HAL
archives-ouvertes.fr

Estimation des flux de contaminants particulaires à Arles et Jons (2013)

O. Radakovitch, S. Gairoard, P. Raimbault, C. Le Bescond, Jérôme Le Coz, Marina Coquery, Cecile Antonelli, F. Eyrolle Boyer

▶ **To cite this version:**

O. Radakovitch, S. Gairoard, P. Raimbault, C. Le Bescond, Jérôme Le Coz, et al.. Estimation des flux de contaminants particulaires à Arles et Jons (2013). irstea. 2015, pp.21. hal-02606158

HAL Id: hal-02606158
https://hal.inrae.fr/hal-02606158

Submitted on 16 May 2020

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.

Estimation des flux de contaminants particulaires à Arles et Jons (2013)

Observatoire des Sédiments du Rhône

OSR 3

Version finale Mai 2015



Ce projet est financé dans le cadre du PLAN RHÔNE 2007-2013
2007-2013
RHÔNE
Donnons un avenir à notre fleuve

Personnes impliquées	Equipe de recherche
O. Radakovitch, S. Gairoard	CEREGE Aix
P. Raimbault	MIO Marseille
C. Le Bescond, J. Le Coz, M. Coquery	Irstea Lyon
C. Antonelli, F. Eyrolle-Boyer	IRSN Cadarache

Estimation des flux de contaminants particulaires à Arles et Jons (2013)

I - Introduction

Ce rapport présente et décrit les méthodologies de suivi et les résultats obtenus sur les flux de contaminants particulaires transitant dans le Rhône au niveau de la station SORA (Arles) et de Jons pour l'année 2013. La première partie décrit les données utilisées pour les calculs de flux particulaires et de contaminants associés. Les résultats obtenus sont présentés et discutés en deuxième partie.

A ce jour (Mai 2015), l'ensemble des données de concentrations en métaux est disponible pour l'année 2013 à Arles et sur 8 mois à Jons. La ∑PCBi est disponible pour la période de janvier à juillet 2013 à Arles et Jons.

De manière très générale, il faut rappeler que, sous hypothèse d'homogénéité de la phase porteuse au sein d'une section en travers de cours d'eau, le flux instantané (µg/s) d'un contaminant particulaire est défini mathématiquement comme la multiplication du débit du cours d'eau considéré (m^3/s), de la concentration en matières en suspension (kg/m^3) et de la teneur en contaminant de ces MES (µg/kg). L'équation ci-après est une somme continue temporelle et permet de calculer le flux massique cumulé en contaminant particulaire. Plus le pas de temps entre deux mesures est faible, plus l'incertitude liée au calcul de flux sera faible, étant donnée la forte variabilité temporelle d'au moins deux des trois paramètres (Q et C_{MES}). En pratique, on utilise des versions discrètes de cette équation, pour un pas de temps donné, différent pour chacun des trois paramètres.

$$\phi_i = \int_T \varphi_i \cdot dt = \int_T Q \cdot C_{MES} \cdot C_i \cdot dt$$

T : Période prise en compte pour le calcul du flux
ϕ_i : Flux massique en contaminant i cumulé sur une période T (μg)
φ_i : Flux instantané massique en contaminant i ($\mu g/s$)
Q : Débit (m^3/s)
C_{MES} : Concentration en MES (kg/m^3)
C_i : Concentration en contaminant i sur MES ($\mu g/kg$)

II - Estimation des flux de contaminants particulaires à Arles (station SORA)

I. Bilan des prélèvements et analyses réalisés à Arles

I.1 Technique et fréquence d'échantillonnage pour la détermination de C_{MES}

La concentration en MES (C_{MES}) au niveau de la station d'Arles est mesurée par le M.I.O. au pas de temps journalier. Le Rhône est échantillonné par un préleveur automatique qui intègre un échantillon d'eau tous les jours (composé d'un prélèvement de 20 mL toutes les heures) ou bien toutes les 4 heures en période de crue (débit > 3000 m^3/s à Arles). Les échantillons sont ensuite filtrés au laboratoire pour déterminer la C_{MES}.

Le préleveur automatique est branché sur le circuit d'eau de la station qui est alimenté par une pompe. Le point de pompage se fait en rive droite du Rhône à une profondeur de 50 cm sous la surface.

I.2 Technique et fréquence d'échantillonnage des MES pour analyses chimiques

Pour les analyses chimiques (métaux et organiques) à la station d'Arles un prélèvement est réalisé avec une centrifugeuse fixe, deux fois par mois au minimum et plus fréquemment en période de crue.

I.3 Données disponibles

a. Débit

La station d'Arles ne dispose pas de système propre pour la mesure des débits. Celui utilisé pour le calcul de flux est produit par la CNR. Le point de mesure est au même niveau que la station de prélèvement. En dernier recours, il existe aussi un point de mesure au niveau de Beaucaire, en amont de la station d'Arles avant la diffluence du petit et du grand Rhône.

Les débits utilisés sont pris au pas de temps journalier. La chronique pour l'année 2013 est complète (Figure 1).

