{Équation 11}$$

avec $C_{Rhône}$ la concentration du contaminant considéré mesurée sur le Rhône à Lyon pendant la période d'exposition du piège à particules (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre), $F_{Rhône}$ le flux cumulé de MES estimé sur le Rhône à Lyon sur cette même période (en t), $C_{Saône}$ la concentration du contaminant considéré mesurée sur la Saône pendant la période d'exposition du piège à particules (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et $F_{Saône}$ le flux cumulé de MES estimé sur la Saône sur cette même période (en t).

Les incertitudes absolues sur les concentrations théoriques en aval de la vallée de la chimie ($U_{C_{théorique}}$, en $\mu\text{g}/\text{kg}$ ou mg/kg selon le paramètre) ont été calculées d'après l'Équation 12.

$$U_{C_{théorique}} = 1,96 \sqrt{\frac{\left[\left(\frac{C_{Rhône} \times U_{Rhône}}{1,96} \right)^2 \times F_{Rhône}^2 \right] + \left[\left(\frac{C_{Saône} \times U_{Saône}}{1,96} \right)^2 \times F_{Saône}^2 \right]}{(F_{Rhône} + F_{Saône})^2}} \quad \text{Équation 12}$$

avec $C_{Rhône}$ la concentration du contaminant particulaire considéré mesurée sur le Rhône à Lyon (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et $U_{Rhône}$ son incertitude élargie (en %), $C_{Saône}$ la concentration du contaminant particulaire considéré mesurée sur la Saône (en $\mu\text{g}/\text{kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et $U_{Saône}$ son incertitude élargie (en %), $F_{Rhône}$ et $F_{Saône}$ les flux cumulés de MES estimés du Rhône amont et de la Saône (en t) sur la période d'exposition du piège à particules.

Les flux cumulés de MES du Rhône et de la Saône ont été calculés sur chacune des quatre campagnes de prélèvements (Tableau 19). La station du Rhône à Lyon au pont Pasteur ne dispose pas de capteur de turbidité ni d'appareil de mesure du débit. Les données utilisées pour ce point de prélèvement sont celles de la station de Jons, située à environ 27 km en amont. Le flux de MES du Rhône en aval de la Métropole de Lyon est calculé en sommant les flux mesurés sur Rhône à Jons et la Saône à Lyon.

Tableau 19 : Flux de MES (en t) mesurés sur le Rhône à Lyon et la Saône à Lyon et calculés sur le Rhône en aval de la Métropole de Lyon durant les quatre campagnes de prélèvements.

Période	Flux de MES sur la période de prélèvement (t)			Contribution au flux de MES en aval de la Métropole de Lyon (%)	
	Rhône amont à Lyon (mesuré)	Saône à Lyon (mesuré)	Rhône aval (calculé)	Rhône à Lyon	Saône à Lyon
04/02/15	9002	13713	22715	40	60
18/02/15					
18/02/15	29432	17611	47042	63	37
04/03/15					
04/03/15	10670	16032	26702	40	60
18/03/15					
15/04/15	6272	931	7203	87	13
29/04/15					

Sur les campagnes n°1 à n°3, les apports en MES du Rhône et de la Saône sont partagés par un ratio d'environ 40/60, le plus gros contributeur en flux de MES variant selon les périodes. Pendant la campagne n°4, la contribution de la Saône diminue (13%) car les débits et les concentrations en MES observés sur cette période sont très faibles.

Pour mettre en évidence un éventuel apport de contaminants particuliers à la traversée de la vallée de la chimie, les différences entre les concentrations réellement mesurées en aval de la Métropole de Lyon et les

concentrations théoriques ($\delta_{\text{mesure-théorique}}$, en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) ont été calculées d'après l'Équation 13.

$$\delta_{\text{mesure-théorique}} = C_{\text{mesurée}} - C_{\text{théorique}} \quad \text{Équation 13}$$

avec $C_{\text{mesurée}}$ la concentration réellement mesurée calculée d'après l'Équation 9 (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et $C_{\text{théorique}}$ la concentration théorique calculée d'après l'Équation 11 (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre).

Les incertitudes absolues sur les différences ($U_{\delta_{\text{mesure-théorique}}}$, en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) ont été calculées d'après l'Équation 14.

$$U_{\delta_{\text{mesure-théorique}}} = 1,96 \sqrt{\left(\frac{U_{C_{\text{mesurée}}}}{1,96}\right)^2 + \left(\frac{U_{C_{\text{théorique}}}}{1,96}\right)^2} \quad \text{Équation 14}$$

avec $U_{C_{\text{mesurée}}}$ l'incertitude absolue sur la concentration mesurée sur le Rhône en aval de la vallée de la chimie calculée d'après l'Équation 10 (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre) et $U_{C_{\text{théorique}}}$ l'incertitude absolue sur la concentration théorique calculée d'après l'Équation 12 (en $\mu\text{g/kg}$, mg/kg ou g/kg selon le paramètre).

Une différence relative positive signifie que la concentration réellement mesurée en aval de la vallée de la chimie est supérieure à la concentration théorique. Lorsque les bornes $\delta_{\text{mesure-théorique}} \pm I_{\delta_{\text{mesure-théorique}}}$ contiennent 0 (c'est-à-dire que, graphiquement, la barre d'erreur intersecte l'axe 0 des abscisses), les deux concentrations sont considérées similaires au regard des incertitudes analytiques.

4.3. Résultats et discussion

Les tableaux de données brutes pour les 18 paramètres analysés sur 20 échantillons de MES sont présentés en Annexe 9.

Les métaux n'ont pas été analysés dans les 4 échantillons prélevés à Jons. Le résultat de concentration en nickel dans la MES prélevées sur le Rhône à Lyon du 4 au 18 mars 15 est invalidé.

Le résultat de concentration en BDE47 dans les MES prélevées à Chasse-sur-Rhône du 4 au 18 février est invalidé car ce composé est coélués avec les deux colonnes chromatographiques et les pics chromatographiques ne sont pas exploitables.

4.3.1. Homogénéité des concentrations particulières à l'aval de Lyon

Les fréquences de quantification ont été calculées pour les deux stations en aval de Lyon (Givors et Chasse-sur-Rhône) et pour chaque composé (Tableau 20).

Tableau 20 : Fréquence de quantification (en %) des 16 contaminants analysés dans les MES prélevées sur le Rhône à Givors et à Chasse-sur-Rhône, à l'aval de la Métropole de Lyon, calculées d'après les résultats des quatre campagnes de prélèvements.

Paramètre		Limite de quantification	Rhône à Givors (rive droite) n=4	Rhône à Chasse/Rhône (rive gauche) n=4
PCB indicateurs	PCB 28	0,50 µg/kg	100	75
	PCB 52	1,00 µg/kg	50	0
	PCB 101	0,50 µg/kg	75	100
	PCB 118	0,50 µg/kg	100	100
	PCB 138	0,50 µg/kg	100	100
	PCB 153	0,50 µg/kg	100	100
	PCB 180	0,50 µg/kg	100	100
PCB de type dioxine	PCB 105	0,50 µg/kg	50	25
	PCB 156	0,50 µg/kg	0	0
PBDE	BDE 47	0,50 µg/kg	75	0
	BDE 99	0,50 µg/kg	25	0
Total des PCB et PBDE analysés (11)			70	56
	Hg	0,010 mg/kg	100	100
Eléments traces métalliques	Cr	0,01 mg/kg	100	100
	Cu	0,01 mg/kg	100	100
	Ni	0,01 mg/kg	100	100
	Zn	0,01 mg/kg	100	100
Total des métaux analysés (5)			100	100

Légende : 0% 1 – 10% 11 – 25% 26 – 50% 51 – 75% 76 – 100% Non calculée

Le code couleur est extrait de Poulier, 2017.

Les onze composés organiques analysés sont plus souvent quantifiés en rive droite (70%) qu'en rive gauche (56%).

Sur les 16 composés analysés, 9 composés sont toujours quantifiés quelle que soit la rive de prélèvement : le PCB 118, le PCB 138, le PCB 153, le PCB 180, et les 5 métaux. La comparaison des concentrations mesurées en rive gauche et en rive droite du Rhône à l'aval de la Métropole de Lyon pour ces 9 composés est donc possible sur les quatre campagnes de prélèvements.

Le PCB 28 est quantifié dans tous les échantillons de MES prélevés à Givors alors qu'il est quantifié à une fréquence de 75% à Chasse-sur-Rhône. Pour ce PCB, une comparaison des concentrations rive gauche/rive droite est possible uniquement pour les campagnes n°1, n°2 et n°4. A l'inverse, le PCB 101 est toujours quantifié à Chasse-sur-Rhône (rive gauche) alors que sa fréquence de quantification à Givors (rive droite) est de 75%. Pour ce PCB, une comparaison des concentrations rive gauche/rive droite est possible uniquement pour les campagnes n°2, n°3 et n°4.

La fréquence de quantification du PCB 105 est deux fois plus élevée à Givors qu'à Chasse-sur-Rhône (respectivement 50 et 25%). Cependant, il n'est jamais quantifié simultanément sur les deux rives pour une même campagne de prélèvements. Le PCB 156 n'est jamais quantifié sur aucune des deux rives. Le PCB 52 et les 2 PBDE analysés ne sont jamais quantifiés à Chasse-sur-Rhône alors qu'ils ont une fréquence de quantification à Givors de 25% pour le BDE 99, de 50% pour le PCB 52 et de 75% pour le BDE 47. Pour ces 5 composés, l'étude de l'homogénéité des concentrations particulières dans le Rhône sur la section de Chasse-sur-Rhône est donc impossible.

Les différences relatives entre les concentrations mesurées sur le Rhône à Chasse-sur-Rhône et à Givors ont été calculées pour les 9 composés toujours quantifiés, le PCB 28 et le PCB 101 (Figure 20).

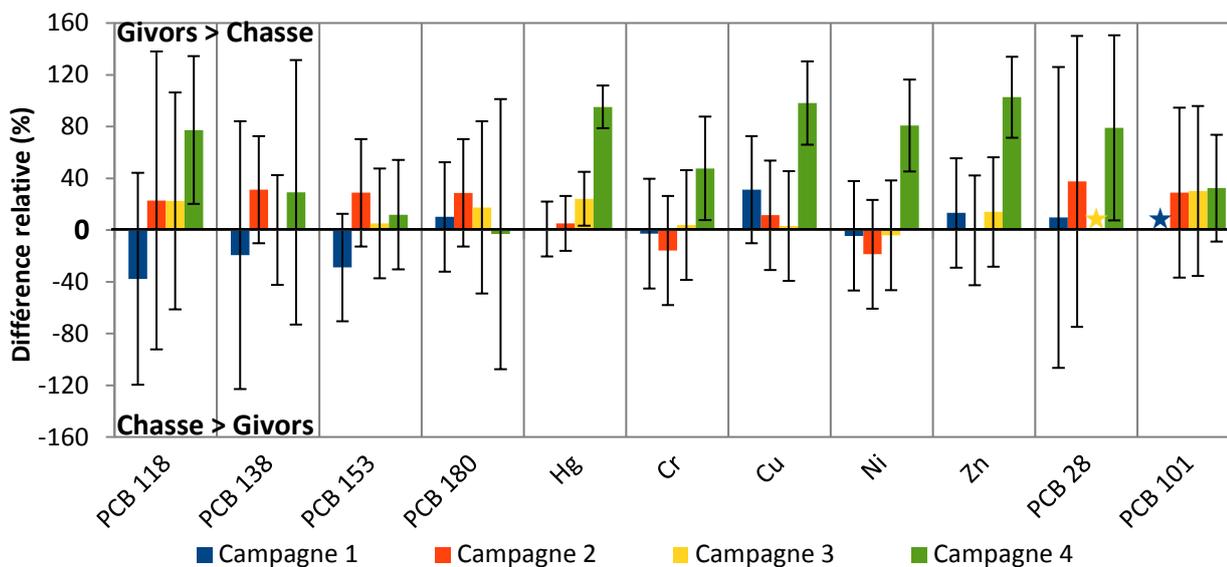


Figure 20 : Différences relatives (en %) des concentrations de 11 composés analysés dans les MES prélevées sur le Rhône à Chasse-sur-Rhône et à Givors, en aval de la Métropole de Lyon durant quatre périodes de prélèvements. Les barres noires représentent l'incertitude sur les différences relatives. Les différences relatives ne sont pas calculées lorsqu'une des concentrations est inférieure à la limite de quantification (★).

Pendant la campagne n°4, les concentrations mesurées sur les deux rives sont considérées différentes pour 7 composés : le PCB 118, le Hg, le Cr, le Cu, le Ni, le Zn et le PCB 28. Ces différences sont en moyenne de 83% et toutes les concentrations mesurées à Givors sont supérieures à celles de Chasse-sur-Rhône.

D'une part, cette forte hétérogénéité spatiale des concentrations en contaminants est à mettre en relation avec la nature des particules échantillonnées, qui ont une phase porteuse en contaminants plus importante à Givors qu'à Chasse-sur-Rhône. En effet, les concentrations en COP et les valeurs du D50 sont différentes au regard des incertitudes de mesures (Figure 21). Les particules prélevées pendant la campagne n°4 à Chasse-sur-Rhône sont plus grossières qu'à Givors (D50 de 28,3 μm et 18,0 μm respectivement), et sont également plus grossières que les particules échantillonnées sur cette même station pendant les 3 premières campagnes de prélèvements (D50 en moyenne de 15,2 μm). De plus, les MES échantillonnées à Chasse-sur-Rhône pendant la campagne n°4 contiennent 3 fois moins de COP que celles échantillonnées à Givors

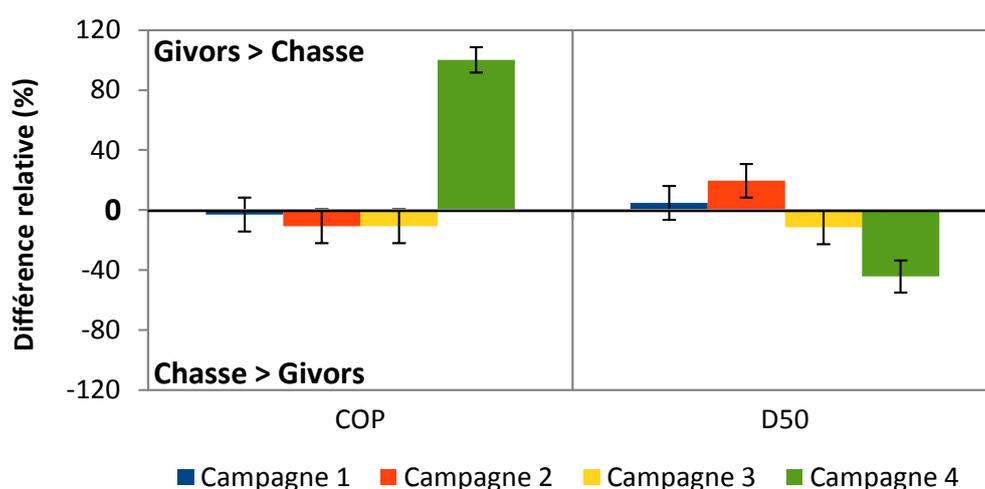


Figure 21 : Différences relatives (en %) de la concentration en COP et du D50 analysés dans les MES prélevées sur le Rhône à Chasse-sur-Rhône et à Givors, en aval de la Métropole de Lyon durant quatre périodes de prélèvements. Les barres noires représentent l'incertitude sur les différences relatives.

D'autre part, ces fortes variations de concentrations en contaminants entre les 2 rives pourraient s'expliquer par l'opération de dragage d'entretien menée par la CNR au niveau de la confluence avec le Gier pendant la

période d'échantillonnage n°4 [CNR, 2015]. Ces travaux pourraient avoir entraîné la remobilisation de MES plus contaminées qui se seraient accumulées dans le piège en rive droite (Givors). Les concentrations mesurées sur le Rhône à Givors et à Chasse-sur-Rhône pendant la campagne n°4 ne sont pas pertinentes pour conclure à une possible contamination des MES par la Métropole de Lyon et ne sont pas traitées dans la suite de ce document.

En écartant les échantillons de la campagne n°4, les concentrations en contaminants mesurées en rive gauche et en rive droite sont homogènes dans 97% des cas en considérant les incertitudes analytiques. Seules les concentrations en Hg mesurées sur les deux rives pendant la campagne n°3 sont considérées différentes au regard des incertitudes ; elles varient de 24% et sont huit à dix fois supérieures à la LQ (0,080 et 0,102 mg/kg avec une LQ à 0,010 mg/kg).

Les variations de concentration entre les deux rives sont toutes inférieures à 38%. Ces observations concordent avec les résultats observés par une approche de traçage géochimique [Dabrin *et al.*, 2017], qui montre que les particules du Rhône à Givors et à Chasse-sur-Rhône ont des contaminations équivalentes, aux incertitudes analytiques près.

4.3.2. Contribution de la ville de Lyon sur la contamination particulaire

Les fréquences de quantification ont été calculées pour les deux stations du Rhône à Jons et à Lyon pour chaque composé (Tableau 21).

Tableau 21 : Fréquence de quantification (en %) des 16 paramètres analysés dans les MES prélevées sur le Rhône à Jons, en amont de la ville de Lyon, et sur le Rhône à Lyon calculées d'après les résultats des quatre campagnes de prélèvements. NA désigne les échantillons non analysés.

Paramètre		Limite de quantification	Rhône à Jons n=4	Rhône à Lyon n=4
PCB indicateurs	PCB 28	0,50 µg/kg	0	25
	PCB 52	1,00 µg/kg	0	0
	PCB 101	0,50 µg/kg	100	100
	PCB 118	0,50 µg/kg	25	75
	PCB 138	0,50 µg/kg	100	100
	PCB 153	0,50 µg/kg	100	100
	PCB 180	0,50 µg/kg	100	100
PCB de type dioxine	PCB 105	0,50 µg/kg	0	25
	PCB 156	0,50 µg/kg	0	25
PBDE	BDE 47	0,50 µg/kg	0	0
	BDE 99	0,50 µg/kg	0	0
Total des PCB et PBDE analysés (11)			39	50
	Hg	0,010 mg/kg	100	100
Éléments traces métalliques	Cr	0,01 mg/kg	NA	100
	Cu	0,01 mg/kg	NA	100
	Ni	0,01 mg/kg	NA	100
	Zn	0,01 mg/kg	NA	100
Total des métaux analysés (5)			100	100

Légende : 0% 1 – 10% 11 – 25% 26 – 50% 51 – 75% 76 – 100% Non calculée

Le code couleur est extrait de Poulier, 2017.

Les métaux (Cr, Cu, Ni, Zn) ont été analysés dans tous les échantillons de MES prélevés sur le Rhône à Lyon mais n'ont pas été analysés dans ceux prélevés à Jons. La contribution de la ville de Lyon sur la contamination en métaux particulaires ne peut donc pas être étudiée.

Les 11 composés organiques analysés sont plus souvent quantifiés à Lyon (50%) qu'à Jons (39%).

Cinq composés sont toujours quantifiés sur les deux stations : le PCB 101, le PCB 138, le PCB 153, le PCB 180 et le mercure. La comparaison des concentrations mesurées sur le Rhône en amont de la ville de Lyon (Jons) et à Lyon pour ces 5 composés est donc possible sur les quatre campagnes de prélèvements.

Le PCB 118 est plus souvent quantifié à Lyon (75%) qu'à Jons (25%). Pour ce composé, une comparaison des concentrations mesurées sur le Rhône à Jons et à Lyon est possible uniquement pour la campagne n°4.

Le PCB 52 et les BDE 47 et 99 ne sont jamais quantifiés sur aucune des deux stations. Les PCB 28, 105 et 156 ne sont jamais quantifiés à Jons alors qu'ils ont une fréquence de quantification de 25% à Lyon. Pour ces 6 composés, l'impact de la ville de Lyon sur les concentrations en contaminants particulaires ne peut pas être évalué.

Les différences relatives entre les concentrations mesurées sur le Rhône à Jons et à Lyon ont été calculées pour les 5 composés toujours quantifiés et pour le PCB 118 à la campagne n°4 (Figure 22).