En 2013, une période de hautes eaux apparaît entre le 28/04 et le 28/05 avec 2 pics de crue (le 05/05 > 4000m^3/s et le 09/05 > 5000m^3/s). Deux évènements de crue moins importants sont enregistrés entre le 09 et 13/11 et entre le 28/12 et le 31/12 (>3000 m^3/s ; Cf. Figure 1).

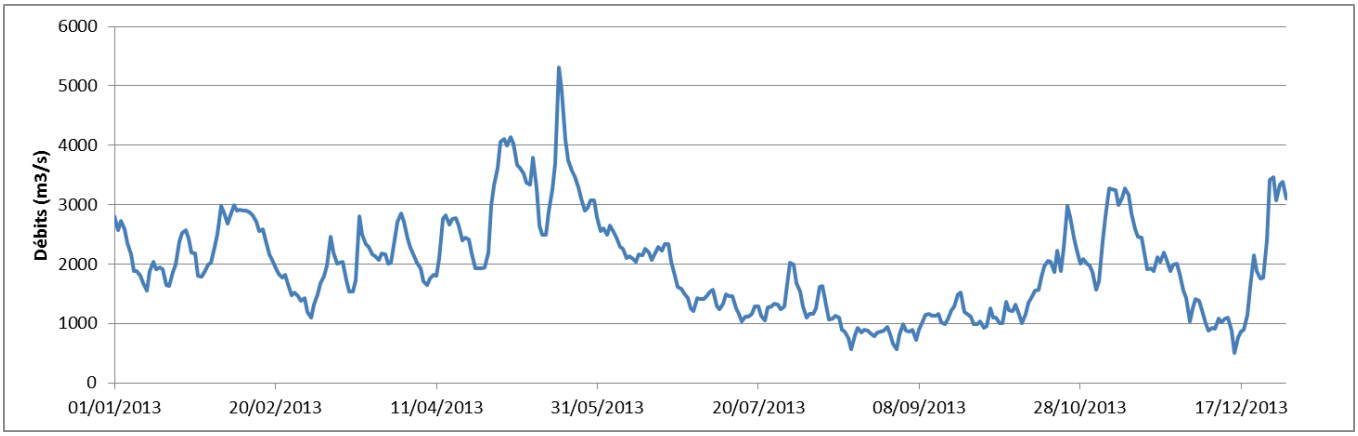


Figure 1 : Débits (Q) mesurés par la CNR sur le Rhône à Arles en 2013.

La Figure 2 présente les volumes annuels écoulés à la station d'Arles. Le volume de l'année 2013 est le plus élevé des dix dernières années avec 61,6 milliards de m^3. Le nombre de jours de crue est supérieur aux autres années. En 2013, le Rhône à Arles a été en crue 76 jours (Q>3000 m^3/s) contre 12 jours en 2011 et 29 jours en 2012.

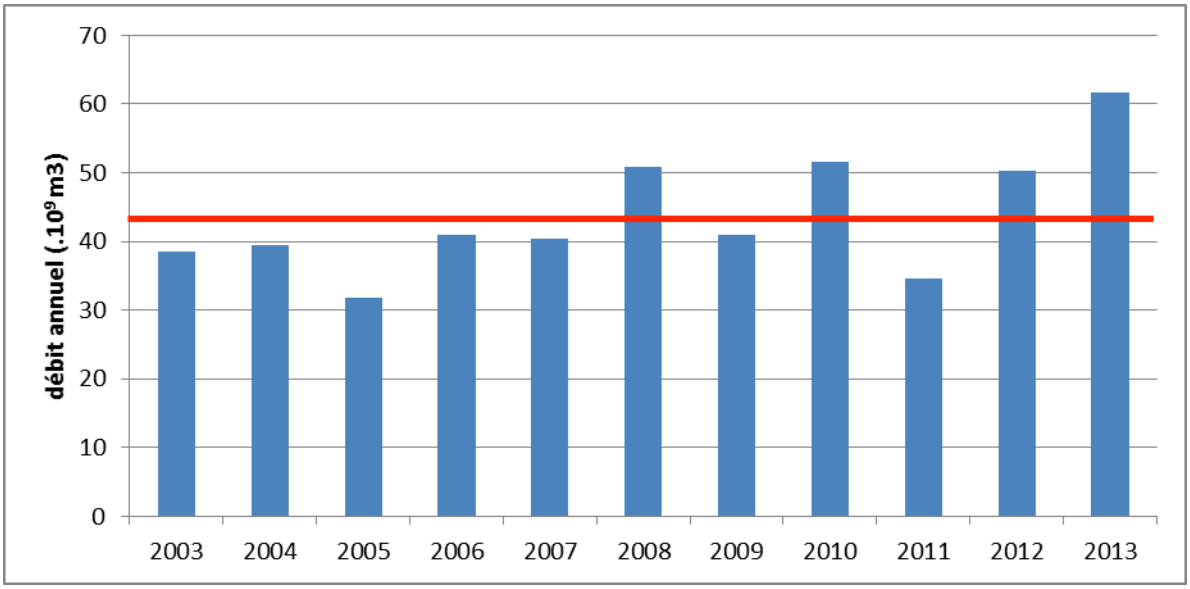


Figure 2 : Volume annuel écoulé à la station d'Arles et volume moyen annuel sur 10 ans (trait rouge).

b. Concentrations en MES (Matières En Suspension)

Les concentrations en MES utilisées pour le calcul de flux sont obtenues au pas de temps journalier.
En 2013, il manque 26 données dans les chroniques du MIO dont 14 en période hors crue et 12 en crue. Les évènements du mois de Mai contribuent au transport de quantités importantes de MES avec un pic à 1300 mg/l (Cf. Figure 3). Les crues de novembre (500 mg/l) et décembre (700 mg/l) montrent des concentrations et une durée moins importantes.