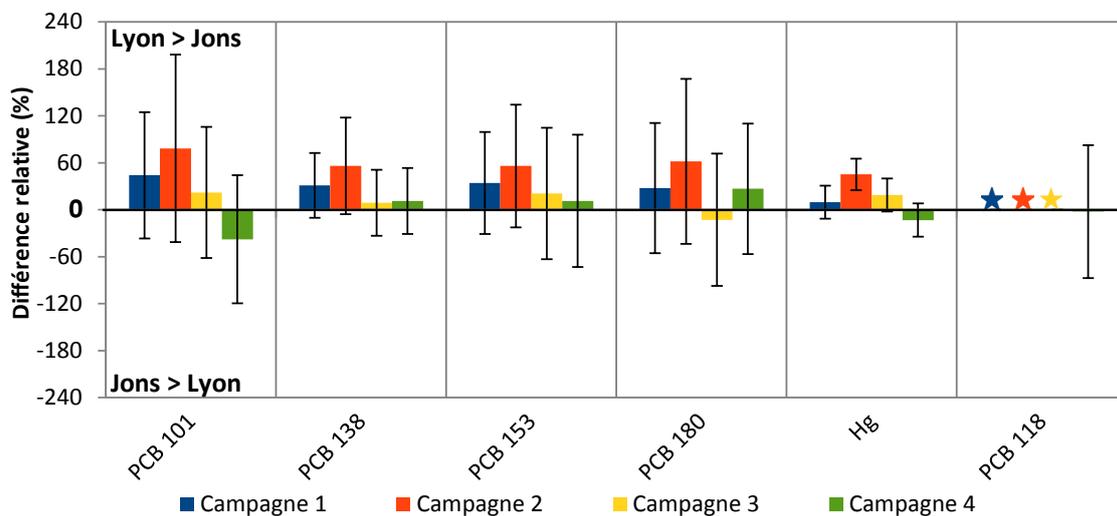


Figure 22 : Différences relatives (en %) des concentrations de 6 composés analysés dans les MES prélevées sur le Rhône à Jons et à Lyon durant quatre périodes de prélèvements. Les barres noires représentent l'incertitude sur les différences relatives. Les différences relatives ne sont pas calculées lorsqu'une des concentrations est inférieure à la limite de quantification (★).

Les concentrations en contaminants mesurées sur le Rhône à Jons et à Lyon sont similaires dans 95% des comparaisons en considérant les incertitudes analytiques. Les variations de concentration entre les deux stations sont inférieures à 40% dans 79% des cas où les concentrations mesurées sont supérieures aux LQ. Au regard des incertitudes analytiques élevées, les concentrations particulières des 5 PCB étudiés mesurés sur le Rhône à Jons et à Lyon sont considérées similaires. En effet, les concentrations en contaminants organiques sont retrouvées en faibles concentrations ; 75% des concentrations quantifiées sont inférieures à 5 fois la LQ et sont donc associées à des incertitudes analytiques élevées (60% au minimum).

Seules les concentrations en Hg mesurées sur les 2 stations pendant la campagne n°2 sont considérées différentes au regard des incertitudes analytiques ; elles varient de 45% et sont de 4,1 à 6,5 fois supérieures à la LQ (0,041 et 0,065 mg/kg avec une LQ à 0,010 mg/kg). Cette différence pourrait s'expliquer par une phase porteuse en contaminants plus importante dans les MES de Lyon que de Jons. En effet, les concentrations en

COP mesurée dans les MES du Rhône prélevées à Lyon est 1,4 fois plus importante que dans les MES du Rhône prélevées à Jons (32,9 g/kg et 22,9 g/kg) (Figure 23). Les particules collectées à Lyon durant la campagne n°2 sont également plus fines que celles collectées à Jons (D50 de 14,47 µm à Lyon et de 18,3 µm à Jons).

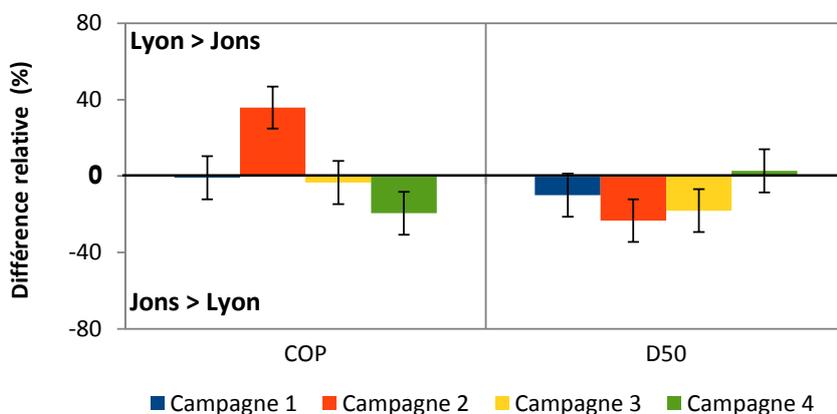


Figure 23 : Différences relatives (en %) de la concentration en COP et du D50 analysés dans les MES prélevées sur le Rhône à Jons et à Lyon durant quatre périodes de prélèvements. Les barres noires représentent l'incertitude sur les différences relatives.

D'après ces résultats, la ville de Lyon n'a pas d'influence sur les concentrations des contaminants particulaires en régime hydrologique de base.

Dans la suite du document, les données utilisées comme point de prélèvements sur le Rhône amont correspondent aux concentrations quantifiées sur la station de Lyon au pont Pasteur. En effet, les données acquises à Lyon ont été privilégiées par rapport à celles de Jons car les périodes de déploiement du PAP sur cette station coïncident exactement avec celles des autres stations, alors que les échantillons de Jons ont été collectés un jour plus tôt (cf. Chapitre 4, partie 2.2).

4.3.3. Contribution de la vallée de la chimie sur la contamination particulaire

Les fréquences de quantification ont été calculées pour les deux stations situées en amont de la Métropole de Lyon (le Rhône à Lyon et la Saône à Lyon) et pour les deux stations situées en aval (Givors et Chasse-sur-Rhône) pour chaque composé (Tableau 22). Les concentrations mesurées pendant la campagne n°4 n'ont pas été prises en compte (cf. Chapitre 4, partie 3.1).

Tableau 22 : Fréquence de quantification (en %) des 16 paramètres analysés dans les MES prélevées en amont (Rhône à Lyon et Saône à Lyon) et en aval de la vallée de la chimie (Chasse-sur-Rhône et Givors), calculées d'après les résultats des 3 premières campagnes de prélèvements.

Paramètre		Limite de quantification	Rhône à Lyon (amont) n=3	Saône à Lyon (amont) n=3	Rhône à Givors et Chasse/Rhône confondus (aval) n=6
PCB indicateurs	PCB 28	0,50 µg/kg	0	100	83
	PCB 52	1,00 µg/kg	0	67	17
	PCB 101	0,50 µg/kg	100	100	83
	PCB 118	0,50 µg/kg	67	100	100
	PCB 138	0,50 µg/kg	100	100	100
	PCB 153	0,50 µg/kg	100	100	100
	PCB 180	0,50 µg/kg	100	100	100
PCB de type dioxine	PCB 105	0,50 µg/kg	0	67	33
	PCB 156	0,50 µg/kg	33	33	0
PBDE	BDE 47	0,50 µg/kg	0	0	40
	BDE 99	0,50 µg/kg	0	0	0
Total des PCB et PBDE analysés (11)			45	70	60
Hg		0,010 mg/kg	100	100	100
Eléments traces métalliques	Cr	0,01 mg/kg	100	100	100
	Cu	0,01 mg/kg	100	100	100
	Ni	0,01 mg/kg	100	100	100
	Zn	0,01 mg/kg	100	100	100
Total des métaux analysés (5)			100	100	100

Légende : 0% 1 – 10% 11 – 25% 26 – 50% 51 – 75% 76 – 100% Non calculée

Le code couleur est extrait de Poulhier, 2017.

Huit composés sont toujours quantifiés sur toutes les stations : le PCB 138, le PCB 153, le PCB 180 et les 5 métaux. Pour ces 8 composés, la comparaison des concentrations mesurées théorique sur le Rhône en aval de la vallée de la chimie est donc possible sur les 3 campagnes de prélèvements.

Le BDE 99 n'est jamais quantifié sur aucune des stations. Le BDE 47 n'est jamais quantifié en amont de la vallée de la chimie (Rhône et Saône à Lyon) alors qu'il a une fréquence de quantification de 40% en aval. A l'inverse, le PCB 156 n'est jamais quantifié en aval de la vallée de la chimie alors qu'il est quantifié à une fréquence de 33% sur la Saône et le Rhône à Lyon. Les PCB 28, PCB 52 et PCB 105 ne sont jamais quantifiés sur le Rhône amont alors qu'ils sont quantifiés entre 17% et 100% sur la Saône à Lyon et sur le Rhône en aval de la vallée de la chimie. Pour ces 6 composés, l'impact de la vallée de la chimie sur les concentrations en contaminants particuliers ne peut pas être évalué.

Le PCB 101 est toujours quantifié en amont de la vallée de la chimie (Rhône et Saône à Lyon) alors qu'il est quantifié dans 83% des échantillons prélevés en aval. Pour ce composé, une comparaison des concentrations mesurées et théoriques en aval de la vallée de la chimie est possible pour les résultats des campagnes n°2 et n°3.

Le PCB 118 est toujours quantifié sur la Saône et sur le Rhône en aval de la vallée de la chimie mais il n'est quantifié qu'à 67% sur le Rhône en amont. Pour ce composé, une comparaison des concentrations mesurées et théoriques en aval est possible pour résultats des campagnes n°1 et n°2.

Les différences entre les concentrations mesurées sur le Rhône en aval de la vallée de la chimie (Givors et Chasse-sur-Rhône) et les concentrations théoriques calculées à partir des mesures de contaminants effectuées sur la Saône à Couzon et le Rhône à Lyon ont été calculées pour les 8 composés toujours quantifiés, et les PCB 101 et PCB 118 (Figure 24).

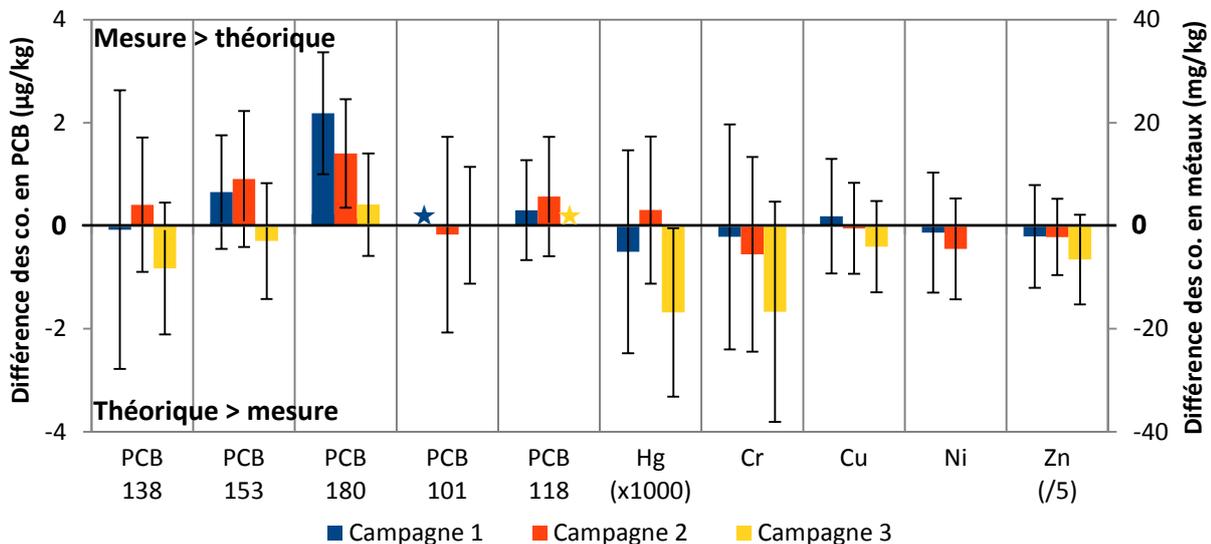


Figure 24 : Différences des concentrations de 10 composés mesurées dans les MES prélevées sur le Rhône en aval de la vallée de la chimie et théoriques calculées avec les concentrations mesurées en amont de la vallée de la chimie pendant 3 campagnes de prélèvements. Les barres noires représentent l'incertitude sur les différences. Les différences ne sont pas calculées lorsqu'une des concentrations est inférieure à la limite de quantification (★).

Sur les campagnes n°1 à n°3, les 6 PCB étudiés présentent des concentrations mesurées et théoriques similaires au regard des incertitudes analytiques sur toutes les campagnes de prélèvements, sauf les concentrations en PCB 180 pendant les campagnes n°1 et n°2.

En effet, la concentration en PCB 180 mesurée sur ces 2 campagnes est en moyenne 1,8 fois supérieure à la concentration théorique. Toutes les concentrations en PCB 180 mesurées sont supérieures aux concentrations théoriques (1,6 fois en moyenne).

Les concentrations en métaux mesurées en aval sont très souvent inférieures aux concentrations théoriques (89% des cas) et sont en moyenne 9% inférieures aux concentrations théoriques. Seuls le Hg à la campagne n°2 et le Cu à la campagne n°1 présentent des concentrations mesurées supérieures aux théoriques ; les différences relatives entre les concentrations sont respectivement de 3,2% et de 5,1% pour ces éléments. Le Cr et le Zn présentent la plus forte différence relative entre les concentrations mesurées et théoriques, avec une différence de -24% lors de la campagne n°3. En tenant compte des incertitudes analytiques, les concentrations mesurées et théoriques en métaux sont considérées similaires, sauf pour le Hg pendant la campagne n°3, pour lequel la concentration mesurée est 1,2 fois plus faible que la concentration théorique. Les concentrations mesurées plus élevées que les concentrations théoriques pendant la campagne n°3 seraient liées aux concentrations théoriques en COP plus élevées que les concentrations réellement mesurées en aval (Figure 25).

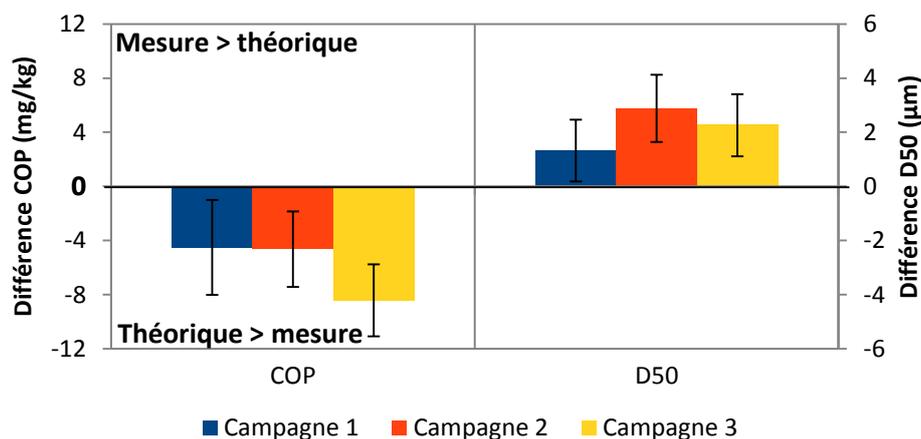


Figure 25: Différences des concentrations en COP (en mg/kg) et du D50 (en µm) mesurées dans les MES prélevées sur le Rhône en aval de la vallée de la chimie et théoriques calculées avec les concentrations mesurées en amont de la vallée de la chimie pendant 3 campagnes de prélèvements. Les barres noires représentent l'incertitude sur les différences.

E

n conclusion, tous les composés étudiés sur les trois premières campagnes de prélèvements présentent des concentrations mesurées en aval identiques aux concentrations théoriques en tenant compte des incertitudes sur les résultats. Seul le PCB 180 montre une augmentation de concentration entre l'amont et l'aval de la vallée de la chimie pendant les 2 premières campagnes de prélèvements. Une étude bibliographique sur les rejets typiques des activités de la vallée de la chimie permettrait peut-être d'expliquer cette augmentation de concentration en PCB 180 uniquement. La concentration en Hg mesurée pendant la campagne n°3 est également plus élevée que la concentration théorique. Pour les 8 autres composés étudiés sur les 3 premières campagnes de prélèvements, la vallée de la chimie n'apporte pas de contamination des MES en régime hydrologique de base.

4.4. Conclusion et perspectives du Chapitre 4

Dans le cadre de l'OSR, des campagnes de prélèvement ont été spécifiquement menées en basses eaux pour, d'une part, estimer l'influence de la Métropole de Lyon sur la contamination particulaire et, d'autre part, vérifier l'homogénéité des concentrations en contaminants dans la section de Chasse-sur-Rhône en aval de la Métropole de Lyon. Les échantillons de MES ont été collectés par pièges à particules intégratifs en régime hydrologique de base durant quatre campagnes de prélèvement. Ils ont ensuite été analysés en PCB, PBDE, mercure, éléments traces métalliques, carbone organique et granulométrie. Sur les quatre campagnes de prélèvement menées, seules les concentrations mesurées dans les échantillons collectés pendant les trois premières campagnes ont pu être comparées.

Les deux PCB de type dioxine et les deux PBDE étudiés sont quantifiés à des fréquences faibles de 5% à 35%, ce qui rend impossible la comparaison de la contamination particulaire entre l'amont et l'aval de la Métropole de Lyon. En tenant compte des incertitudes de mesure, les concentrations des 6 PCB, du mercure et des 4 ETM étudiés sont homogènes entre les rives gauche et droite du Rhône dans la section de Chasse-sur-Rhône en aval de la Métropole de Lyon. Les résultats de cette étude ne montrent pas d'influence de la ville de Lyon sur les concentrations particulières de 5 PCB étudiés (PCB 101, 118, 138, 153 et 180) et du mercure analysé dans les MES prélevées sur le Rhône à Jons et à Lyon.

Les concentrations particulières du Hg, Cr, Cu, Ni et Zn et des 4 PCB étudiés (PCB 101, 118, 138 et 153) sont similaires en amont et en aval de la vallée de la chimie. En revanche, au vu des incertitudes analytiques, les résultats montrent un apport de PCB 180 à la traversée de la vallée de la chimie.

En perspective, une étude similaire pourrait être menée sur différents segments du Rhône entre Jons et Arles pour rechercher les sources de contamination et évaluer, par exemple, l'influence des contributions du Gier

et de l'Isère sur la contamination particulaire du Rhône. Idéalement, le suivi des flux dans l'OSR pourrait être affiné en instrumentant une nouvelle station sur le Rhône entre Lyon et Arles. Dans ce contexte, l'installation d'une station de suivi turbidimétrique au niveau de la station hydrométrique CNR de Saint-Vallier (Drôme), à environ 27 km en amont de la confluence avec l'Isère, est en projet [Le Bescond *et al.*, 2016].

Ces expériences pourraient être renouvelées en temps de pluie et en régime hydrologique de crue pour mettre en évidence d'éventuels apports intermédiaires tels que des rejets urbains par temps de pluie, ou des phénomènes de resuspension de particules contaminées.

Les échantillons prélevés pendant ces campagnes sont conservés dans une échantillothèque. Des analyses complémentaires non ciblées pourraient être réalisées pour détecter des composés caractéristiques des rejets urbains et des industries implantées dans la vallée de la chimie au sud de la ville de Lyon [Poulier *et al.*, 2018b].

Références bibliographiques

- AFNOR (1995). — NF ISO 10694 : *Qualité du sol – Dosage du carbone organique et du carbone total après combustion sèche (analyse élémentaire)*, 14 p.
- AFNOR (2000). — XP X 33-012 : *Caractérisation des boues – Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB)*, 30 p.
- AFNOR (2005). — AFNOR, NF EN 872 : *Qualité de l'eau – Dosage des matières en suspension – Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre*, 16p.
- AFNOR (2009a). — ISO 13320 :2009 : *Analyse granulométrique – Méthodes par diffraction laser – Principes généraux*, 62 p.
- AFNOR (2009b). — NF T 90-210 : *Qualité de l'eau - Protocole d'évaluation initiale des performances d'une méthode dans un laboratoire*, 43 p.
- AFNOR (2013). — NF ISO 11352, indice de classement T90-220 : *Qualité de l'eau — Estimation de l'incertitude de mesure basée sur des données de validation et de contrôle qualité*, 37 p.
- AFNOR (2015). — NF ISO 18589-3 : *Mesurage de la radioactivité dans l'environnement - Sol – Partie 3 : méthode d'essai des radionucléides émetteurs gamma par spectrométrie gamma*, 33 p.
- AFNOR (2016). — XP M60-824 : *Énergie nucléaire — Mesure de la radioactivité dans l'environnement — Méthode d'essai pour l'analyse du tritium de l'eau libre et du tritium organiquement lié dans les matrices environnementales*, 40 p.
- AFNOR (2017). — NF ISO 14869-3 : *Qualité du sol — Mise en solution pour la détermination des teneurs élémentaires totales - Partie 3 : mise en solution par l'acide fluorhydrique, l'acide chlorhydrique et l'acide nitrique à l'aide de la technique de micro-ondes pressurisées*, 20 p.
- Branger F., Thollet F., Crochemore M., Poisbeau M., Raidelet N., Farissier P., Lagouy M., Dramais G., Le Coz J., Guerin A., Tallec G., Peschard J., Mathys N., Klotz S., Tolsa M. (2014). — Le projet base de données pour les observatoires en hydrologie : un outil pour la bancarisation, la gestion et la mise à disposition des données issues des observatoires hydrologiques de long terme à Irstea. *La Houille Blanche*, 1: 33-38.
- Branger F., Le Coz J., Thollet F., Le Bescond C. (2017). — *Bancarisation dans BDOH et notice de l'outil- (OSR 4)*.
- Coquery M., Le Coz J. (2015). — *Estimation des flux de MES et contaminants associés sur le Rhône et ses affluents - Livrable 5a : Synthèse sur les méthodologies de quantification des flux de contaminants particuliers dans le Rhône et ses affluents*. Rapport OSR 3, 30 p.
- E.C (2000). — Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. JOCE n°L327 du 22 décembre 2000, 72 p.
- E.C (2013). — Directive 2013/39/UE du Parlement Européen et du Conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau. JOUE n° L 226 du 24 août 2013.
- CNR (2015). — *Fiche d'incidence dragage détaillée – Chenal navigable à la confluence avec le Gier*. CNR, 26 p.
- Cossa D., Coquery M., Nakhlé K., Claisse D., Grisot G. (2013). — *Mercuré – Méthode d'analyse dans les sédiments, les boues et le biote*. Ifremer Nantes et Irstea, 5 p.

- Croizet, N. et B. Lopez (2013). *HYPE : Outil d'analyse statistique des séries temporelles d'évolution de la qualité des eaux souterraines* - Manuel d'utilisation., BRGM – ONEMA, 64p.
- Dabrin A., Masson M., Coquery M., Grisot G., Panay J., Le Bescond C., Bretier M., Radakovitch O., Gairoard S., Gattacecca J., Delanghe D., Ambrosi J.P., Angeletti B., Nicoulaud-Gouin V. (2017). — *Utilisation des traceurs géochimiques pour déterminer les sources de contaminants particulaires*. Rapport OSR 4, action IV.1, 38 p.
- Dugué V., Le Coz J., Camenen B., Faure J.-B. (2015). — *Modélisation hydro-sédimentaire 1-D du Rhône de Lyon à la mer Méditerranée* - Bilan 2014, Rapport Irstea, 23 p.
- EPA (2007). —Method 7473 (SW-846) - *Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry.*, 17 p.
- JCGM 100:2008 (GUM 1995 avec des corrections mineures) (2008). — *Évaluation des données de mesure - Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*, 122 p.
- Launay M. (2014). — *Flux de matières en suspension, de mercure et de PCB particulaires dans le Rhône, du Léman à la Méditerranée*, thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1, France, 478 p.
- Le Bescond C., Le Coz J., Coquery M., Thollet F., Panay J., Lagouy M., Buffet A., Dugué V., Poulier G., Dabrin A., Masson M., Miège C., Dramais G., Grisot G., Gairoard S., Radakovitch O., Delanghe D., Angeletti B., Gattacecca J., Raimbault P., Fournier M., Lepage H. (2016). — *Rapport sur le fonctionnement du réseau OSR d'observation des flux de matières en suspension et sur la bancarisation des données pour l'année 2016 (OSR 4)*, 27 p.
- Le Bescond, C., Le Coz, J., Coquery, M., Thollet, F., Panay, J., Lagouy, M., Buffet, A., Poulier, G., Dabrin, A., Masson M., Miège, C., Dramais, G., Grisot G., Gattacecca, J., Radakovitch, O., Delanghe, D., Angeletti, B., Raimbault, P., Fournier, Lepage, H., Pairaud, I. (2017). — *Rapport sur le fonctionnement du réseau OSR d'observation des flux de matières en suspension et de contaminants particulaires et sur la bancarisation des données pour l'année 2017 (OSR 4)*. Irstea, 35 p.
- Le Coz J., Launay M., Lagouy M., Coquery M., Angot H. (2011). — *Eléments de réponse aux questions de l'Agence de l'Eau RMC concernant l'acquisition d'une centrifugeuse fixe pour équiper la station de mesure du Rhône à Jons*, 6 p.
- Le Coz J., Renard B., Bonnifait L., Branger F., Le Boursicaud R. (2014). — Combining hydraulic knowledge and uncertain gaugings in the estimation of hydrometric rating curves: A Bayesian approach. *Journal of Hydrology*, 509: 573-587.
- Lionard et al. (2012). — *Recommandations de performances à exiger pour la surveillance de substances prioritaires hydrophobes dans les sédiments continentaux – Action I-B-01 – Appui aux donneurs d'ordre pour la surveillance milieux*. Rapport Irstea-Aquaref, 16 p.
- Lionard E., Miège C. (2014a). - *Fiche Aquaref MA-49 : 6 polybromodiphényléthers, 17 polychlorobiphényles et 8 organochlorés Méthode d'analyse dans les sédiments et les matières en suspension*. Irstea, 12 p
- Lionard et al. (2014b). — *Recommandations de performances à exiger pour la surveillance de substances prioritaires hydrophobes dans les sédiments continentaux – Action A – Recommandation, aide à la décision*. Rapport Irstea-Aquaref, 26 p.
- Lionard E., Dabrin A., Coquery M. (2015). — *Méthodologies d'évaluation de tendances spatiales et temporelles des teneurs en contaminants dans les sédiments – Rapport AQUAREF 2015*, 68 p.
- Masson M., Angot H., Le Bescond C., Launay M., Dabrin A., Miège C., Le Coz J., Coquery M. (2018). — *Sampling of suspended particulate matter using particle traps in the Rhône River: Relevance and*

representativeness for the monitoring of contaminants, *Science of the Total Environment*, 637-368, 538-549.

Miller J.N., Miller J.C. (2000). - *Statistics and chemometrics for analytical chemistry*, Pearson Education Limited, 271 p.

Pouchoulin S., Rivière N., Le Coz J., Mignot E. (2018). — *Mixing downstream of river confluences – Electrical conductivity measurements in Rhone-Saone confluence*. Riverflow, September 7th 2018, 19 p.

Poulier G., Le Coz J., Le Bescond C., Thollet F., Lagouy M., Dramais G., Grisot G., Launay M., Gattacceca J., Gairoard S., Radakovitch O., Lepage H., Coquery M. (2018a). — *Bilan actualisé des flux de matières en suspension et micropolluants associés sur le bassin du Rhône*. Rapport OSR 4, 93 p.

Poulier, G., M. Coquery, C. Miège, C. Le Bescond, A. Dabrin, G. Grisot, M. Gregson, M. Lagouy, F. Thollet, A. Buffet, G. Dramais, J. Le Coz, H. Lepage, J. Gattacceca, S. Gairoard, O. Radakovitch (2018b). *Etat des lieux des contaminants prioritaires et émergents sur le bassin du Rhône*, Rapport OSR 4, Version finale, 99 p.

Schulze, T., Ricking, M., Schroter-Kermani, C., Koerner, A., Denner, H.-D., Weinfurtner, K., Winkler, A., Pekdeger, A. (2007). — *The German Environmental Specimen Bank - Sampling, processing, and archiving sediment and suspended particulate matter*, *Journal of Soils and Sediments*, 7: 361-367.

Thollet F. (2012). — *Collecte de chroniques de matières en suspension avec une station turbidimétrique*. Rapport Irstea, 15 p.

Thollet F., Branger F., Le Coz J., Le Bescond C., Pérreal G., Raidelet N. (2017). — *Outils de stockage et visualisation des données du réseau OSR d'observation des flux de matières en suspension et de contaminants particulaires*. Rapport OSR4, action V.4. Version finale – Décembre 2017, 10 p.

A N N E X E S

Annexe 1. Synthèse des stations de suivi des flux de l'OSR (permanentes, temporaires ou possibles) avec les propositions de priorisation.

Station	Statut	Intérêt	Priorité flux contaminants (de P0 élevée à P3 faible)	Station de mesure de débits	Station turbidimétrique	Piège à particules	Centrifugeuse
Arve à Genève	Permanente	Affluent sédimentaire principal du Haut-Rhône	P1	Station OFEV à Genève-bout-du-monde	Turbidimètre Irstea sur station SIG (Services Industriels de la ville de Genève) (opérationnelle)	13/11/12 au 25/08/14 (20 échantillons mensuels)	09/03/11 au 11/12/12 (4 échantillons)
Rhône à Pougny	Permanente	Point d'entrée du Rhône sur le territoire français Aval du Léman et aval confluence avec l'Arve	Non prioritaire	Station CNR à Pougny	Station CNR (opérationnelle)	Chasse 2012 (10 échantillons)	Chasse 2016 (12 échantillons manuels)
Rhône à Pyrimont	Permanente	Aval confluence Valserine Amont confluences avec les Usse puis le Fier	Non prioritaire	Station CNR à Bognes	Station CNR (opérationnelle)		
Fier à Motz	Permanente	Affluent sédimentaire majeur sur le Haut-Rhône (<i>à confirmer</i>), deuxième apport le plus important après l'Arve d'après la simulation avec le modèle Rhône 1D.	P2 <i>si l'importance des flux se confirme (revus à la baisse par rapport à estimation Launay)</i>	Station CNR à Motz	Station Irstea (opérationnelle)	Depuis le 05/03/14 (43 échantillons mensuels)	20/08/12 (1 échantillon)
Guiers à Belmont-Tramonet	Temporaire	Affluent sédimentaire important sur le Haut-Rhône, programme de suivi par piège à particules pendant un an dans le programme AQUAREF	P2	Station CNR à Belmont-Tramonet	Station Irstea (démontée)	05/04/12 au 19/07/12 (7 échantillons mensuels)	05/04/12 au 27/04/12 (2 échantillons)
Rhône à Culoz	Permanente	Aval confluence avec le Fier	Non prioritaire		Station CNR (opérationnelle)		
Rhône à Massignieu	Permanente	Aval confluence avec le Fier	Non prioritaire		Station CNR (opérationnelle)		
Rhône à Groslée	Permanente	Aval confluence avec le Guiers	Non prioritaire	Station CNR à Groslée	Station CNR (opérationnelle)		
Rhône à Creys	Permanente	Aval confluence avec le Guiers	Non prioritaire	Station CNR à Pont de Groslée	Station EDF (opérationnelle)	Chasse 2012 (6 échantillons)	Chasse 2012 (26 échantillons)
Rhône à Villebois	Permanente	Aval confluence avec le Guiers	Non prioritaire	Station CNR à Pont de Groslée	Station CNR (opérationnelle)		
Rhône à Bugey	Permanente	Amont confluences avec la Bourbre puis l'Ain	Non prioritaire	Station CNR à Lagnieu	Station EDF (opérationnelle)		
Bourbre à Tignieu-Jameyzieu	Temporaire	Affluent présentant de fortes teneurs en contaminants	P3 (flux de MES faible)	Station DREAL ARA à Tignieu-Jameyzieu	Station Irstea (démontée)	15/11/11 au 28/08/13 (19 échantillons mensuels)	02/01/12 au 29/11/12 (6 échantillons)
Ain à Pont-de-Chazey	Temporaire	Un des principaux affluents du Haut-Rhône	P3 (flux de MES faible)	Station DREAL ARA à Pont-de-Chazey	Station Irstea (démontée)	20/07/12 au 28/01/13 (6 échantillons mensuels)	08/12/11 au 11/11/12 (7 échantillons)
Rhône à Jons	Principale	Point de référence pour évaluer les flux du Haut-Rhône à l'amont de l'agglomération lyonnaise	P0 (station principale)	Station CNR à Anthon (ou combinaison Lagnieu+Ain+Bourbre)	Station d'alerte du Grand Lyon (opérationnelle)	Depuis le 22/06/11 (206 échantillons bimensuel)	Depuis le 15/03/11 (mobile, 91 échantillons) et 09/07/13 (fixe, 103 échantillons)
Vieux-Rhône à Crépieux-Charmy	Permanente	Bras secondaire proche des champs captant du Grand Lyon	Non prioritaire		Station d'alerte du Grand Lyon (opérationnelle)		

Saône à Lyon-St-Georges	Permanente	Affluent sédimentaire majeur du Rhône Point clé pour boucler le bilan des flux de l'agglomération lyonnaise (continuité possible à l'avenir avec les études sur le site-atelier Ardières-Morcille de la ZABR)	P1	Station CNR à Couzon	Turbidimètre Irstea hébergé sur une station CNR (opérationnelle)	Depuis le 02/08/12 (installé plusieurs km en amont en RG) (83 échantillons mensuels)	12/12/11 au 22/02/13 (centrifugeuse mobile à l'Île Barbe, 15 échantillons)
Gier à Givors	Permanente	Affluent présentant de fortes teneurs en contaminants (ancienne vallée industrielle très urbanisée)	P2	Station DREAL ARA à Givors	Station Irstea (opérationnelle)	Depuis le 23/04/13 (55 échantillons mensuels)	
Rhône à St-Vallier	Possible	Aval agglomération lyonnaise et amont confluence Isère	P1 (une fois le turbidimètre CNR installé)	Station CNR à Saint-Vallier	Station CNR (difficultés opérationnelles pour l'installation)	Chasse 2016 (3 échantillons d'Andancette)	
Isère à Romans	Temporaire	Affluent du Rhône le plus contributeur en MES	Non prioritaire		Station CNR/Irstea (démontée)		
Isère à Beaumont-Monteux	Permanente	Affluent du Rhône le plus contributeur en MES (continuité avec l'important réseau de stations turbidimétriques EDF/Irstea/LTHE du site-atelier Arc-Isère de la ZABR, qui remonte jusqu'aux zones de production de l'Arvan et du Glandon)	P1	Station CNR à Beaumont-Monteux	Station EDF (homogénéité de la station ?) Projet de station CNR en redondance	Depuis le 09/09/14 (20 échantillons mensuels)	
Drôme à Loriol	Possible	Un des principaux affluents du Rhône aval / flux MES et contaminants pas explorés par OSR	P2	Station CNR à Loriol	A considérer pour OSR 5		
Rhône à Cruas	Permanente	Aval confluence Isère (mélange des eaux suffisant ?)	Non prioritaire		Station EDF (opérationnelle mais non calibrée)		
Ardèche à St-Martin-d'Ardèche (plage de Sauze)	Temporaire	Un des principaux affluents du Rhône aval (continuité possible avec les stations de flux du site OHMCV Pradel-Claudègne-Auzon LTHE)	P1	Station CNR/SPC-GD	Station Irstea/CNR	Depuis le 01/03/16 (12 échantillons mensuels)	
Cèze	Possible	Affluent du Rhône aval / flux MES et contaminants pas explorés par OSR	P3		Station provisoire (Irstea ?)		18/11/11 (1 échantillon)
Aigue	Possible	Affluent du Rhône aval / flux MES et contaminants pas explorés par OSR	P3		Station provisoire (Irstea ?)		
Ouvèze	Possible	Affluent du Rhône aval / flux MES et contaminants pas explorés par OSR	P3		Station provisoire (Irstea ?)		
Durance à Bonpas	Temporaire	Affluent sédimentaire majeur du Rhône aval (continuité avec le réseau de stations EDF, LTHE et Irstea qui remonte jusqu'aux zones de production de l'observatoire Draix-Bléone)	P1	Station CNR à Bonpas	Station EDF (opérationnelle)	Depuis le 14/10/15 (12 échantillons mensuels)	
Gardon à Remoulins	Permanente	Un des principaux affluents du Rhône aval / flux MES et contaminants	P1	Station CNR à Remoulins	Station CNR/SPC-GD Turbidimètre Irstea depuis le 20/06/2017	Depuis le 15/11/2017 (10 échantillons mensuels)	
Rhône en Arles (SORA)	Principale	Boucler les flux du bassin versant du Rhône avant le domaine marin (exutoire du Rhône)	PO (station principale)	Stations CNR à Arles (Grand-Rhône) et à Beaucaire (Rhône total)	Station SORA (mesures de MES réalisées par le MIO et turbidimètre à Barcarin depuis décembre 2014)	Depuis le 18/05/11 (168 échantillons) Suivi Ifremer en 2009-2010	

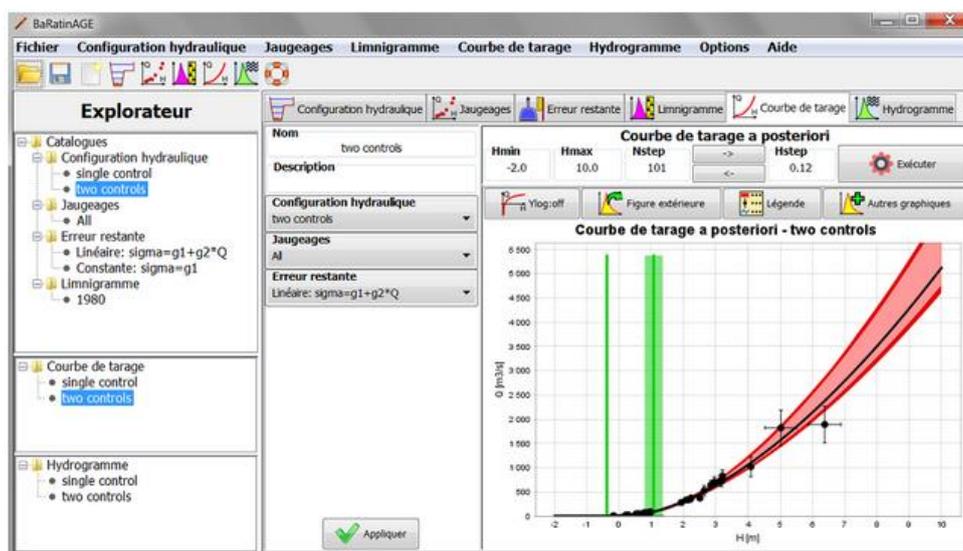
Annexe 2. Utilisation du logiciel BaRatin pour la construction des courbes de calibration des capteurs de turbidité et explications sur les incertitudes associées.

Le logiciel BaRatin est un outil utilisé en hydrologie pour estimer des courbes de tarage (hauteur/débit) et leurs incertitudes. Dans l'OSR, il est utilisé pour construire les courbes de calibration des capteurs de turbidité. Il faut donc transposer le vocabulaire utilisé dans l'aide de BaRatin :

- le terme « courbe de tarage » correspond à une courbe de calibration ;
- le terme « jaugeage » correspond à un couple de points turbidité/concentration en MES ;
- le terme « hauteur d'activation » correspond à la valeur de turbidité à partir de laquelle on observe une cassure dans la relation linéaire turbidité/MES (relation à multiples segments linéaires comme dans le cas du Fier à Motz par exemple) ;
- les valeurs de turbidité (en NTU) sont reportées sur l'axe des abscisses (Hauteur H [m]) ;
- les valeurs de concentrations en MES (en mg/L) sont reportées sur l'axe des ordonnées (Débit [m³/s]).

Les textes suivants sont extraits de l'aide fournie avec le logiciel.

Aide sur le graphique construit dans BaRatin :



« Le graphique ci-dessus montre la courbe de tarage a posteriori. Le terme "a posteriori" indique que cette courbe a été estimée en utilisant les jaugeages ("après les avoir observés"), par opposition à la courbe a priori qui n'utilisait aucun jaugeage. Sur ce graphique, les lignes verticales représentent les hauteurs d'activation de chaque contrôle (avec incertitudes). La courbe représentée en noir est la courbe la plus probable a posteriori, nommée pour simplifier courbe maxpost. Autour de la courbe maxpost, l'intervalle en rouge clair représente l'incertitude paramétrique, c'est-à-dire l'incertitude liée uniquement à l'estimation des paramètres de la courbe. L'intervalle en rouge foncé représente l'incertitude totale, c'est-à-dire la combinaison de l'incertitude paramétrique et de l'incertitude induite par l'erreur restante. Il est recommandé de visualiser le graphique aussi en prenant une échelle logarithmique pour les débits, ce qui permet souvent de mieux voir l'articulation des contrôles sur toute la gamme de hauteur d'eau, les écarts relatifs de débit (en %) apparaissant alors avec la même taille quel que soit le débit. »

Généralités sur l'erreur restante :

« Imaginons la situation suivante, qui est idéalisée et donc forcément irréaliste : sur une station hydrométrique, nous disposons de jaugeages parfaits (sans aucune incertitude), et en très grand nombre. En conséquence, il est possible d'estimer très précisément les paramètres de la courbe de tarage, et donc l'incertitude autour de la courbe de tarage est très faible - disons qu'elle est même négligeable pour simplifier. Malgré tout, on s'attend toujours à ce que les jaugeages ne s'alignent pas parfaitement sur la courbe de tarage. Il existe donc toujours une dispersion des jaugeages autour de la courbe qui n'est due ni à l'incertitude des jaugeages (qui est nulle), ni à celle du calage des paramètres de la courbe (qui est négligeable).