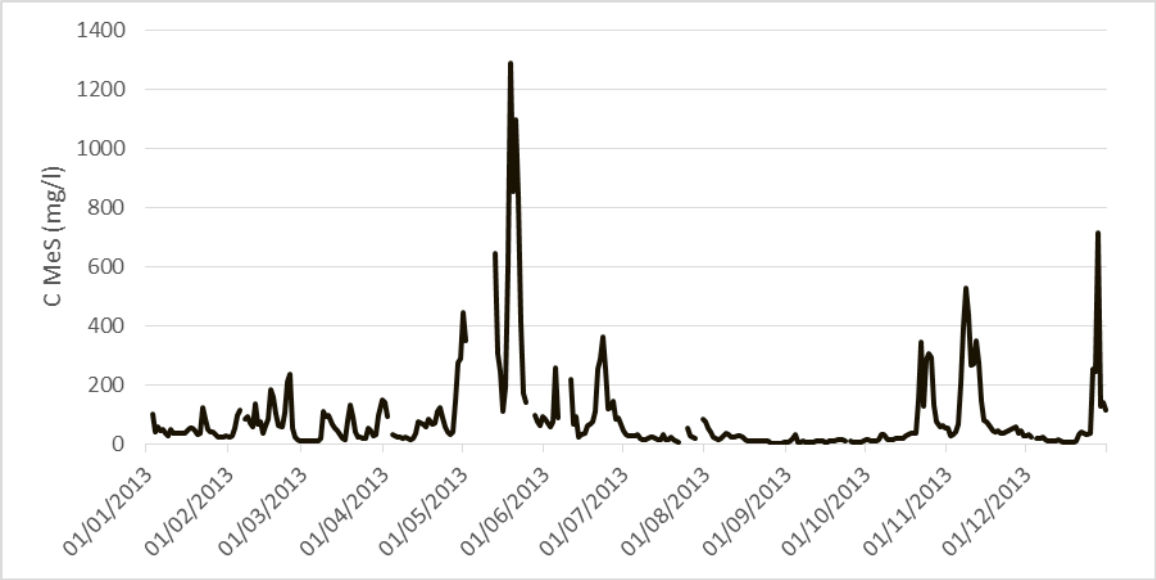


Figure 3 : Concentrations en MES (mg/l) mesurées par le MIO en 2013 à la station d'Arles.

c. Données manquantes : C_{MES} et Q

Plusieurs relations entre C_{MES} et le débit à Arles sont décrites dans la littérature et peuvent permettre de compléter les chroniques avec des données manquantes. Nous avons choisi d'utiliser celle extraite des suivis à la station d'Arles (rapport IRSN, 2013) et qui intègre les épisodes de crue :

$$\text{Log } C_{MES} = 2{,}07 \text{ LogQ} - 5{,}15$$

Les chroniques de débits et de C_{MES} décrites précédemment sont donc complétées à l'aide de cette équation. Cependant cette relation se base sur des données collectées entre 2005 et 2009. Les crues étant toutes particulières, elles ne sont pas forcément correctement définies par cette relation.
Actuellement, un modèle 1D permettant de reconstituer le transport sédimentaire sur le Rhône est en cours de développement chez Irstea. Il permettra prochainement de mieux reconstituer les chroniques de C_{MES} incomplètes.

I.4 Teneurs en contaminants des MES

Les analyses en métaux réalisées par le Cerege sur les échantillons de l'OSR sont disponibles pour toute l'année 2013. Les méthodes d'analyse utilisées ainsi que les limites de quantification et incertitudes associées sont présentées en Annexe 1. Les concentrations de tous ces métaux sont toujours supérieures au LQ.

Les analyses de ∑PCBi [1] et mercure à Arles sont réalisées par Irstea de Lyon pour la période de janvier à juillet 2013. Les échantillons manquants en ∑PCBi sont en cours d'analyse (août à décembre). Lorsque la teneur en PCB indicateurs (PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180) est inférieure à la limite de quantification (LQ, cf annexe 3), la LQ/2 est prise en compte dans le calcul de la somme. Des tests réalisés par Irstea montrent qu'en général, la prise en compte de LQ=0 ou LQ=LQ entraine un écart de seulement ±10% sur la somme des 7 PCBi.

[1] ∑PCBi : somme des teneurs en PCB indicateurs (PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180).