Plus généralement, on observe fréquemment que les incertitudes des jaugeages et l'incertitude liée à l'estimation des paramètres de la courbe ne suffisent pas à expliquer la dispersion des jaugeages autour de la courbe. Il "reste" donc une source d'erreur, qui a certainement de multiples origines : erreur structurelle de la courbe de tarage (c'est-à-dire le fait que l'équation utilisée n'est qu'une approximation de la vraie relation physique hauteur-débit), légers détarages non détectés, phénomène d'hystérésis ignoré, incertitudes sur les jaugeages sous-estimées, etc.

Pour faire face à ce problème, BaRatinAGE introduit le concept d'erreur restante, qui est utilisée pour ajouter l'incertitude qui manque pour expliquer la dispersion des jaugeages autour de la courbe de tarage, sans vraiment préjuger de l'origine de cette incertitude manquante. C'est en quelque sorte le ramasse-miette des incertitudes (d'où l'icône utilisée). »

Annexe 3. Synthèse des débits de crue de période de retour deux ans pour le Rhône et ses affluents suivis dans le cadre de l'OSR.

Cours d'eau	Station	Débit de crue (m ³ /s) 2 ans	Seuil de crue (m ³ /s)
Arve	Bout du monde	487	244
Fier	Motz	398	199
Guiers	Belmont-Tramonet	121	61
Bourbre	Tignieu-Jamezieu	29	15
Ain	Port Galland	820	410
Rhône	Jons		800
Saône	Couzon	1700	850
Gier	Givors	71	35
Isère	Beaumont-Monteux	1160	580
Drôme	Livron-sur-Drôme	192	96
Ardèche	St-Martin-d'Ardèche	1690	845
Gardon	Remoulins	804	402
Durance	Bonpas	880	440
Rhône	Arles	5800	2900*

*Le banc automatisé de cartouche filtrante utilisé par l'IRSN se déclenche autour de 3000 m³/s

Données extraites de la thèse de Launay M. (2014) - Flux de matières en suspension, de mercure et de PCB particulières dans le Rhône, du Léman à la Méditerranée. Irstea, Université Lyon 1. Thèse de doctorat. p. 380.

Le seuil de crue correspond à la valeur de débit à partir de laquelle le suivi du cours d'eau considéré est, si possible, intensifié. Le seuil de crue de chaque affluent correspond à la moitié de la valeur de son débit de crue biannuelle (Q2, période de retour 2 ans).

Annexe 4. Liste des paramètres analysés dans l'OSR par les laboratoires des partenaires scientifiques et méthodes d'analyse.

Famille	Substance	Laboratoire partenaire	Méthode d'extraction	Méthode d'analyse	Méthode de référence	Limite de quantification	Incertitude élargie (%)	LQ recommandée*
Hg	Mercuré total	Irstea		AAS atomique	- EPA 7473 - Aquaref MA02	10 µg/kg	16	10 µg/kg
PCBi (7)	PCB28	Irstea	Accelerated Solvent Extraction	GC-MS	XP X33-012	0,50-1,0 µg/kg	30-100	1,00 µg/kg
	PCB52					0,75-1,0 µg/kg		
	PCB101					0,50-1,0 µg/kg		
	PCB118					0,50-1,0 µg/kg		
	PCB138					0,50-0,75 µg/kg		
	PCB153					0,50 µg/kg		
	PCB180					0,50-1,0 µg/kg		
PCB-DL (2)	PCB105	Irstea	Accelerated Solvent Extraction	GC-MS	XP X33-012 Aquaref MA49	0,50 µg/kg	30-100	1,00 µg/kg
	PCB156					0,50 µg/kg		
PBDE (2)	BDE47	Irstea	Accelerated Solvent Extraction	GC-MS	XP X33-012 Aquaref MA49	0,50 µg/kg	30-100	5,00 µg/kg
	BDE99					0,50 µg/kg		
ETM (8)	Cadmium	CEREGE	Attaque totale par micro-ondes	ICP-MS	NF ISO 14869-3 :2017	0,1 mg/kg	8,8	0,1 mg/kg
	Cobalt					0,05 mg/kg	8,5	
	Chrome					0,1 mg/kg	9,1	0,2 mg/kg
	Cuivre					0,1 mg/kg	8,0	0,2 mg/kg
	Nickel					1 mg/kg	10,2	0,2 mg/kg
	Plomb					1 mg/kg	9,7	1,3 mg/kg
	Zinc					5 mg/kg	9,5	0,2 mg/kg
	Arsenic					0,5 mg/kg	9,1	0,2 mg/kg
Radio-nucléides émetteurs de rayonnement gamma (10)	²²⁸ Ac	IRSN		Spectrométrie gamma	NF ISO 18589-3	2,0 Bq/kg**		
	⁷ Be					2,0 Bq/kg**		
	⁴⁰ K					5,0 Bq/kg**		
	^{110m} Ag					0,2 Bq/kg**		
	²¹⁰ Pb					6,0 Bq/kg**		
	²³⁴ Th					8,0 Bq/kg**		
	⁵⁴ Mn					0,5 Bq/kg**		
	⁶⁰ Co					0,5 Bq/kg**		
	¹³⁴ Cs					0,6 Bq/kg**		
	¹³⁷ Cs					0,6 Bq/kg**		
TOL	IRSN		Recroissance de l'Helium-3 puis spectrométrie de masse	NF XP M 60-824	0,025 Bq/kg sec			
¹⁴ C	IRSN		Spectrométrie de masse par accélérateur		Détection systématique			
COP	Rhône Nord : Irstea	Décarbonatation par ajout d'acide phosphorique	Analyseur élémentaire	NF ISO 10694	0,5 g/kg			
Granulométrie	Rhône Nord : Irstea			Diffraction laser	ISO 13320 :2009			
	Rhône Sud : CEREGE			Diffraction laser				

* LQ recommandée : valeurs des LQ recommandées dans les sédiments par Aquaref (Laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques) [Lionard *et al.*, 2012 ; Lionard *et al.*, 2014b]

** Valeurs des limites de détection, qui correspondent à environ 50% des valeurs des limites de quantification.

Annexe 5. Statistiques descriptives des données de concentrations particulières en mercure, PCB indicateurs, éléments traces métalliques et radionucléides acquises depuis le début de l'OSR.

Site	Analyse	Débit	Effectif	Moyenne	Mediane	Fréquence de quantification
Arve à Genève	Mercure	Base	21	0,027 mg/kg	0,028 mg/kg	86%
		Crue	1	0,030 mg/kg	0,030 mg/kg	100%
	PCB28	Base	16	0,30 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
		Crue	1	0,25 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
	PCB52	Base	16	0,63 µg/kg	0,44 µg/kg	0%
		Crue	1	0,91 µg/kg	0,91 µg/kg	100%
	PCB101	Base	16	1,19 µg/kg	0,92 µg/kg	44%
		Crue	1	0,78 µg/kg	0,78 µg/kg	100%
	PCB118	Base	16	0,59 µg/kg	0,38 µg/kg	31%
		Crue	1	0,38 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
	PCB138	Base	16	1,55 µg/kg	0,69 µg/kg	56%
		Crue	1	0,69 µg/kg	0,69 µg/kg	100%
	PCB153	Base	16	1,31 µg/kg	0,78 µg/kg	56%
		Crue	1	0,74 µg/kg	0,74 µg/kg	100%
	PCB180	Base	16	0,9 µg/kg	0,25 µg/kg	44%
		Crue	1	0,25 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
	As	Base	15	13,18 mg/kg	11,51 mg/kg	100%
		Crue	1	10,2 mg/kg	10,20 mg/kg	100%
	Cd	Base	15	0,20 mg/kg	0,20 mg/kg	100%
		Crue	1	0,18 mg/kg	0,18 mg/kg	100%
	Co	Base	15	7,63 mg/kg	7,58 mg/kg	100%
		Crue	1	7,83 mg/kg	7,83 mg/kg	100%
	Cr	Base	15	58,99 mg/kg	57,22 mg/kg	100%
		Crue	1	67,32 mg/kg	67,32 mg/kg	100%
	Cu	Base	15	16,22 mg/kg	16,12 mg/kg	100%
		Crue	1	16,88 mg/kg	16,88 mg/kg	100%
	Ni	Base	15	25,76 mg/kg	26,71 mg/kg	100%
		Crue	1	31,66 mg/kg	31,66 mg/kg	100%
Pb	Base	15	19,45 mg/kg	20,12 mg/kg	100%	
	Crue	1	18,25 mg/kg	18,25 mg/kg	100%	
Zn	Base	15	80,97 mg/kg	77,86 mg/kg	100%	
	Crue	1	72,38 mg/kg	72,38 mg/kg	100%	
Fier à Motz	Mercure	Base	41	0,053 mg/kg	0,043 mg/kg	100%
		Crue	12	0,023 mg/kg	0,023 mg/kg	100%
	PCB28	Base	19	0,40 µg/kg	0,38 µg/kg	5%
		Crue	8	0,29 µg/kg	0,31 µg/kg	0%
	PCB52	Base	19	0,75 µg/kg	0,50 µg/kg	16%
		Crue	8	0,52 µg/kg	0,50 µg/kg	13%
	PCB101	Base	19	1,33 µg/kg	0,87 µg/kg	68%
		Crue	8	0,52 µg/kg	0,38 µg/kg	25%
	PCB118	Base	19	0,78 µg/kg	0,38 µg/kg	37%
		Crue	8	0,39 µg/kg	0,38 µg/kg	13%
	PCB138	Base	19	2,79 µg/kg	2,20 µg/kg	89%
		Crue	8	1,36 µg/kg	1,31 µg/kg	75%
	PCB153	Base	19	1,94 µg/kg	1,38 µg/kg	74%
		Crue	8	0,99 µg/kg	0,88 µg/kg	75%
	PCB180	Base	19	1,8 µg/kg	1,13 µg/kg	79%
		Crue	8	1,16 µg/kg	1,11 µg/kg	100%
	As	Base	9	3,39 mg/kg	3,18 mg/kg	100%
		Crue	4	3,75 mg/kg	3,78 mg/kg	100%
	Cd	Base	9	0,11 mg/kg	0,12 mg/kg	100%
		Crue	4	0,12 mg/kg	0,12 mg/kg	100%
	Co	Base	9	4,86 mg/kg	4,88 mg/kg	100%
		Crue	4	5,63 mg/kg	5,56 mg/kg	100%

Site	Analyse	Débit	Effectif	Moyenne	Mediane	Fréquence de quantification
Fier à Motz	Cr	Base	9	56,6 mg/kg	59,08 mg/kg	100%
		Crue	4	72,17 mg/kg	68,82 mg/kg	100%
	Cu	Base	9	12,55 mg/kg	13,49 mg/kg	100%
		Crue	4	11,57 mg/kg	11,52 mg/kg	100%
	Ni	Base	9	26,51 mg/kg	26,5 mg/kg	100%
		Crue	4	31,33 mg/kg	30,82 mg/kg	100%
	Pb	Base	9	9,28 mg/kg	9,28 mg/kg	100%
		Crue	4	9,56 mg/kg	9,56 mg/kg	100%
	Zn	Base	9	46,69 mg/kg	51,67 mg/kg	100%
		Crue	4	40,08 mg/kg	40,66 mg/kg	100%
¹³⁷ Cs	Base	6	3,78 Bq/kg	3,44 Bq/kg	100%	
	Crue	3	1,13 Bq/kg	1,00 Bq/kg	100%	
Bourbre à Tignieu-Jameyzieu	Mercure	Base	9	0,117 mg/kg	0,106 mg/kg	100%
		Crue	6	0,132 mg/kg	0,124 mg/kg	100%
	PCB28	Base	9	1,47 µg/kg	1,36 µg/kg	78%
		Crue	6	1,52 µg/kg	1,17 µg/kg	83%
	PCB52	Base	9	4,12 µg/kg	3,74 µg/kg	100%
		Crue	6	3,35 µg/kg	2,92 µg/kg	100%
	PCB101	Base	9	9,17 µg/kg	7,53 µg/kg	100%
		Crue	6	7,52 µg/kg	5,87 µg/kg	100%
	PCB118	Base	9	7,57 µg/kg	6,90 µg/kg	100%
		Crue	6	5,54 µg/kg	4,67 µg/kg	100%
	PCB138	Base	9	11,55 µg/kg	12,24 µg/kg	100%
		Crue	6	8,85 µg/kg	7,46 µg/kg	100%
	PCB153	Base	9	9,89 µg/kg	7,60 µg/kg	100%
		Crue	6	7,97 µg/kg	8,05 µg/kg	100%
	PCB180	Base	9	4,89 µg/kg	4,15 µg/kg	100%
		Crue	6	3,63 µg/kg	3,74 µg/kg	100%
	As	Base	3	12,95 mg/kg	14,66 mg/kg	100%
		Crue	2	7,91 mg/kg	7,91 mg/kg	100%
	Cd	Base	3	0,71 mg/kg	0,68 mg/kg	100%
		Crue	2	0,52 mg/kg	0,52 mg/kg	100%
	Co	Base	3	7,27 mg/kg	7,04 mg/kg	100%
		Crue	2	6,19 mg/kg	6,19 mg/kg	100%
	Cr	Base	3	61,04 mg/kg	55,49 mg/kg	100%
		Crue	2	47,40 mg/kg	47,40 mg/kg	100%
Cu	Base	3	54,51 mg/kg	49,05 mg/kg	100%	
	Crue	2	35,89 mg/kg	35,89 mg/kg	100%	
Ni	Base	3	24,30 mg/kg	23,99 mg/kg	100%	
	Crue	2	20,14 mg/kg	20,14 mg/kg	100%	
Pb	Base	3	35,39 mg/kg	37,46 mg/kg	100%	
	Crue	2	29,48 mg/kg	29,48 mg/kg	100%	
Zn	Base	3	174,49 mg/kg	191,97 mg/kg	100%	
	Crue	2	90,00 mg/kg	90,00 mg/kg	100%	
Ain à Chazey-sur-Ain	Mercure	Base	7	0,057 mg/kg	0,054 mg/kg	100%
		Crue	6	0,053 mg/kg	0,047 mg/kg	100%
	PCB28	Base	4	0,25 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
		Crue	6	0,25 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
	PCB52	Base	4	0,38 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
		Crue	6	0,38 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
	PCB101	Base	4	0,25 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
		Crue	6	0,40 µg/kg	0,25 µg/kg	33%
	PCB118	Base	4	0,38 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
		Crue	6	0,47 µg/kg	0,38 µg/kg	17%
	PCB138	Base	4	1,63 µg/kg	1,63 µg/kg	100%
		Crue	6	1,33 µg/kg	1,40 µg/kg	83%
	PCB153	Base	4	1,36 µg/kg	1,20 µg/kg	100%
		Crue	6	1,50 µg/kg	1,35 µg/kg	100%
	PCB180	Base	4	0,87 µg/kg	0,87 µg/kg	100%
		Crue	6	0,81 µg/kg	0,82 µg/kg	67%

Site	Analyse	Débit	Effectif	Moyenne	Mediane	Fréquence de quantification
Rhône à Jons	Mercure	Base	234	0,057 mg/kg	0,054 mg/kg	100%
		Crue	95	0,046 mg/kg	0,045 mg/kg	100%
		Chasse	17	0,036 mg/kg	0,036 mg/kg	100%
	PCB28	Base	131	0,32 µg/kg	0,25 µg/kg	5%
		Crue	66	0,32 µg/kg	0,25 µg/kg	8%
		Chasse	15	0,24 µg/kg	0,25 µg/kg	33%
	PCB52	Base	131	0,48 µg/kg	0,38 µg/kg	4%
		Crue	66	0,50 µg/kg	0,38 µg/kg	3%
		Chasse	15	0,30 µg/kg	0,38 µg/kg	13%
	PCB101	Base	131	1,25 µg/kg	1,20 µg/kg	75%
		Crue	66	1,19 µg/kg	1,24 µg/kg	77%
		Chasse	15	0,54 µg/kg	0,45 µg/kg	53%
	PCB118	Base	131	0,64 µg/kg	0,38 µg/kg	38%
		Crue	66	0,61 µg/kg	0,38 µg/kg	36%
		Chasse	15	0,34 µg/kg	0,38 µg/kg	13%
	PCB138	Base	131	2,31 µg/kg	2,17 µg/kg	89%
		Crue	66	2,92 µg/kg	2,17 µg/kg	92%
		Chasse	15	1,26 µg/kg	1,37 µg/kg	100%
	PCB153	Base	131	2,00 µg/kg	1,89 µg/kg	88%
		Crue	66	2,35 µg/kg	1,82 µg/kg	91%
		Chasse	15	1,17 µg/kg	1,36 µg/kg	80%
	PCB180	Base	131	1,37 µg/kg	1,28 µg/kg	90%
		Crue	66	2,21 µg/kg	1,19 µg/kg	86%
		Chasse	15	0,77 µg/kg	0,83 µg/kg	87%
	As	Base	120	12,09 mg/kg	12,35 mg/kg	100%
		Crue	40	11,11 mg/kg	10,95 mg/kg	100%
		Chasse	13	12,66 mg/kg	12,31 mg/kg	100%
	Cd	Base	118	0,37 mg/kg	0,34 mg/kg	100%
		Crue	40	0,32 mg/kg	0,31 mg/kg	100%
		Chasse	13	0,28 mg/kg	0,27 mg/kg	100%
	Co	Base	120	10,02 mg/kg	10,09 mg/kg	100%
		Crue	40	9,9 mg/kg	9,67 mg/kg	100%
		Chasse	13	8,47 mg/kg	7,39 mg/kg	100%
	Cr	Base	120	71,25 mg/kg	68,11 mg/kg	100%
		Crue	40	78,07 mg/kg	74,21 mg/kg	100%
		Chasse	13	56,8 mg/kg	52,48 mg/kg	100%
	Cu	Base	120	68,42 mg/kg	45,48 mg/kg	100%
		Crue	40	31,14 mg/kg	30,89 mg/kg	100%
		Chasse	13	19,26 mg/kg	17,81 mg/kg	100%
	Ni	Base	120	38,6 mg/kg	36,73 mg/kg	100%
		Crue	40	42,34 mg/kg	40,73 mg/kg	100%
		Chasse	13	29,1 mg/kg	26,28 mg/kg	100%
Pb	Base	120	31,11 mg/kg	28,49 mg/kg	100%	
	Crue	40	24,61 mg/kg	24,63 mg/kg	100%	
	Chasse	13	22,87 mg/kg	18,81 mg/kg	100%	
Zn	Base	120	159,88 mg/kg	137,61 mg/kg	100%	
	Crue	40	103,47 mg/kg	104,54 mg/kg	100%	
	Chasse	13	96,9 mg/kg	81,41 mg/kg	100%	
¹³⁷ Cs	Base	38	7,28 Bq/kg	7,00 Bq/kg	100%	
	Crue	33	4,98 Bq/kg	5,00 Bq/kg	100%	
	Chasse	1	4,00 Bq/kg	4,00 Bq/kg	100%	
⁴⁰ K	Base	25	484,4 Bq/kg	430,00 Bq/kg	100%	
	Crue	25	374,56 Bq/kg	360,00 Bq/kg	100%	
	Chasse	0	/	/	/	
²³⁴ Th	Base	25	42,72 Bq/kg	38,00 Bq/kg	100%	
	Crue	25	33,00 Bq/kg	32,00 Bq/kg	100%	
	Chasse	0	/	/	/	