Le calcul des flux a été réalisé sur les métaux réglementés (substances prioritaires de l'état chimique et substances de l'état écologique en application de la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE) : Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb et Hg (Cf. Tableau 1).
L'échantillonnage pour la mesure des concentrations en contaminants est réalisé tous les 15 jours en régime de base et ne correspond donc pas à la fréquence journalière des mesures de débit et de C_{MES}. Cet échantillonnage est renforcé en période de crue pour appréhender au mieux les variations au cours de ces évènements.

Tableau 1 : Concentrations en métaux utilisées pour le calcul de flux à la station d'Arles (*somme PCB 28, 52, 101, 118, 153, 138, 180) (données manquantes*)**

Nom échantillon	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	ΣPCBi*
(voir fiche nomenclature OSR)	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
10/01/2013	67,8	10,9	34,2	29,2	137,3	0,33	26,26	0,100	0,021
22/01/2013	58,0	8,9	32,8	17,8	73,5	0,18	16,18	0,054	0,025
04/02/2013	60,3	9,3	31,3	22,6	84,0	0,21	21,29	0,077	0,017
13/02/2013	78,0	9,7	33,6	24,7	93,8	0,22	22,87	0,125	0,032
25/02/2013	71,7	10,5	34,7	26,1	107,1	0,26	30,37	0,126	0,016
12/03/2013	58,7	9,2	31,0	19,0	79,7	0,20	13,17	0,063	0,009
21/03/2013	64,0	10,4	32,4	26,1	136,9	0,37	38,20	0,111	0,018
04/04/2013	52,1	8,5	29,6	19,0	86,6	0,26	19,53	0,076	0,009
29/04/2013	62,8	11,1	35,0	23,3	91,7	0,23	29,31	0,063	0,007
02/05/2013	64,4	10,6	34,9	21,6	93,9	0,24	23,70	0,068	0,011
13/05/2013	64,7	10,8	35,6	20,5	77,2	0,16	22,29	0,041	0,010
20/05/2013	60,4	9,9	34,7	20,3	77,6	0,17	20,30	0,069	*
28/05/2013	58,4	10,2	33,5	19,5	86,2	0,21	21,93	0,058	0,013
11/06/2013	64,5	11,3	35,6	22,6	92,2	0,23	24,54	0,083	0,008
18/06/2013	73,7	13,5	40,6	35,6	99,9	0,21	27,94	0,054	0,009
02/07/2013	84,0	13,6	40,8	29,6	128,2	0,22	35,30	0,078	0,014
16/07/2013	181,8	16,5	68,0	38,0	170,0	0,35	45,63	0,096	0,026
06/08/2013	106,5	17,9	51,3	41,4	186,0	0,34	49,92	0,105	*
26/08/2013	96,4	17,2	48,4	39,7	171,4	0,35	46,29	0,086	*
04/09/2013	102,8	18,9	53,4	39,1	181,5	0,33	45,69	0,063	*
17/09/2013	92,3	16,3	46,2	36,6	153,3	0,32	42,16	0,111	*
01/10/2013	94,8	16,7	48,0	41,4	160,2	0,32	42,78	0,099	*
15/10/2013	99,5	17,4	49,3	42,9	166,7	0,35	47,72	0,117	*
05/11/2013	83,3	14,3	44,7	34,1	145,0	0,38	42,05	0,090	*
07/11/2013	80,2	13,2	44,0	30,4	112,2	0,32	35,58	0,089	*
09/11/2013	95,3	15,1	47,8	34,6	166,3	0,38	39,79	0,091	*
10/12/2013	91,6	15,4	47,5	43,5	180,3	0,41	44,87	0,121	*
19/12/2013	91,9	15,8	47,8	51,5	177,5	0,43	48,20	0,126	*
26/12/2013	75,8	12,2	38,8	30,6	133,0	0,36	40,15	0,073	*

II. Estimation des flux

II.1 Flux de MES

Le flux de MES est calculé à partir de la formule suivante :

$$F_{part} = \sum C_{MeS} * Q.dt$$

avec F_{part} le flux particulaire sur une période de temps choisie, C_{MES} la concentration en MES (mg/L), Q le débit liquide (m^3/s) et dt le pas de temps des mesures (journalier).

Le flux total annuel de 2013 ($7.6*10^6$ t/an) est supérieur aux années précédentes ($5.6*10^6$ t/an en 2012 et $2.7*10^6$ t/an en 2011). 44% du flux de MES transite au mois de mai et seulement 13% en novembre, contrairement aux années 2011 et 2012 où 90% du flux particulaire a transité en janvier, novembre et décembre.

t/mois	2013
janvier	0,28E+06
février	0,49E+06
mars	0,29E+06
avril	0,52E+06
mai	3,4E+06
juin	0,62E+06
juillet	0,10E+06
aout	0,063E+06
septembre	0,028E+06
octobre	0,44E+06
novembre	0,95E+06
décembre	0,51E+06
Total (t/an)	**7,6E+06**

Tableau 2 : Estimation des flux de MES (t/mois) pour 2013 à la station d'Arles

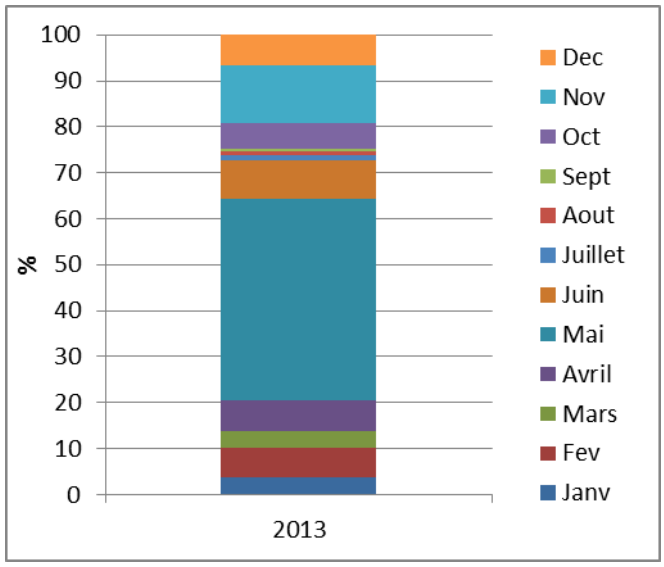


Figure 4 : Estimation des flux de MES (t/mois) pour 2013 à la station d'Arles

II.2 **Flux de contaminants**

Les concentrations en contaminants ne sont pas mesurées au même pas de temps que le débit liquide et la concentration en MES. Des concentrations journalières sont reconstituées en appliquant la première mesure de teneur en contaminant à tous les jours de suivi sans analyse jusqu'au prélèvement suivant. Dans le cas des crues, cette application est modifiée sur plusieurs points. Premièrement, la durée de la crue est définie dans le temps à partir des débits hydriques. Deuxièmement, les concentrations mesurées en crue sont appliquées à la seule durée de la crue (ex : une mesure l'avant-dernier jour de la crue est utilisée pour le jour-même et le dernier jour de crue seulement, la suite est calculée en utilisant le prélèvement suivant).

Comme pour les flux de MES, les mois de 2013 les plus fortement contributeurs aux flux de métaux et de ∑PCBi sont mai et novembre (Figure 5). Ce sont les périodes de crues qui voient passer la majorité des flux pour ces éléments.
Les flux de métaux peuvent être comparés aux estimations faites par Gairoard et al (2012) sur une base décennale à partir des données du réseau AERMC ainsi qu'aux valeurs calculées par Ollivier *et al.* (2011) pour 2001 et 2002 (Tableau 4). Les différences proviennent en premier lieu des différences dans les flux de MES.

Les flux de métaux en 2013 sont, au minimum, deux fois plus importants que la moyenne décennale (réalisées à partir des données AERMC, Tableau 4) bien que le flux de MES ne soit supérieur que de $2*10^6$ t/an (30%). Une première explication peut venir du fait que les concentrations de métaux utilisées pour la moyenne décennale (données AERMC) ont été mesurées sur sédiment et non MES, et que ces concentrations sont généralement inférieures à celles des MES réelles (facteur 1,5 à 2 - Gairoard et al., 2012). Par contre, on constate que les flux de contaminants de 2013 sont proches de l'ordre de grandeur de l'année 2001 (Ollivier et al.,2011) bien que le flux de MES 2013 soit plus élevé. Ceci est due au fait que les concentrations reportées pour 2001 étaient plus élevées qu'actuellement.

Tableau 3 : Flux de métaux et PCBi pour l'année 2013 à la station d'Arles – En italique, calcul à partir de la concentration moyenne en ∑PCBi. (*somme PCB 28, 52, 101, 118, 153, 138, 180).

(t/mois)	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	∑PCBi*
janvier	17	2,6	8,8	5,9	26	0,075	5,7	0,027	0,0068
février	34	4,7	16	12	44	0,10	11	0,050	0,012
mars	18	2,9	9,3	6,8	31	0,082	7,8	0,028	0,0041
avril	29	5,0	16	11	49	0,14	13	0,039	0,0049
mai	208	34	117	70	276	0,63	73	0,22	0,045
juin	41	7,4	23	18	57	0,13	16	0,036	0,0059
juillet	16	1,6	6,2	3,7	16	0,032	4,4	0,0095	0,0023
aout	6,8	0,91	3,0	2,1	9,5	0,018	2,5	0,0053	*0,0010*
septembre	2,8	0,50	1,4	1,1	4,8	0,0094	1,3	0,0026	*0,00044*
octobre	45	7,8	22	19	75	0,16	21	0,052	*0,0069*
novembre	78	13	42	30	115	0,31	35	0,085	*0,014*
décembre	39	6,3	20	16	69	0,19	21	0,039	*0,0077*
Total (t/an)	534	87	286	195	772	1,9	211	0,60	*0,11*

Tableau 4 : Flux particulaires de métaux à la station d'Arles à partir des données OSR 2013, des données de l'Agence de l'Eau RMC sur 10 ans (1999-2009, Gairoard et al., 2012) et rapportées par Ollivier et al (2011) pour les années 2001 et 2002.