Site	Analyse	Débit	Effectif	Moyenne	Mediane	Fréquence de quantification
Saône à Lyon	Mercure	Base	70	0,313 mg/kg	0,183 mg/kg	100%
		Crue	39	0,162 mg/kg	0,144 mg/kg	100%
	PCB28	Base	39	0,72 µg/kg	0,25 µg/kg	28%
		Crue	28	0,45 µg/kg	0,25 µg/kg	21%
	PCB52	Base	39	1,50 µg/kg	0,50 µg/kg	28%
		Crue	28	0,69 µg/kg	0,50 µg/kg	32%
	PCB101	Base	39	3,80 µg/kg	2,64 µg/kg	97%
		Crue	28	2,03 µg/kg	1,87 µg/kg	93%
	PCB118	Base	39	2,73 µg/kg	1,61 µg/kg	90%
		Crue	28	1,10 µg/kg	1,05 µg/kg	89%
	PCB138	Base	39	5,71 µg/kg	4,58 µg/kg	95%
		Crue	28	3,42 µg/kg	3,31 µg/kg	96%
	PCB153	Base	39	5,85 µg/kg	4,56 µg/kg	95%
		Crue	28	3,04 µg/kg	2,86 µg/kg	93%
	PCB180	Base	39	3,60 µg/kg	2,38 µg/kg	97%
		Crue	28	2,08 µg/kg	1,97 µg/kg	96%
	As	Base	36	27,19 mg/kg	29,23 mg/kg	100%
		Crue	24	25,38 mg/kg	26,28 mg/kg	100%
	Cd	Base	36	0,65 mg/kg	0,62 mg/kg	100%
		Crue	24	0,62 mg/kg	0,61 mg/kg	100%
	Co	Base	36	14,3 mg/kg	14,47 mg/kg	100%
		Crue	24	14,6 mg/kg	14,10 mg/kg	100%
	Cr	Base	36	96,59 mg/kg	96,21 mg/kg	100%
		Crue	24	101,18 mg/kg	97,90 mg/kg	100%
	Cu	Base	36	52,03 mg/kg	50,98 mg/kg	100%
		Crue	24	40,78 mg/kg	39,33 mg/kg	100%
	Ni	Base	36	45,08 mg/kg	44,91 mg/kg	100%
		Crue	24	43,98 mg/kg	42,68 mg/kg	100%
	Pb	Base	36	60,81 mg/kg	61,10 mg/kg	100%
		Crue	24	49,24 mg/kg	48,60 mg/kg	100%
	Zn	Base	36	234,12 mg/kg	238,35 mg/kg	100%
		Crue	24	209,70 mg/kg	198,62 mg/kg	100%
¹³⁷ Cs	Base	3	11,35 Bq/kg	11,29 Bq/kg	100%	
	Crue	7	12,27 Bq/kg	13,06 Bq/kg	100%	
Gier à Givros	Mercure	Base	59	0,341 mg/kg	0,317 mg/kg	100%
		Crue	3	0,091 mg/kg	0,082 mg/kg	100%
	PCB28	Base	25	2,79 µg/kg	2,33 µg/kg	80%
		Crue	3	0,55 µg/kg	0,38 µg/kg	33%
	PCB52	Base	25	4,51 µg/kg	4,43 µg/kg	100%
		Crue	3	1,30 µg/kg	1,25 µg/kg	33%
	PCB101	Base	25	17,38 µg/kg	14,81 µg/kg	100%
		Crue	3	7,45 µg/kg	7,01 µg/kg	100%
	PCB118	Base	25	4,73 µg/kg	5,45 µg/kg	88%
		Crue	3	2,45 µg/kg	2,33 µg/kg	100%
	PCB138	Base	25	24,28 µg/kg	23,61 µg/kg	100%
		Crue	3	12,66 µg/kg	12,57 µg/kg	100%
	PCB153	Base	25	23,99 µg/kg	23,37 µg/kg	100%
		Crue	3	12,78 µg/kg	14,56 µg/kg	100%
	PCB180	Base	25	27,74 µg/kg	25,11 µg/kg	100%
		Crue	3	11,98 µg/kg	12,06 µg/kg	100%
	As	Base	9	70,06 mg/kg	71,66 mg/kg	100%
		Crue	0	/	/	/
	Cd	Base	9	1,33 mg/kg	1,40 mg/kg	100%
		Crue	0	/	/	/
	Co	Base	9	26,01 mg/kg	25,75 mg/kg	100%
		Crue	0	/	/	/
	Cr	Base	9	220,97 mg/kg	216,25 mg/kg	100%
		Crue	0	/	/	/

Site	Analyse	Débit	Effectif	Moyenne	Mediane	Fréquence de quantification
Gier à Givors	Cu	Base	9	196,79 mg/kg	197,16 mg/kg	100%
		Cru	0	/	/	/
	Ni	Base	9	82,89 mg/kg	80,12 mg/kg	100%
		Cru	0	/	/	/
	Pb	Base	9	121,50 mg/kg	128,74 mg/kg	100%
		Cru	0	/	/	/
	Zn	Base	9	712,92 mg/kg	802,42 mg/kg	100%
		Cru	0	/	/	/
	¹³⁷ Cs	Base	9	7,05 Bq/kg	7,47 Bq/kg	100%
		Cru	0	/	/	/
Isère à Beaumont-Monteux	Mercure	Base	23	0,086 mg/kg	0,086 mg/kg	100%
		Cru	2	0,048 mg/kg	0,043 mg/kg	100%
	PCB28	Base	14	0,41 µg/kg	0,38 µg/kg	21%
		Cru	1	0,38 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
	PCB52	Base	14	0,70 µg/kg	0,67 µg/kg	36%
		Cru	1	0,50 µg/kg	0,50 µg/kg	0%
	PCB101	Base	14	0,96 µg/kg	0,99 µg/kg	64%
		Cru	1	0,38 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
	PCB118	Base	14	0,61 µg/kg	0,50 µg/kg	50%
		Cru	1	0,38 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
	PCB138	Base	14	1,79 µg/kg	1,90 µg/kg	79%
		Cru	1	1,69 µg/kg	1,69 µg/kg	100%
	PCB153	Base	14	2,28 µg/kg	1,84 µg/kg	86%
		Cru	1	1,35 µg/kg	1,35 µg/kg	100%
	PCB180	Base	14	2,55 µg/kg	2,04 µg/kg	79%
		Cru	1	1,51 µg/kg	1,51 µg/kg	100%
	As	Base	19	24,17 mg/kg	23,23 mg/kg	100%
		Cru	1	18,51 mg/kg	18,51 mg/kg	100%
	Cd	Base	19	0,22 mg/kg	0,23 mg/kg	100%
		Cru	1	0,17 mg/kg	0,17 mg/kg	100%
	Co	Base	19	14,96 mg/kg	14,37 mg/kg	100%
		Cru	1	12,67 mg/kg	12,67 mg/kg	100%
	Cr	Base	19	88,1 mg/kg	86,82 mg/kg	100%
		Cru	1	76,46 mg/kg	76,46 mg/kg	100%
	Cu	Base	19	28,74 mg/kg	27,01 mg/kg	100%
		Cru	1	21,34 mg/kg	21,34 mg/kg	100%
	Ni	Base	19	45,75 mg/kg	43,79 mg/kg	100%
		Cru	1	40,32 mg/kg	40,32 mg/kg	100%
	Pb	Base	19	29,43 mg/kg	29,83 mg/kg	100%
		Cru	1	24,91 mg/kg	24,91 mg/kg	100%
Zn	Base	19	109,99 mg/kg	110,93 mg/kg	100%	
	Cru	1	97,54 mg/kg	97,54 mg/kg	100%	
¹³⁷ Cs	Base	6	2,53 Bq/kg	2,30 Bq/kg	100%	
	Cru	1	2,20 Bq/kg	2,20 Bq/kg	100%	
Ardèche à St-Martin-d'Ardèche	Mercure	Base	18	0,057 mg/kg	0,052 mg/kg	100%
		Cru	2	0,057 mg/kg	0,057 mg/kg	100%
	PCB28	Base	6	0,12 µg/kg	0,05 µg/kg	0%
		Cru	0	/	/	/
	PCB52	Base	6	0,17 µg/kg	0,13 µg/kg	0%
		Cru	0	/	/	/
	PCB101	Base	6	0,33 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
		Cru	0	/	/	/
	PCB118	Base	6	0,39 µg/kg	0,25 µg/kg	33%
		Cru	0	/	/	/
	PCB138	Base	6	1,02 µg/kg	1,01 µg/kg	100%
		Cru	0	/	/	/
	PCB153	Base	6	0,72 µg/kg	0,50 µg/kg	33%
		Cru	0	/	/	/

Site	Analyse	Débit	Effectif	Moyenne	Mediane	Fréquence de quantification
Ardèche à St-Martin-d'Ardèche	PCB180	Base	6	0,80 µg/kg	0,75 µg/kg	100%
		Crue	0	/	/	/
	As	Base	12	20,64 mg/kg	19,94 mg/kg	100%
		Crue	1	16,51 mg/kg	16,51 mg/kg	100%
	Cd	Base	12	0,95 mg/kg	1,00 mg/kg	100%
		Crue	1	0,41 mg/kg	0,41 mg/kg	100%
	Co	Base	12	12,76 mg/kg	11,76 mg/kg	100%
		Crue	1	15,75 mg/kg	15,75 mg/kg	100%
	Cr	Base	12	73,19 mg/kg	70,00 mg/kg	100%
		Crue	1	73,45 mg/kg	73,45 mg/kg	100%
	Cu	Base	12	27,88 mg/kg	26,75 mg/kg	100%
		Crue	1	18,33 mg/kg	18,33 mg/kg	100%
	Ni	Base	12	32,54 mg/kg	30,73 mg/kg	100%
		Crue	1	30,29 mg/kg	30,29 mg/kg	100%
	Pb	Base	12	71,41 mg/kg	70,18 mg/kg	100%
		Crue	1	58,42 mg/kg	58,42 mg/kg	100%
	Zn	Base	12	242,43 mg/kg	240,39 mg/kg	100%
		Crue	1	127,43 mg/kg	127,43 mg/kg	100%
	¹³⁷ Cs	Base	4	9,83 Bq/kg	10,07 Bq/kg	100%
		Crue	0	/	/	/
Durance à Bonpas	Mercure	Base	17	0,056 mg/kg	0,056 mg/kg	100%
		Crue	9	0,068 mg/kg	0,068 mg/kg	100%
	PCB28	Base	9	0,28 µg/kg	0,25 µg/kg	11%
		Crue	5	0,25 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
	PCB52	Base	9	0,35 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
		Crue	5	0,38 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
	PCB101	Base	9	0,34 µg/kg	0,38 µg/kg	11%
		Crue	5	0,25 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
	PCB118	Base	9	0,28 µg/kg	0,25 µg/kg	0%
		Crue	5	0,38 µg/kg	0,38 µg/kg	0%
	PCB138	Base	9	0,29 µg/kg	0,25 µg/kg	22%
		Crue	5	0,48 µg/kg	0,50 µg/kg	60%
	PCB153	Base	9	0,37 µg/kg	0,25 µg/kg	11%
		Crue	5	0,63 µg/kg	0,72 µg/kg	60%
	PCB180	Base	9	0,47 µg/kg	0,25 µg/kg	33%
		Crue	5	0,37 µg/kg	0,25 µg/kg	40%
	As	Base	14	7,07 mg/kg	6,94 mg/kg	100%
		Crue	13	5,41 mg/kg	4,79 mg/kg	100%
	Cd	Base	14	0,14 mg/kg	0,12 mg/kg	100%
		Crue	13	0,13 mg/kg	0,12 mg/kg	100%
	Co	Base	14	9,80 mg/kg	9,75 mg/kg	100%
		Crue	13	9,45 mg/kg	9,03 mg/kg	100%
	Cr	Base	14	66,99 mg/kg	58,87 mg/kg	100%
		Crue	13	61,27 mg/kg	57,99 mg/kg	100%
	Cu	Base	14	25,95 mg/kg	17,71 mg/kg	100%
		Crue	13	17,85 mg/kg	16,51 mg/kg	100%
	Ni	Base	14	36,62 mg/kg	35,23 mg/kg	100%
		Crue	13	34,90 mg/kg	33,65 mg/kg	100%
	Pb	Base	14	14,75 mg/kg	13,90 mg/kg	100%
		Crue	13	13,54 mg/kg	14,14 mg/kg	100%
	Zn	Base	14	76,94 mg/kg	69,17 mg/kg	100%
		Crue	13	58,99 mg/kg	60,50 mg/kg	100%
¹³⁷ Cs	Base	4	1,91 Bq/kg	1,98 Bq/kg	100%	
	Crue	0	/	/	/	

Site	Analyse	Débit	Effectif	Moyenne	Mediane	Fréquence de quantification
Rhône à Arles	Mercure	Base	155	0,111 mg/kg	0,109 mg/kg	100%
		Crue	47	0,091 mg/kg	0,079 mg/kg	100%
		Chasse	4	0,088 mg/kg	0,088 mg/kg	100%
	PCB28	Base	77	0,53 µg/kg	0,25 µg/kg	29%
		Crue	29	0,54 µg/kg	0,38 µg/kg	38%
		Chasse	3	0,59 µg/kg	0,75 µg/kg	67%
	PCB52	Base	77	0,80 µg/kg	0,50 µg/kg	34%
		Crue	29	0,82 µg/kg	0,50 µg/kg	34%
		Chasse	3	0,93 µg/kg	1,21 µg/kg	67%
	PCB101	Base	77	2,45 µg/kg	2,28 µg/kg	96%
		Crue	29	2,13 µg/kg	1,89 µg/kg	93%
		Chasse	3	2,15 µg/kg	2,24 µg/kg	100%
	PCB118	Base	77	1,39 µg/kg	1,05 µg/kg	79%
		Crue	29	0,95 µg/kg	0,86 µg/kg	62%
		Chasse	3	0,55 µg/kg	0,25 µg/kg	33%
	PCB138	Base	77	4,24 µg/kg	3,52 µg/kg	96%
		Crue	29	3,59 µg/kg	3,17 µg/kg	100%
		Chasse	3	2,69 µg/kg	2,96 µg/kg	100%
	PCB153	Base	77	4,84 µg/kg	3,84 µg/kg	92%
		Crue	29	3,69 µg/kg	3,16 µg/kg	97%
		Chasse	3	3,51 µg/kg	3,67 µg/kg	100%
	PCB180	Base	77	2,64 µg/kg	2,39 µg/kg	99%
		Crue	29	2,87 µg/kg	2,35 µg/kg	90%
		Chasse	3	2,50 µg/kg	2,39 µg/kg	100%
	As	Base	142	17,43 mg/kg	17,89 mg/kg	100%
		Crue	46	16,76 mg/kg	13,54 mg/kg	100%
		Chasse	10	21,95 mg/kg	19,90 mg/kg	100%
	Cd	Base	139	0,39 mg/kg	0,36 mg/kg	100%
		Crue	48	0,36 mg/kg	0,31 mg/kg	100%
		Chasse	10	0,39 mg/kg	0,38 mg/kg	100%
	Co	Base	143	14,06 mg/kg	13,55 mg/kg	100%
		Crue	48	12,27 mg/kg	12,15 mg/kg	100%
		Chasse	10	15,79 mg/kg	14,66 mg/kg	100%
	Cr	Base	143	88,31 mg/kg	86,14 mg/kg	100%
		Crue	48	79,33 mg/kg	78,24 mg/kg	100%
		Chasse	10	91,75 mg/kg	88,71 mg/kg	100%
	Cu	Base	143	36,90 mg/kg	33,70 mg/kg	100%
		Crue	48	29,28 mg/kg	27,30 mg/kg	100%
		Chasse	10	60,92 mg/kg	54,12 mg/kg	100%
	Ni	Base	143	43,58 mg/kg	43,86 mg/kg	100%
		Crue	48	39,71 mg/kg	38,17 mg/kg	100%
		Chasse	10	45,13 mg/kg	43,88 mg/kg	100%
Pb	Base	143	40,41 mg/kg	38,66 mg/kg	100%	
	Crue	48	38,87 mg/kg	32,71 mg/kg	100%	
	Chasse	10	38,85 mg/kg	37,02 mg/kg	100%	
Zn	Base	143	143,65 mg/kg	137,23 mg/kg	100%	
	Crue	48	118,11 mg/kg	107,99 mg/kg	100%	
	Chasse	10	219,43 mg/kg	210,94 mg/kg	100%	
¹³⁷ Cs	Base	181	15,50 Bq/kg	13,30 Bq/kg	100%	
	Crue	200	7,55 Bq/kg	6,50 Bq/kg	100%	
	Chasse	0	/	/	/	
⁴⁰ K	Base	181	524,16 Bq/kg	522,52 Bq/kg	100%	
	Crue	200	460,96 Bq/kg	441,79 Bq/kg	100%	
	Chasse	0	/	/	/	
²³⁴ Th	Base	181	27,21 Bq/kg	31,87 Bq/kg	77%	
	Crue	200	27,85 Bq/kg	28,30 Bq/kg	90%	
	Chasse	0	/	/	/	

Annexe 6. Résultats bruts des 12 contaminants, du COP et de la granulométrie mesurés dans les échantillons de MES du Rhône à Jons prélevés simultanément avec les centrifugeuses fixe CEPA et mobile Westfalia.

Analyses réalisées sur les MES prélevées avec la centrifugeuse fixe CEPA Z61											
Paramètre	Unite	LQ	09/07/2013		16/07/2013		30/07/2013		27/08/2013		
			10:15 - 14:30 (TU+01)	09:15 - 12:45 (TU+01)	09:15 - 12:45 (TU+01)	11:30 - 14:40 (TU+01)	09:55 - 14:15 (TU+01)				
Mercure	Hg	mg/kg	0,01	0,048	± 0,007	0,045	± 0,006	0,043	± 0,006	0,043	± 0,006
PCB indicateurs	PCB 28	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
	PCB 52	µg/kg	1,00	<1,00		<1,00		<1,00		<1,00	
	PCB 101	µg/kg	0,50	1,23	± 0,74	0,81	± 0,49	1,57	± 0,47	0,89	± 0,53
	PCB 118	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
	PCB 138	µg/kg	0,50	2,64	± 0,79	1,98	± 0,59	2,16	± 0,65	1,92	± 0,58
	PCB 153	µg/kg	0,50	2,12	± 2,12	1,61	± 1,61	1,73	± 1,73	1,53	± 0,46
	PCB 180	µg/kg	0,50	1,23	± 0,74	1,24	± 0,74	0,95	± 0,95	0,92	± 0,55
PCB Dioxin Like	PCB 105	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
	PCB 156	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
PBDE	BDE 47	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
	BDE 99	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
Carbone organique	COP	g/kg	0,05	16,2	± 0,7	19,4	± 0,8	15,7	± 0,7	18,3	± 0,8
Granulométrie	<20 µm	%	/	100	± 12	82	± 10	33	± 4	98	± 12
	20 - 63 µm	%	/	0		0		7	± 1	2	± 0,2
	< 63 µm	%	/	100	± 12	82	± 10	40	± 5	100	± 12
	63 - 150 µm	%	/	0		0		0		0	
	150 - 200 µm	%	/	0		0		0		0	
	> 200 µm	%	/	0		18	± 2	60	± 7	0	

Analyses réalisées sur les MES prélevées avec la centrifugeuse mobile Westfalia KA-2											
Paramètre	Unite	LQ	09/07/2013		16/07/2013		30/07/2013		27/08/2013		
			10:15 - 14:30 (TU+01)	09:15 - 12:45 (TU+01)	09:15 - 12:45 (TU+01)	11:30 - 14:40 (TU+01)	09:55 - 14:15 (TU+01)				
Mercure	Hg	mg/kg	0,01	0,039	± 0,005	0,048	± 0,007	0,039	± 0,005	0,045	± 0,006
PCB indicateurs	PCB 28	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
	PCB 52	µg/kg	1,00	<1,00		<1,00		<1,00		<1,00	
	PCB 101	µg/kg	0,50	1,13	± 0,68	1,12	± 0,67	1,31	± 0,79	3,71	± 1,11
	PCB 118	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		1,05	± 0,63
	PCB 138	µg/kg	0,50	1,7	± 0,51	1,52	± 0,46	1,88	± 0,56	3,12	± 0,94
	PCB 153	µg/kg	0,50	1,58	± 0,47	1,66	± 0,50	1,73	± 0,52	2,88	± 0,86
	PCB 180	µg/kg	0,50	0,92	± 0,55	1,08	± 0,65	1,77	± 0,53	2,08	± 0,62
PCB Dioxin Like	PCB 105	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
	PCB 156	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
PBDE	BDE 47	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
	BDE 99	µg/kg	0,50	<0,50		<0,50		<0,50		<0,50	
Carbone organique	COP	g/kg	0,05	16,7	± 0,7	22,8	± 0,9	17,7	± 0,7	25	± 1,0
Granulométrie	<20 µm	%	/	80	± 10	84	± 10	31	± 4	97,5	± 12
	20 - 63 µm	%	/	20	± 2	16	± 2	13	± 2	2,5	± 0,3
	< 63 µm	%	/	100	± 12	100	± 12	44	± 5	100	± 12
	63 - 150 µm	%	/	0		0		0		0	
	150 - 200 µm	%	/	0		0		0		0	
	> 200 µm	%	/	0		0		56	± 7	0	

Annexe 7. Différences relatives des 12 contaminants, du COP et de la granulométrie mesurés dans les échantillons de MES du Rhône à Jons prélevés simultanément avec les centrifugeuses fixe CEPA et mobile Westfalia.

Les différences relatives δ des mesures réalisées sur les échantillons de MES prélevés simultanément avec les centrifugeuses fixe CEPA et mobile Westfalia ont été calculées d'après l'équation :

$$\delta = \frac{CMO - CFI}{\left(\frac{CMO + CFI}{2}\right)}$$

avec *CMO* la mesure réalisée dans les MES prélevées avec la centrifugeuse mobile Westfalia et *CFI* la mesure appariée réalisée dans les MES prélevées avec la centrifugeuse fixe CEPA le même jour.

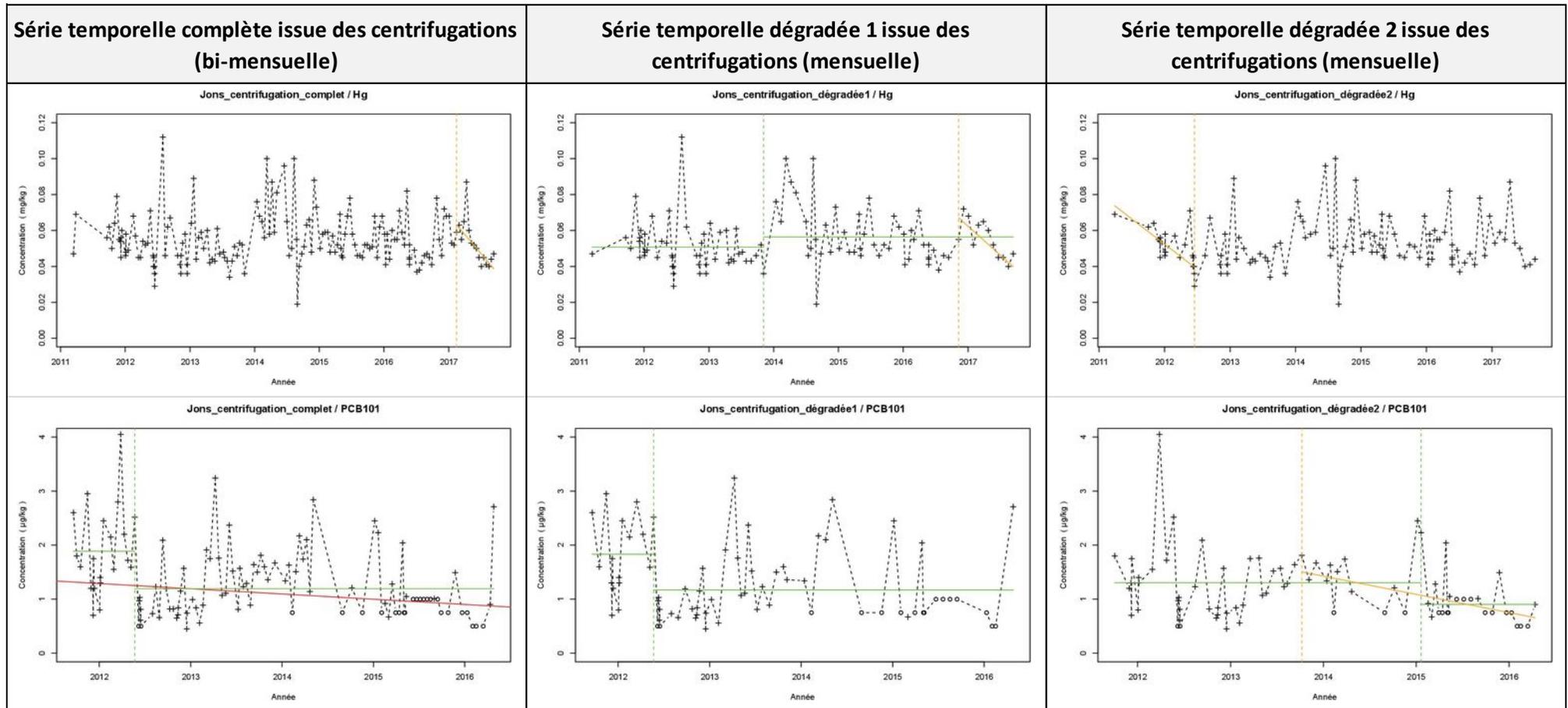
Une différence relative négative signifie que la concentration mesurée dans le prélèvement de MES réalisé avec la centrifugeuse fixe CEPA est plus élevée que celle mesurée dans le prélèvement de MES réalisé avec la centrifugeuse mobile Westfalia.

Les différences relatives (en %) entre les mesures réalisées avec les centrifugeuses fixe et mobile pour chaque paramètre et chaque jour de prélèvement sont les suivantes :

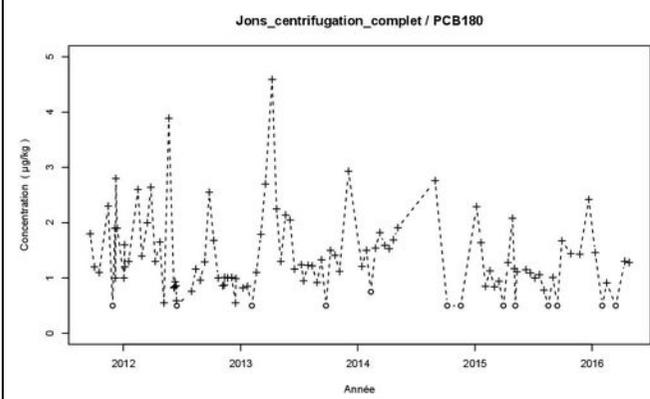
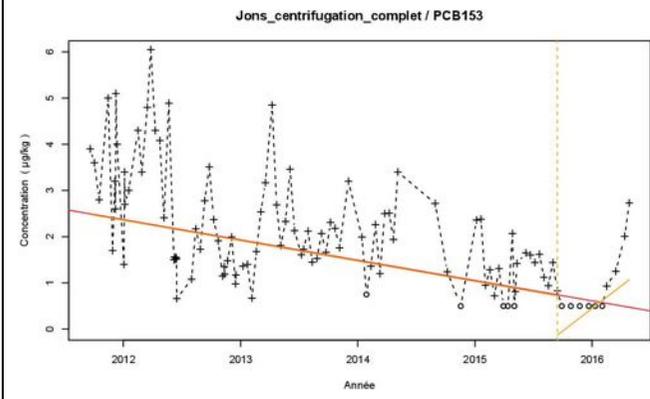
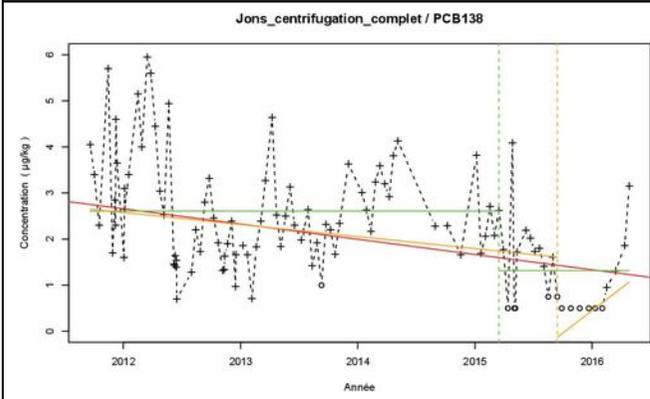
Différence relative (%) entre les mesures réalisées avec les centrifugeuses fixe et mobile					
Paramètre		09/07/2013	16/07/2013	30/07/2013	27/08/2013
		09:45 - 14:00 (TU+01)	08:45 - 12:15 (TU+01)	11:00 - 14:10 (TU+01)	9:25 - 13:45 (TU+01)
Mercure	Hg	-21	6	-10	5
PCB indicateurs	PCB 28	Non calculée	Non calculée	Non calculée	Non calculée
	PCB 52	Non calculée	Non calculée	Non calculée	Non calculée
	PCB 101	-8	32	-18	123
	PCB 118	Non calculée	Non calculée	Non calculée	Non calculée
	PCB 138	-43	-26	-14	48
	PCB 153	-29	3	0	61
	PCB 180	-29	-14	60	77
PCB Dioxin Like	PCB 105	Non calculée	Non calculée	Non calculée	Non calculée
	PCB 156	Non calculée	Non calculée	Non calculée	Non calculée
PBDE	BDE 47	Non calculée	Non calculée	Non calculée	Non calculée
	BDE 99	Non calculée	Non calculée	Non calculée	Non calculée
Carbone organique	COP	3	16	12	31
Granulométrie	< 20 μm	-22	3	-6	-1
	20 - 63 μm	200	200	52	30
	< 63 μm	0	20	8	0
	63 - 150 μm	0	0	0	0
	150 - 200 μm	0	0	0	0
	> 200 μm	0	-200	-6	0

La différence relative ne peut pas être calculée lorsqu'au moins un des deux résultats de mesure n'est pas quantifié.

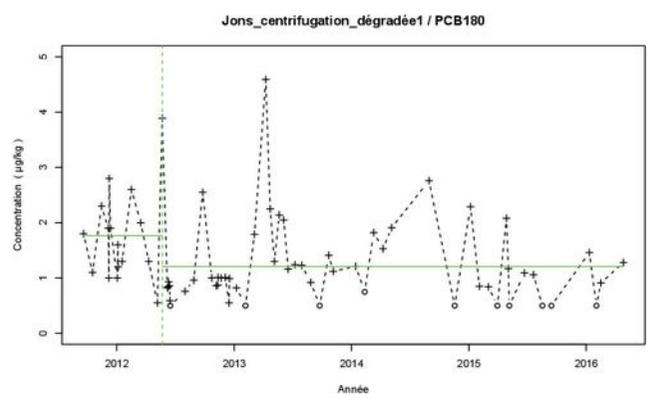
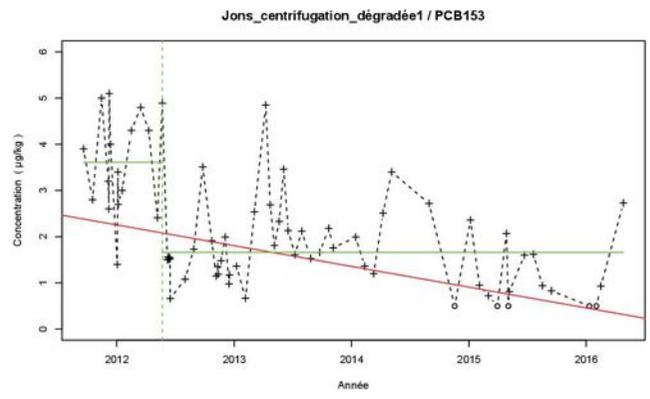
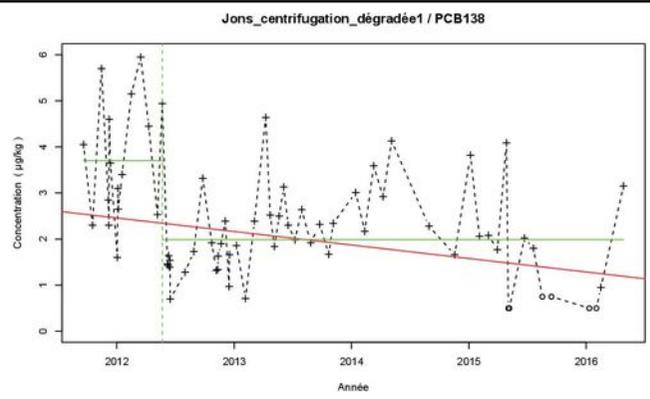
Annexe 8. Tendances des concentrations en Hg, PCB et ETM dans les MES prélevées sur le Rhône à Jons par centrifugation et par piège à particules entre mars 2011 et septembre 2017 dans les séries temporelles complètes (bimensuelles) et dégradées (mensuelles) issues de l'outil HYPE



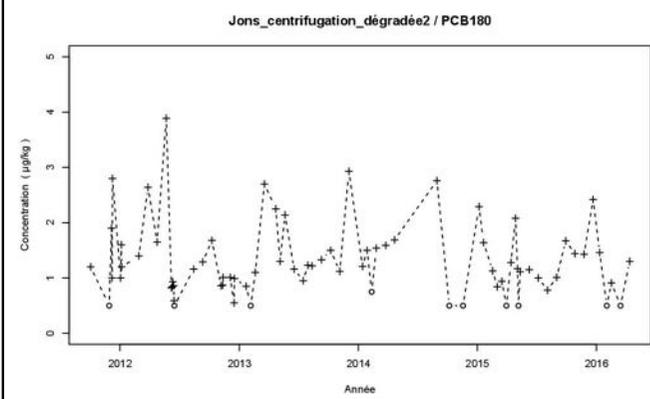
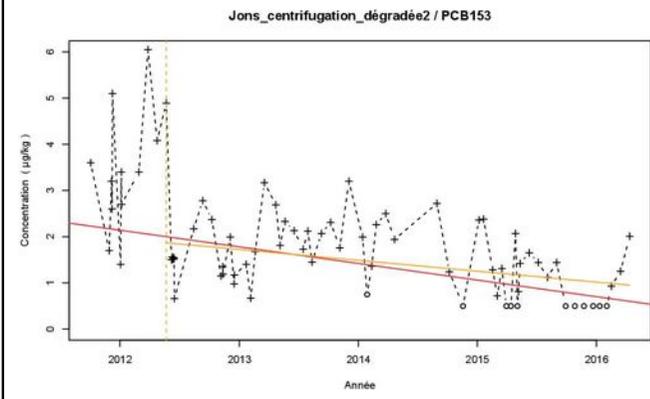
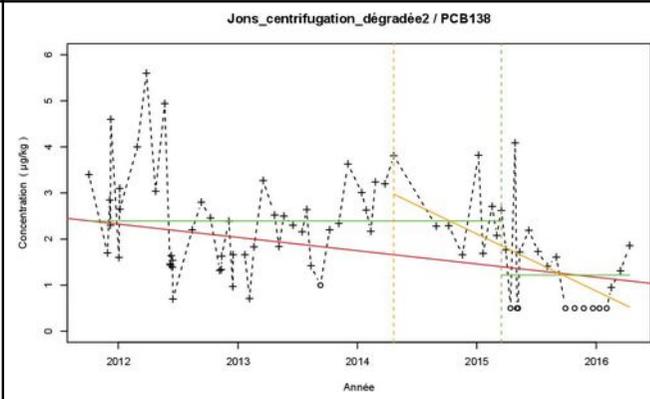
Série temporelle complète issue des centrifugations (bi-mensuelle)



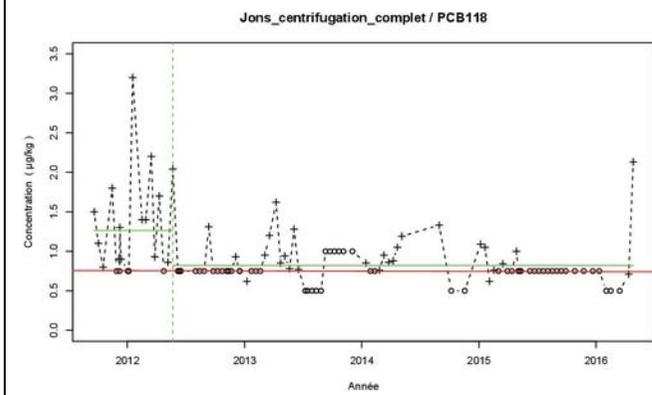
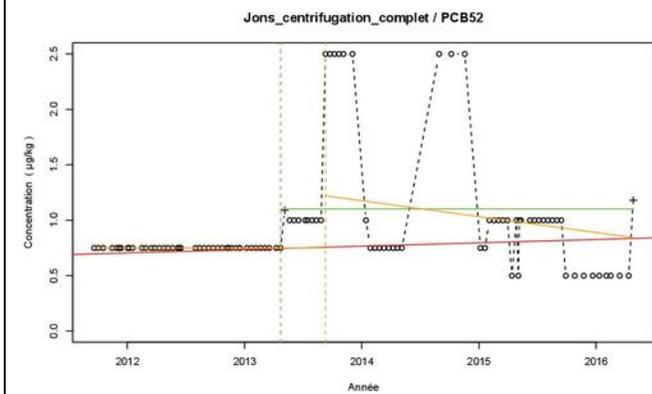
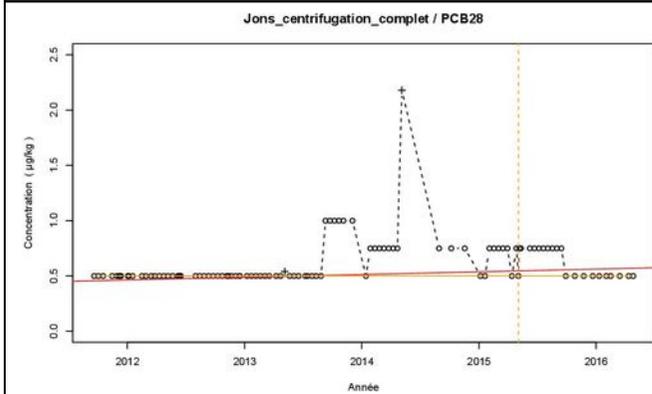
Série temporelle dégradée 1 issue des centrifugations (mensuelle)



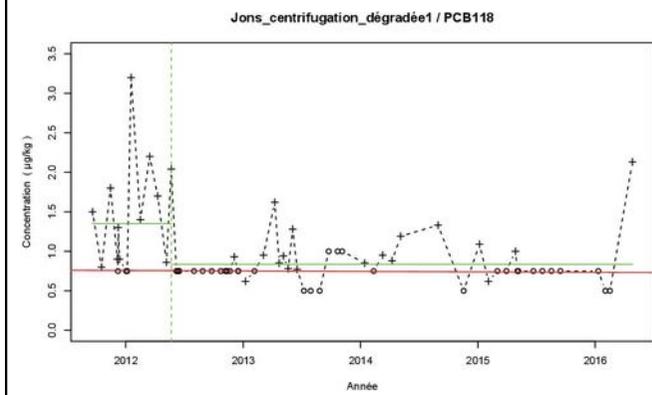
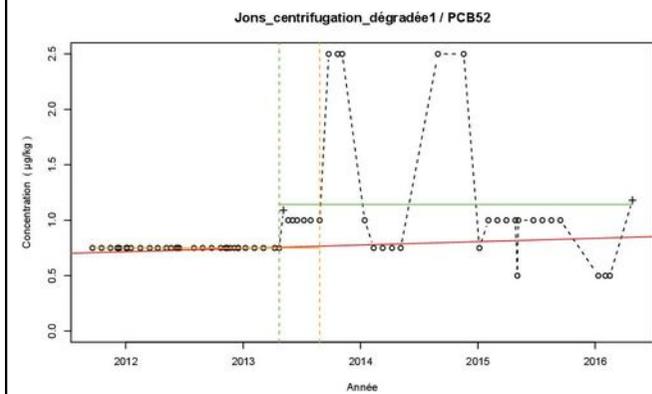
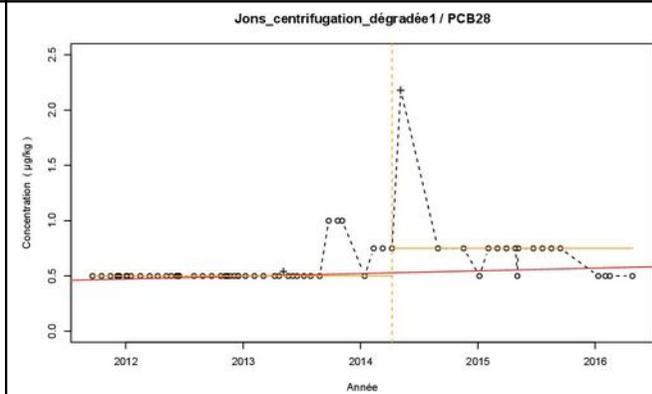
Série temporelle dégradée 2 issue des centrifugations (mensuelle)