Flux (t/an)	Flux OSR 2013	Flux OSR 2012	Flux OSR 2011	Estimation sur données AE 1999-2009	Données 2001 (Ollivier *et al.*, 2011)	Données 2002 (Ollivier *et al.*, 2011)
Cr	534	360	163		488	927
Co	87	57	24		70	138
Ni	286	184	82	123		
Cu	195	139	61	99	236	424
Zn	772	554	209	338	841	1742
Cd	1,9	1,8	0,7	1,0	2,7	6,2
Pb	211	141	78	109	208	504
Hg	0,6	0,61	0,3	0,38		
MES	$7{,}6.10^6$	$5{,}6.10^6$	$2{,}7.10^6$	$5{,}5.10^6$	$5{,}1.10^6$	$10{,}9.10^6$

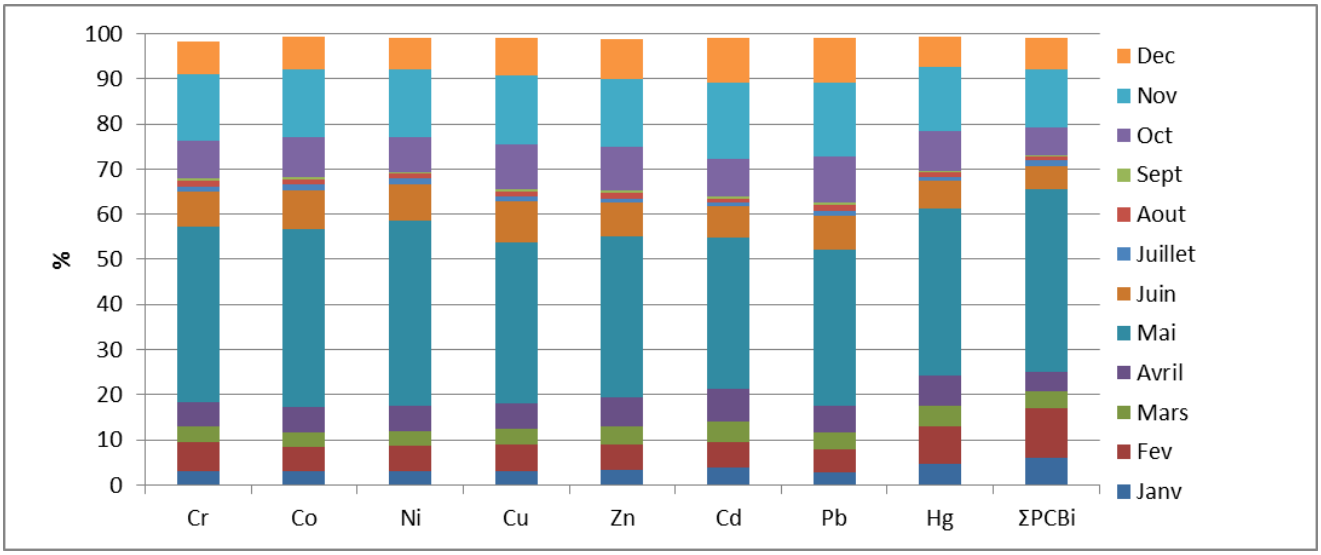


Figure 5 : Répartition (%) des flux de métaux et de PCB en fonction des mois pour l'année 2013 à la station d'Arles.

III - Estimation des flux de contaminants particulaires à Jons

I. Bilan des prélèvements et analyses réalisés à Jons

I.1 - **Techniques et fréquence d'échantillonnage pour la détermination de C_{MES}**

Un préleveur automatique est installé à Jons au niveau du bras de prélèvement de la station, en surface. Il est paramétré de manière à prélever quotidiennement un échantillon d'eau brute (eau + MES) d'environ 900 mL en régime de base. En cas de crue, le pas de temps d'échantillonnage est abaissé à 3-4h. La concentration en MES de ces échantillons est déterminée par filtration-pesée et les résultats sont utilisés pour calibrer le turbidimètre installé dans la station.

Un turbidimètre (gamme 0-4000 NTU) est installé depuis septembre 2010 par Véolia pour le Grand Lyon. Les mesures fournies par le Grand Lyon sont à un pas de temps fin (une mesure toutes les 3 minutes, moyenne de 10 mesures toutes les 30 minutes). Le détail du fonctionnement du turbidimètre et de sa calibration est disponible dans le rapport OSR sur les flux 2011-2012 (mars 2014).

I.2 **- Techniques et fréquence d'échantillonnage des MES pour analyses des contaminants**

Des prélèvements de MES sont réalisés tous les 15 jours à la station de Jons pour les analyses chimiques. A ce suivi en régime de base s'ajoute le suivi plus fin d'événements de crues avec une augmentation de la fréquence d'échantillonnage.

Les MES sont prélevées à la station de Jons à l'aide de différents dispositifs :

- Les PCBi sont mesurés sur des prélèvements à partir d'un piège à sédiment. Il est relevé toutes les deux semaines en régime de base, plus souvent en cas de crue. Une centrifugeuse mobile (pendant en moyenne 3-4 heures en régime de base) ;
- Les métaux sont mesurés à partir de trois types de préleveurs, considérés comme similaires :
    - des prélèvements manuels et ponctuels suivi d'une étape de filtration à 0,2 µm pour séparer la phase particulaire (de janvier à juin 2013).
    - une centrifugeuse fixe (de type CEPA Z-61) dans la station qui remplace le prélèvement par centrifugeuse mobile depuis juin 2013. Elle permet à présent le prélèvement pour les analyses de métaux car la MES est déposée sur une feuille téflonée positionnée à l'intérieur du cylindre de la centrifugeuse fixe. Ceci permet d'éviter le contact entre les MES et la partie métallique du cylindre et limite la contamination (contrairement à la centrifugeuse mobile qui équipait la station jusque là).

I.3 **Données disponibles**

Les données utilisées pour la station proviennent toutes de la BDOH (Base de Données des Observatoires en Hydrologie) développée par Irstea et accessible sur internet : https://bdoh.irstea.fr/

a. Débit

Le débit à Jons est calculé à partir des hydrogrammes du Rhône à Lagnieu, de l'Ain à Pont de Chazey et de la Bourbre à Tignieu Jameyzieu, avec le modèle hydraulique 1-D du Rhône développé par Irstea dans le cadre de l'OSR. Ils sont disponibles au pas de temps horaire sur toute l'année 2013.

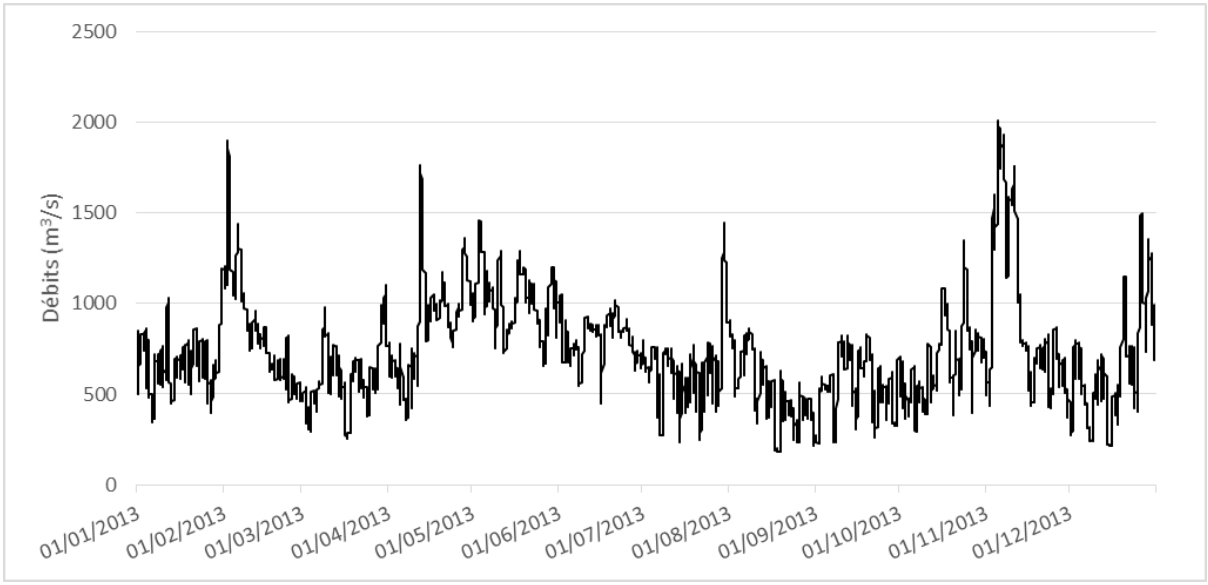


Figure 6 : Débits calculés par Irstea pour la station de Jons en 2013

Trois évènements de crues supérieures à 1500 m^3/s sont observés à Jons pour l'année 2013 (Figure 7) :

- Entre le 02 et 03 février avec un pic à 1900 m^3/s
- Entre le 12 et 13 avril avec un pic à 1800 m^3/s
- Entre le 05 et 11 novembre avec un pic à 2000 m^3/s

b. Concentrations en MES

Les concentrations en MES journalières sont obtenues par conversion de la valeur de turbidité suivant une relation C_{MeS} (g/l) /turbidité (NTU) établie par analyses d'échantillons collectés manuellement ou avec un préleveur automatique (*cf rapport OSR : Estimation des flux de contaminants particulaires à Arles et Jons (2011-2012) - Action 6 - Mars 2014*).
Pour l'année 2013, le taux de remplissage mensuel des données dans la BDOH est de 100% sauf pour Mars (84%) et Juin (92%).