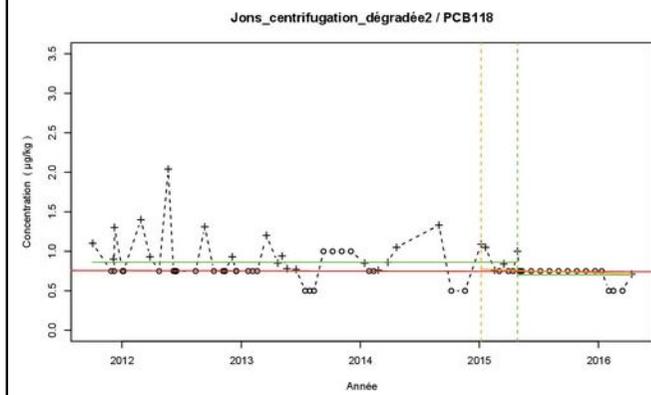
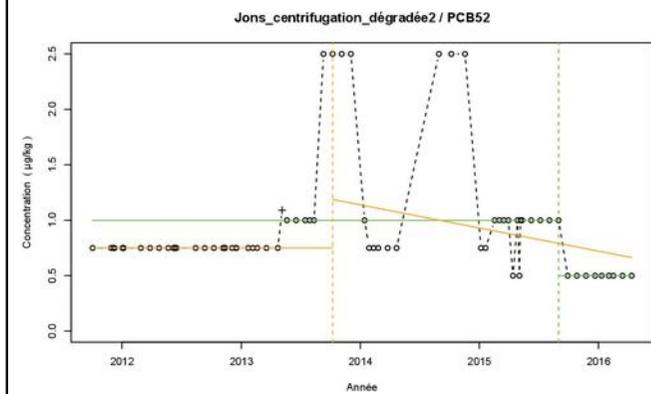
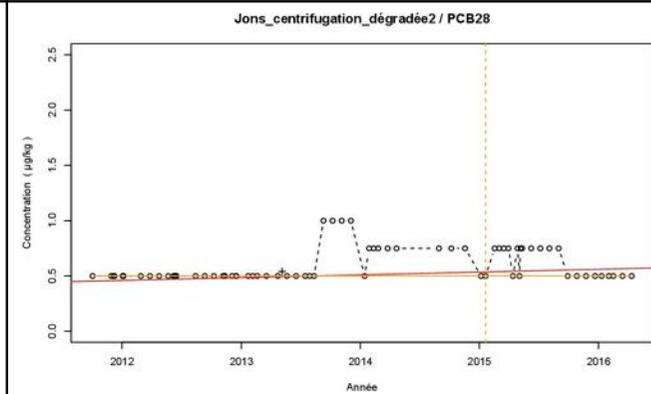
Série temporelle complète issue des centrifugations (bi-mensuelle)



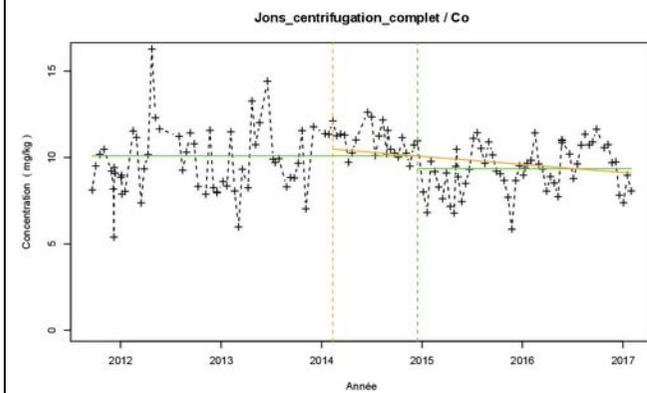
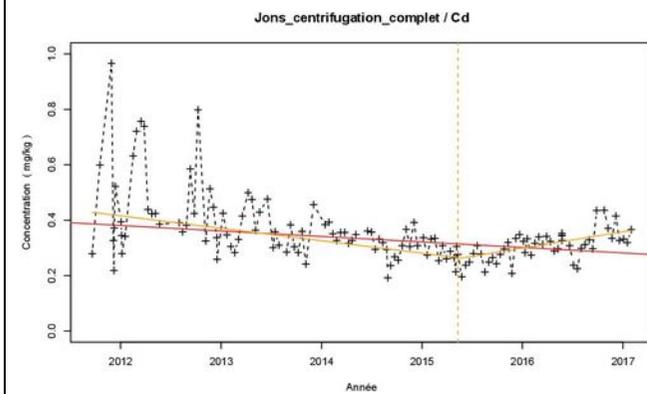
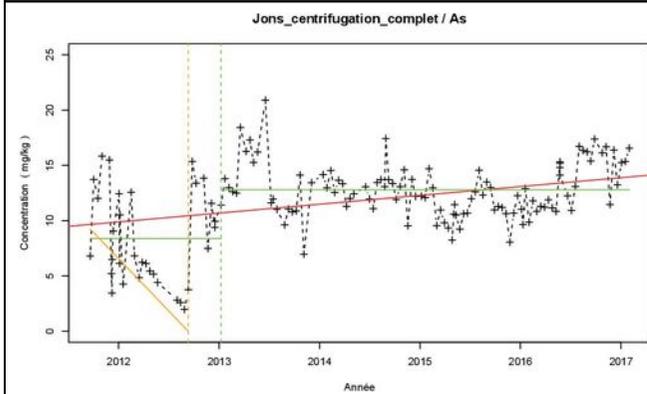
Série temporelle dégradée 1 issue des centrifugations (mensuelle)



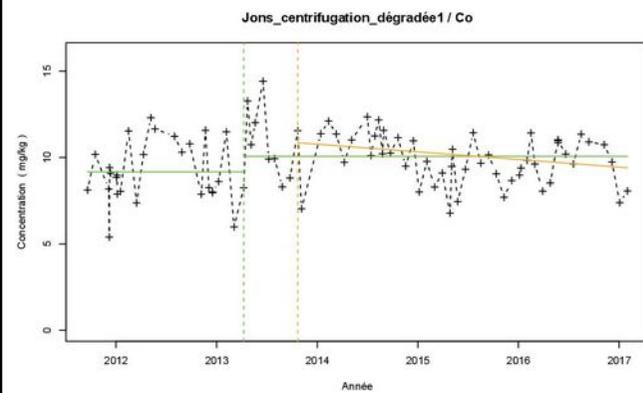
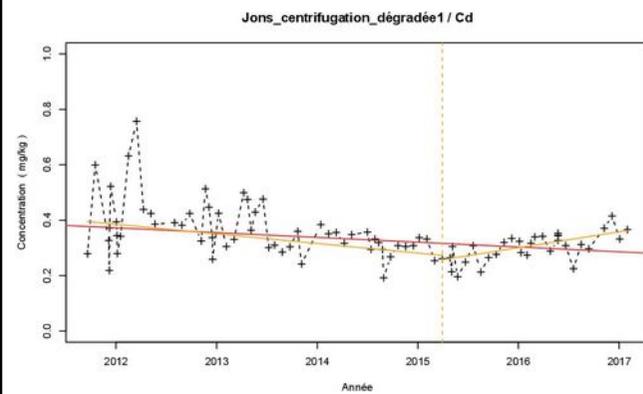
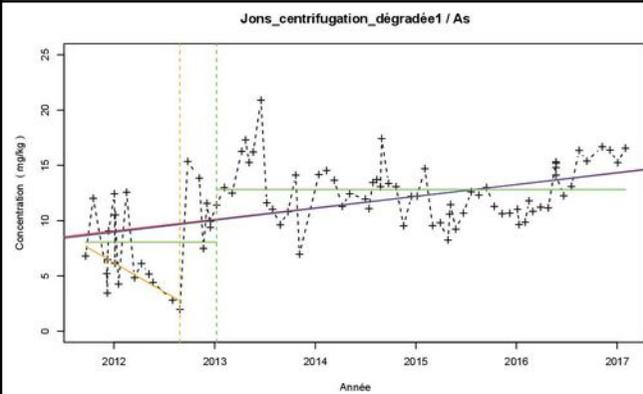
Série temporelle dégradée 2 issue des centrifugations (mensuelle)



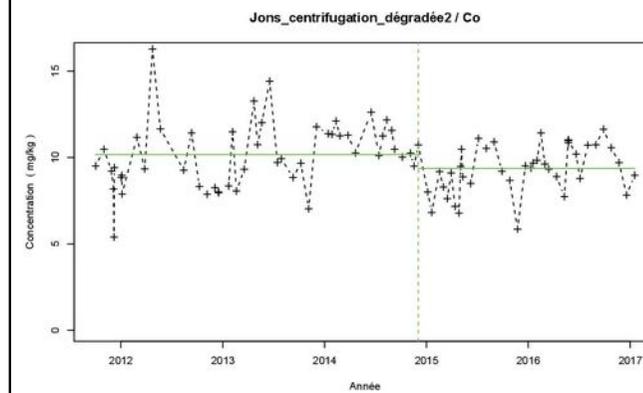
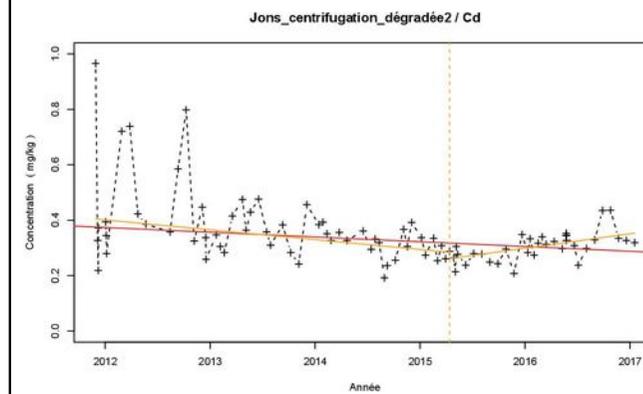
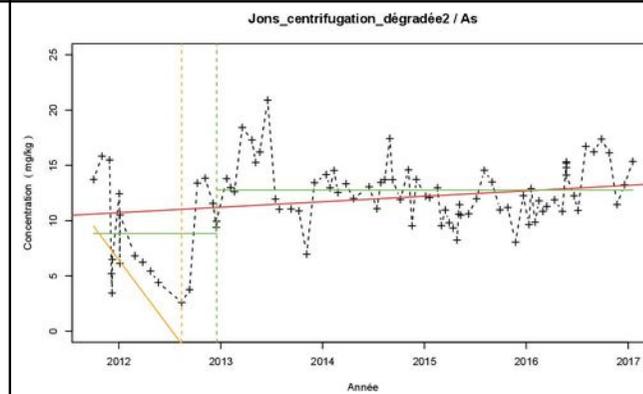
Série temporelle complète issue des centrifugations (bi-mensuelle)



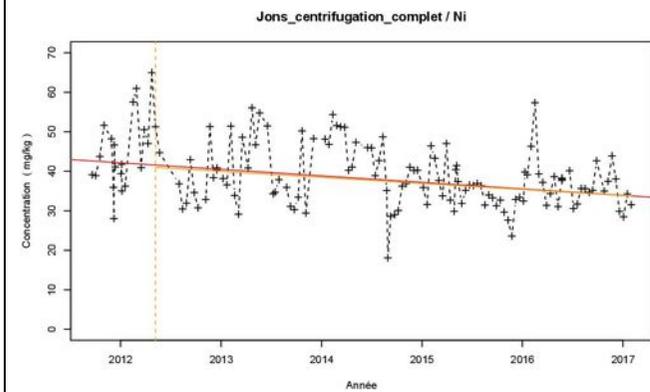
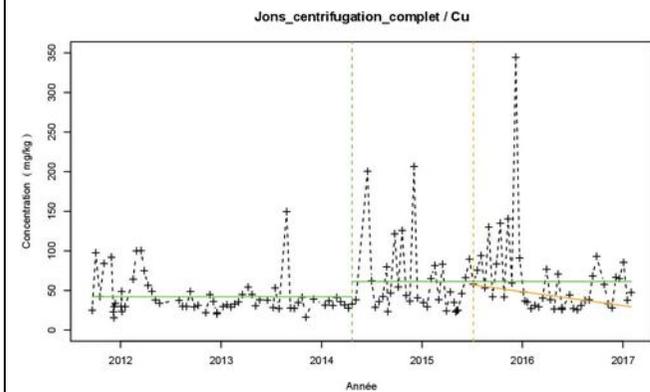
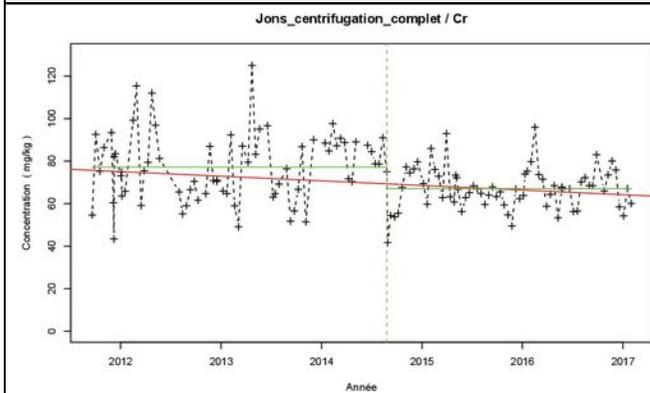
Série temporelle dégradée 1 issue des centrifugations (mensuelle)



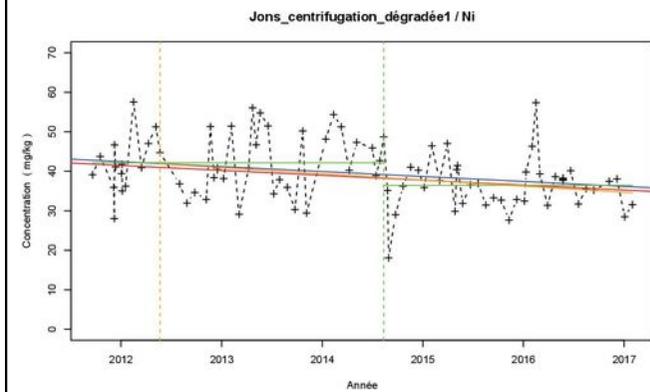
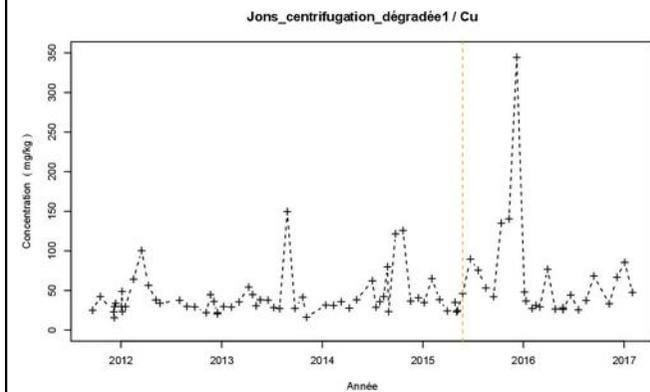
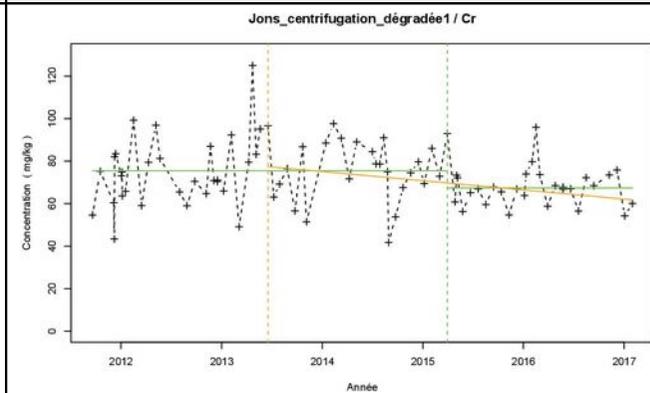
Série temporelle dégradée 2 issue des centrifugations (mensuelle)



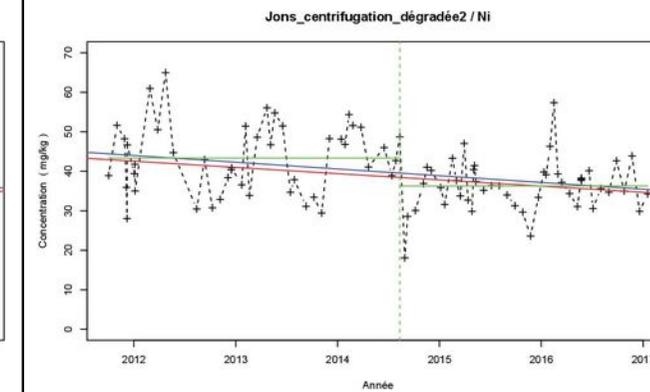
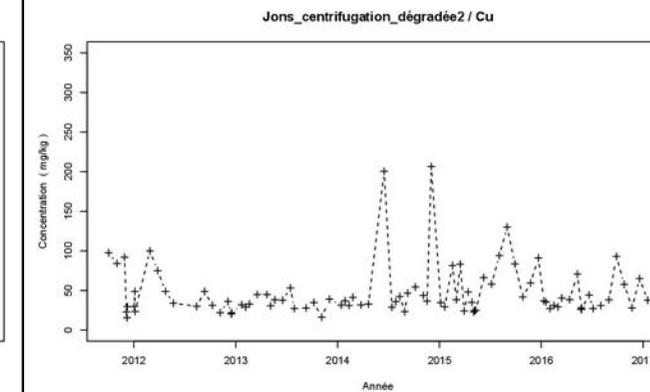
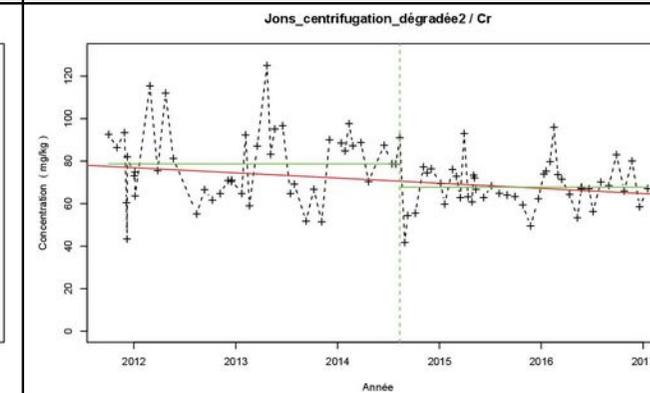
Série temporelle complète issue des centrifugations (bi-mensuelle)

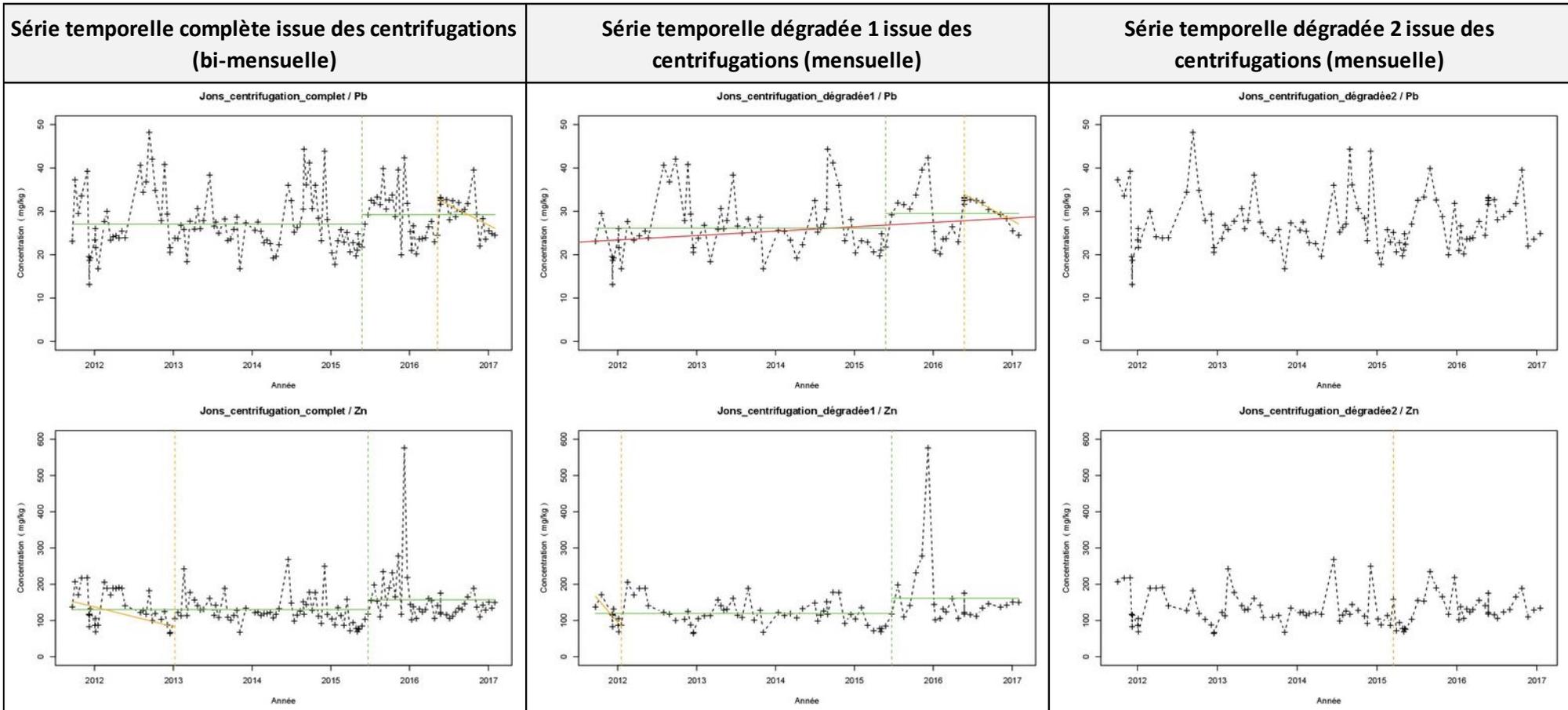


Série temporelle dégradée 1 issue des centrifugations (mensuelle)



Série temporelle dégradée 2 issue des centrifugations (mensuelle)



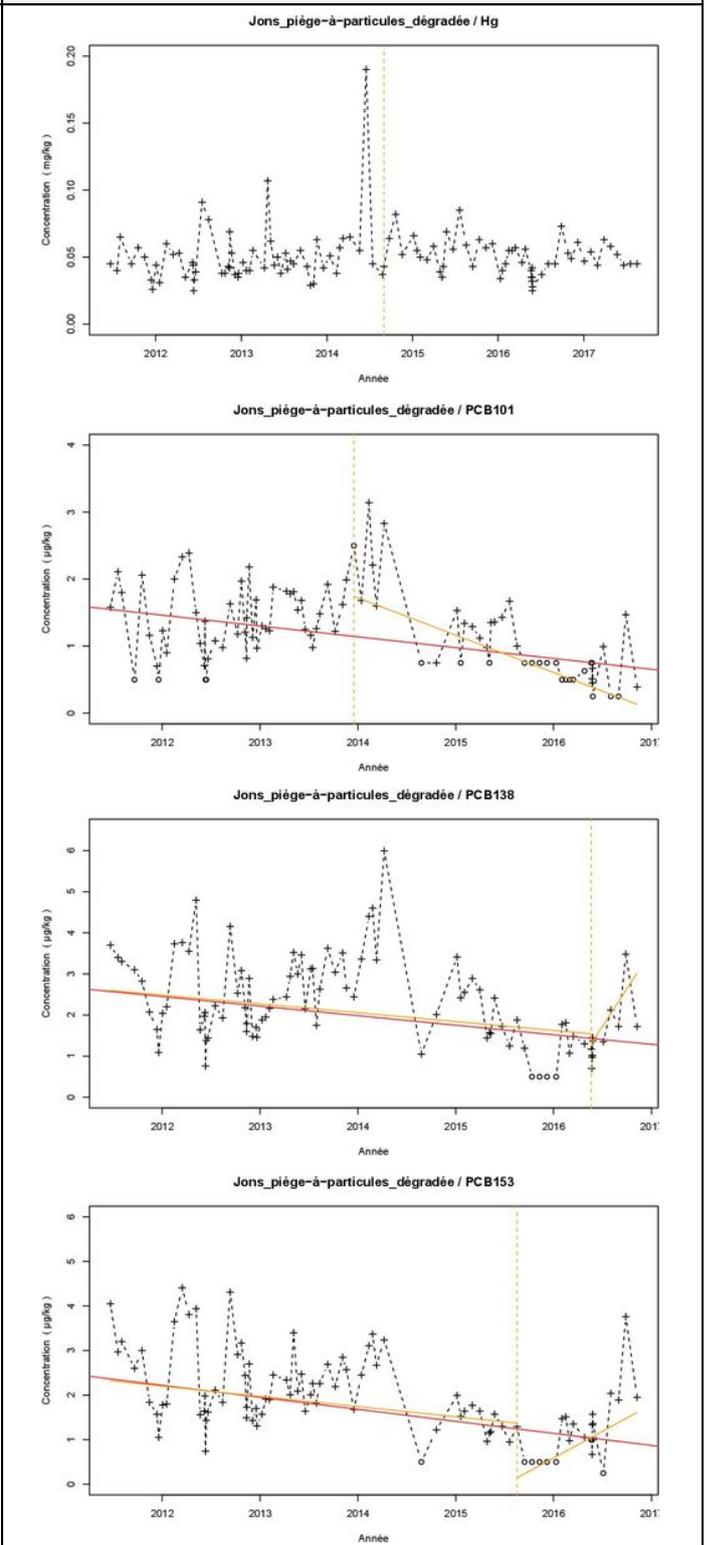
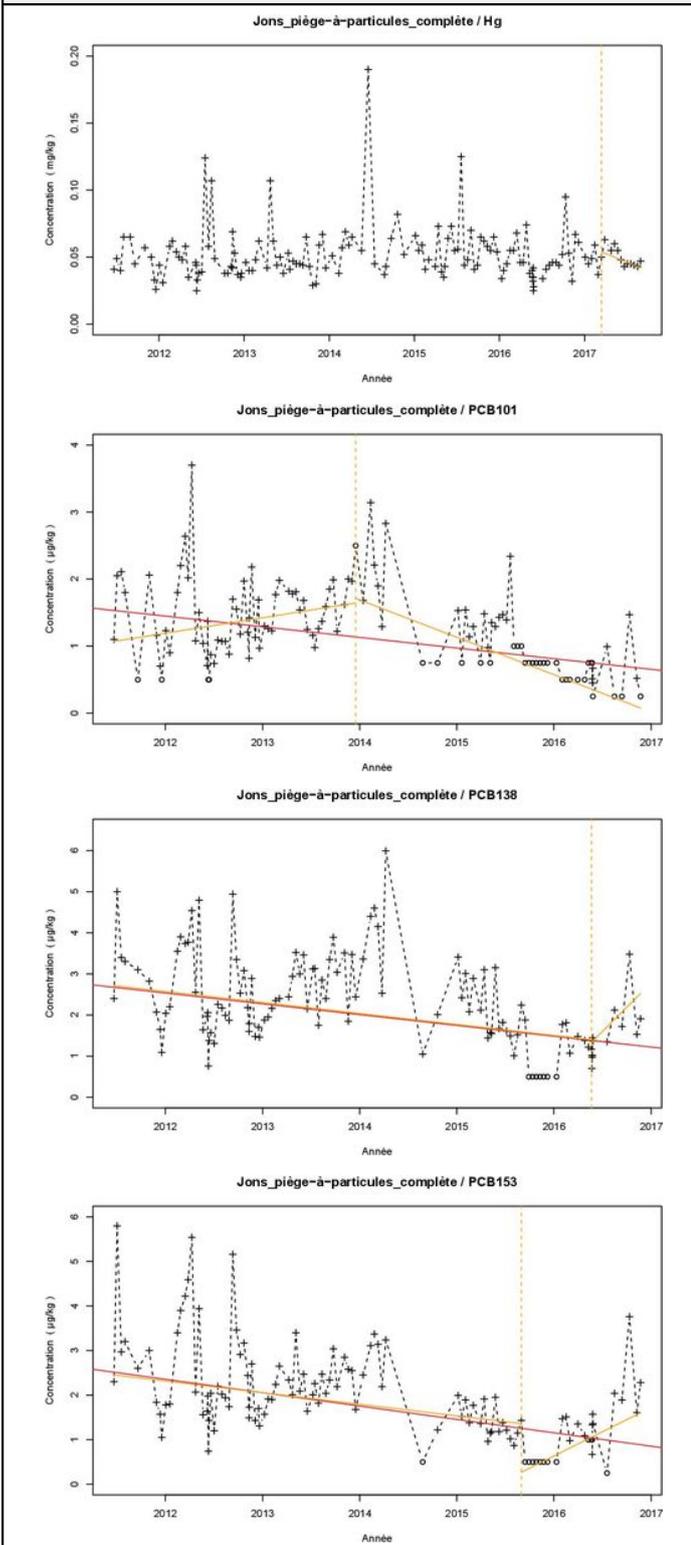


Légende

- | | | | | | |
|-----|-----------------------|---|------------------------------|---|--------------------------------|
| —+— | Série temporelle | — | Tendance (Mann-Kendall) | — | Tendance (régression linéaire) |
| + | Valeur quantifiée | — | Tendance avant/après rupture | — | Moyenne avant/après rupture |
| 0 | Valeur non quantifiée | — | Date d'inversion de tendance | — | Date de changement de moyenne |

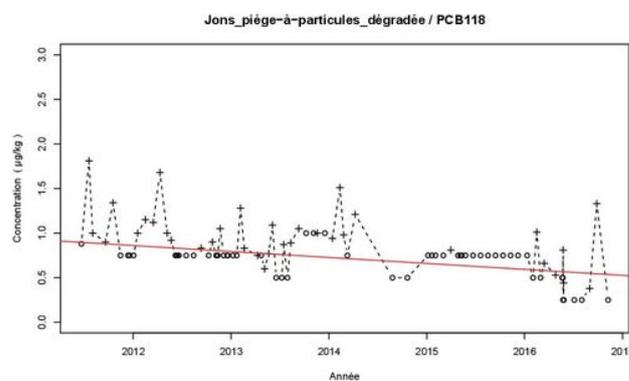
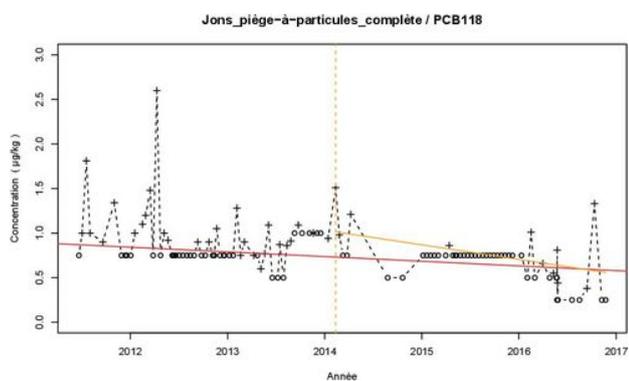
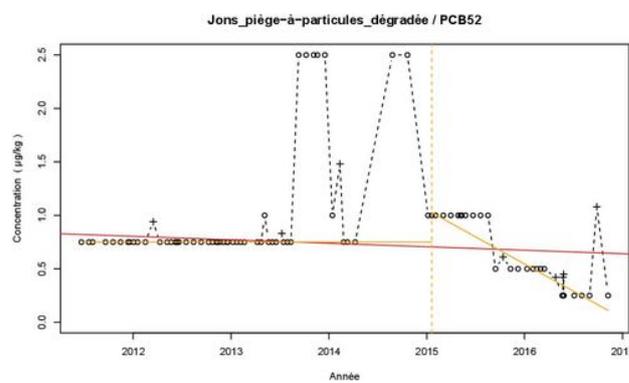
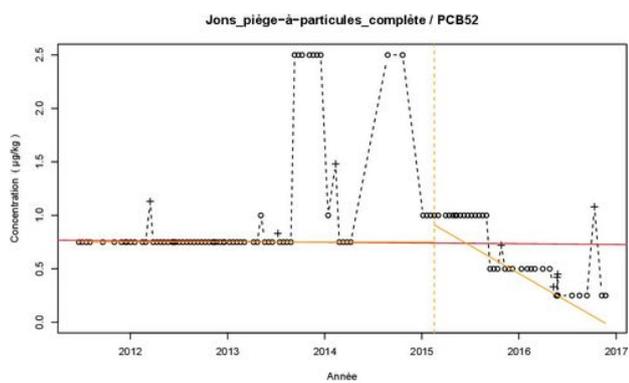
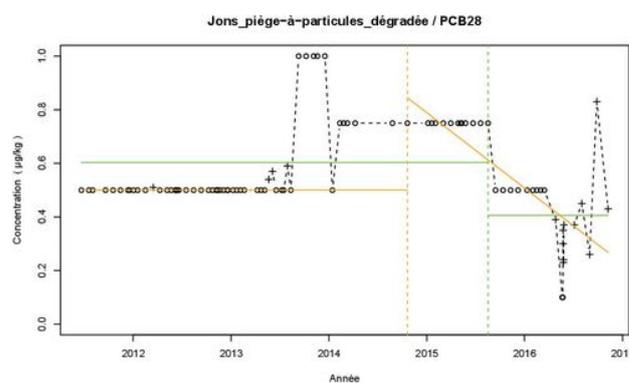
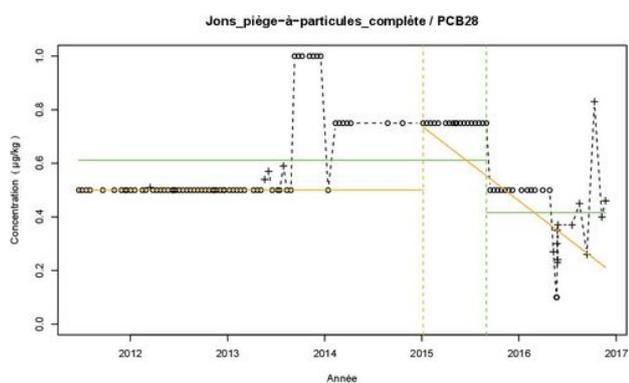
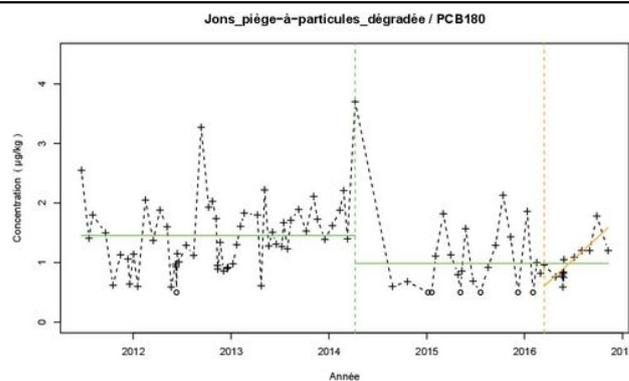
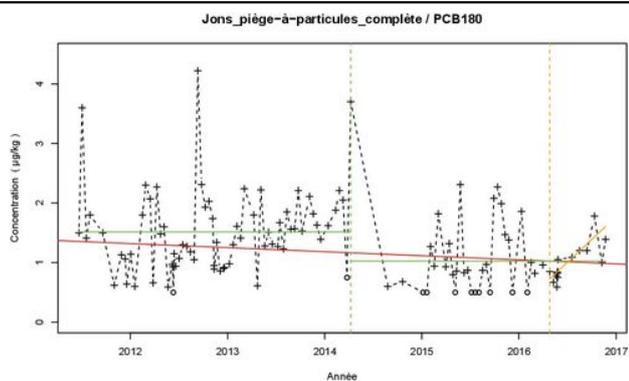
**Série temporelle complète issue des pièges à particules
(bi-mensuelle)**

**Série temporelle dégradée issue des pièges à particules
(mensuelle)**



Série temporelle complète issue des centrifugations (bi-mensuelle)

Série temporelle dégradée issue des centrifugations (mensuelle)

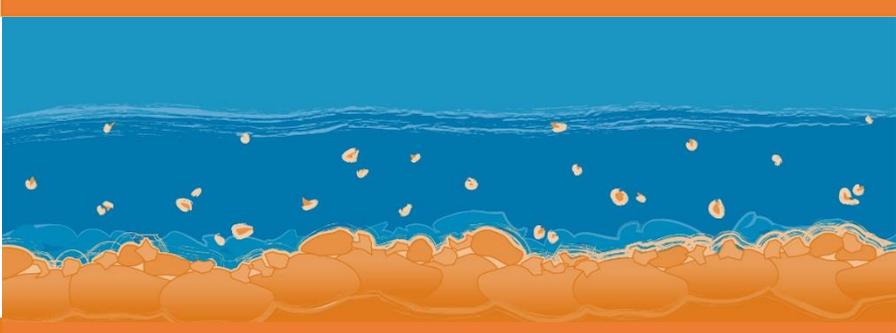


Annexe 9. Résultats bruts des 18 paramètres analysés dans les échantillons de MES prélevés en amont et en aval de la Métropole de Lyon, ainsi que les débits et les concentrations en MES moyens sur chaque période d'échantillonnage.

Station	Campagne	Débit moyen (m3/s)	MES moyenne (mg/L)	PCB 28 (µg/kg)	PCB 52 (µg/kg)	PCB 101 (µg/kg)	PCB 118 (µg/kg)	PCB 153 (µg/kg)	PCB 138 (µg/kg)	PCB 180 (µg/kg)	PCB 105 (µg/kg)	PCB 156 (µg/kg)	BDE 47 (µg/kg)	BDE 99 (µg/kg)	Hg (mg/kg)	Cr total (mg/kg)	Cu total (mg/kg)	Ni total (mg/kg)	Zn total (mg/kg)	COP (g/kg)	D50 (µm)
Le Rhône à Jons	1	615	12	<0.75	<1.00	1.54	<0.75	1.89	3.01	1.27	<0.50	<0.50	<0.75	<0.75	0.059	NA	NA	NA	NA	36	15.21
	2	736	16	<0.75	<1.00	1.14	<0.75	1.38	2.08	0.94	<0.50	<0.50	<0.75	<0.75	0.041	NA	NA	NA	NA	22.9	18.3
	3	704	11	<0.75	<1.00	1.29	<0.75	1.77	2.89	1.82	<0.50	<0.50	<0.75	<0.75	0.048	NA	NA	NA	NA	32.5	16.9
	4	520	5	<0.75	<1.00	1.48	0.86	1.91	3.1	1.32	<0.50	<0.50	<0.75	<0.75	0.073	NA	NA	NA	NA	44.5	15.78
Le Rhône à Lyon	1	605	12	<0.75	<1.00	2.41	1.07	2.67	4.12	1.68	<0.50	0.61	<0.75	<0.75	0.065	56.65	31.59	32.74	127.52	35.7	35.7
	2	771	23	<0.75	<1.00	2.61	0.89	2.45	3.7	1.78	<0.50	<0.50	<0.75	<0.75	0.065	56.95	25.6	31.77	99.92	32.9	32.9
	3	667	11	<0.75	<1.00	1.61	<0.75	2.18	3.16	1.6	<0.50	<0.50	<0.75	<0.75	0.058	67.01	26.58	Invalidé	104.76	31.4	31.4
	4	556	7	1.02	<1.00	1.01	0.84	2.14	3.47	1.73	0.79	<0.50	<0.75	<0.75	0.064	64.22	23.31	32.85	129.5	36.6	36.6
La Saône à Lyon	1	521	18	1.55	<0.75	2.8	1.61	3.59	4.79	2.92	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.162	81.22	37.65	42.12	189.19	50.3	13.3
	2	652	20	1.88	1.31	3.68	1.55	3.94	4.76	2.73	0.61	0.62	<0.50	<0.50	0.141	79.95	36.25	39.34	176.97	44.1	12.44
	3	591	16	1.03	2.72	3.54	1.5	4.17	5.29	2.14	0.92	<0.50	<0.50	<0.50	0.141	83.97	33.46	41.27	183.16	39.6	12.44
	4	194	4	0.78	1.54	1.94	1.44	3.14	4.22	1.87	1.39	<0.50	<0.75	<0.50	0.197	78.14	50.36	38.92	218.67	43.6	12.58
Le Rhône à Givors (rive droite)	1	1126	Non mesurée	1.07	3.78	<0.50	1.38	3.32	4.02	4.85	<0.50	<0.50	0.76	<0.50	0.119	68.39	42.91	36.25	164.68	39.4	15.16
	2	1423	Non mesurée	1.45	<0.75	3.25	1.9	4.48	5.21	4.05	0.96	<0.50	1.54	<0.50	0.099	55.26	30.75	27.3	117.78	30.7	18.22
	3	1259	Non mesurée	1.33	<0.75	3.2	1.38	3.16	3.61	2.54	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.102	61.67	27.08	31.75	127.38	26.4	14.48
	4	750	Non mesurée	2.4	0.72	4.3	3.12	7.59	7.99	5.07	0.83	<0.50	0.92	1.17	0.217	61.79	45.21	33.83	164.38	49	18.01
Le Rhône à Chasse-sur-Rhône (rive gauche)	1	1126	Non mesurée	0.97	<0.75	3.17	2.02	4.44	4.88	4.38	0.73	<0.50	Invalidé	<0.50	0.118	70.27	31.29	37.89	144.17	40.6	14.45
	2	1423	Non mesurée	0.99	<0.75	2.43	1.51	3.35	3.8	3.03	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.094	64.76	27.42	32.92	118.02	34.2	14.97
	3	1259	Non mesurée	<0.50	<0.75	2.36	1.1	3	3.61	2.13	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.08	59.31	26.23	33.02	110.69	29.4	16.24
	4	750	Non mesurée	1.04	<0.75	3.1	1.38	6.74	5.95	5.23	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.077	38.01	15.44	14.36	52.84	16.3	28.26

NA désigne les échantillons non analysés.

N° de campagne	Période de prélèvements
1	du 03/02/15 au 17/02/15
2	du 17/02/15 au 03/03/15
3	du 04/03/15 au 17/03/15
4	du 14/04/15 au 28/04/15



Observatoire des Sédiments du Rhône



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes



Observatoire des Sédiments du Rhône

GRAIE – OHM Vallée du Rhône

66 bd Niels Bohr – CS 52132

69603 Villeurbanne Cedex

www.graie.org/osr/

Contact : dad.roux@graie.org