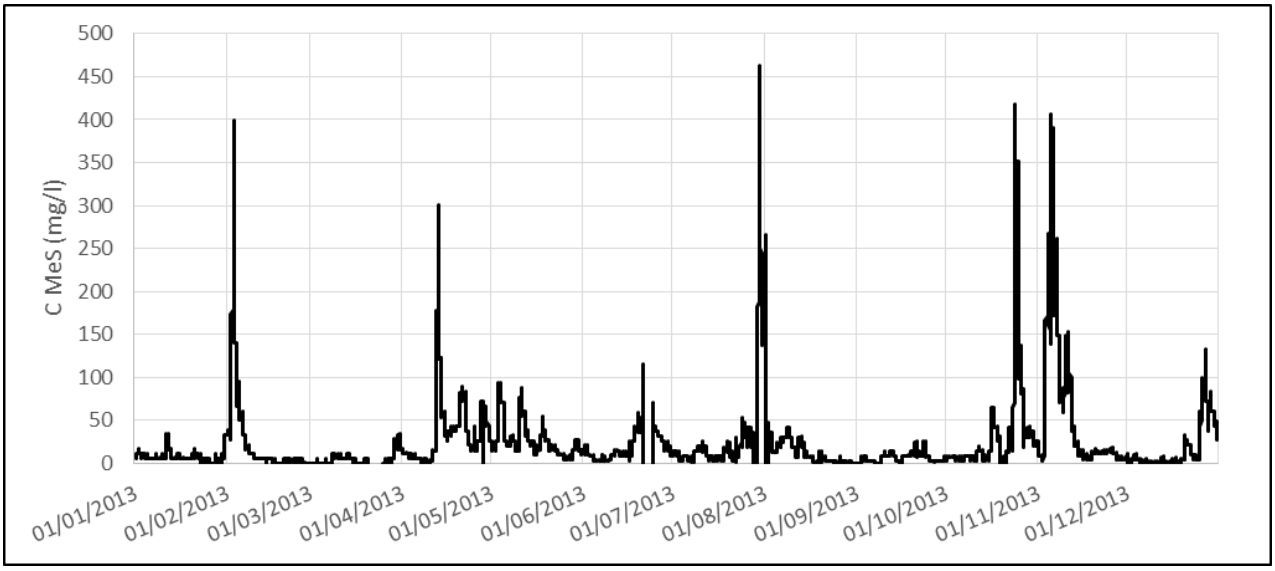


Figure 7 : Concentrations en MES calculées à partir des données de turbidité pour la station de Jons

Plusieurs pics de concentrations en MES sont enregistrés en 2013 et correspondent à des périodes de hautes eaux dans le Rhône (Figure 7):

- > 300mg/l : 13 avril
- > 400 mg/l : 03 février, 24 octobre et 05 novembre
- >450 mg/l : 30 juillet

c. Flux de MES et données manquantes

Le flux de MES est à présent disponible dans la BDOH pour cette station et est utilisé pour les calculs de flux de contaminants qui vont suivre. Les données calculées sont disponibles à un pas de temps variables selon les jours. Dans ce rapport, une moyenne journalière est réalisée en fonction des données disponibles. Lorsque des données sont notées comme douteuses dans la BDOH alors la donnée journalière est remplacée par une valeur moyenne entre la dernière valeur calculée et la suivante (21 jours sont concernés en 2013)

I.4 Teneurs en contaminants des MES

Les concentrations en Hg réalisées par Irstea sont disponibles pour toute l'année 2013.

Les concentrations en Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd et Pb réalisées au Cerege sont incomplètes pour les mois d'avril, mai, juin et décembre (en cours d'analyse).

La chronique de PCB utilisée est la somme des PCB indicateurs (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153, PCB 180) issus de pièges à particules. Les valeurs non quantifiées sont considérées comme égales à la LQ/2. Elles sont disponibles de janvier à août 2013. Les données manquantes sont remplacées par la moyenne des concentrations disponibles sur 2013.

Tableau 5 : Concentrations en métaux utilisées pour le calcul de flux à la station de Jons sur filtres et échantillons de centrifugeuses en mg/kg (*données manquantes en cours d'analyse).

	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
08/01/2013 10:00	66,0	8,6	38,2	29,6	104,8	0,42	23,8	0,064
22/01/2013 11:00	64,8	8,4	36,6	32,0	122,1	0,35	23,7	0,089
05/02/2013 11:30	92,3	11,5	51,4	28,9	112,8	0,3	26,8	0,044
19/02/2013 13:20	59,0	8,1	33,9	33,0	242,4	0,28	25,8	0,056
05/03/2013 11:05	49,1	6,0	29,1	35,5	113,4	0,33	18,4	0,059
19/03/2013 09:30	*	*	*	*	*	*	*	0,05
09/04/2013 08:35	*	*	*	*	*	*	*	0,06
23/04/2013 07:50	*	*	*	*	*	*	*	0,042
06/05/2013 09:00	*	*	*	*	*	*	*	0,044
21/05/2013 08:30	*	*	*	*	*	*	*	0,043
04/06/2013 09:00	*	*	*	*	*	*	*	0,061
18/06/2013 08:10	*	*	*	*	*	*	*	0,047
09/07/2013 10:15	63,1	9,9	34,3	28,4	114,3	0,3	26,6	0,039
16/07/2013 09:15	64,8	9,7	34,7	53,1	141,9	0,36	27,5	0,045
30/07/2013 11:30	69,2	9,9	37,9	27,1	108,3	0,31	25,0	0,039
27/08/2013 09:55	76,4	8,3	35,9	149,5	188,3	0,29	28,2	0,043
10/09/2013 09:55	51,8	8,8	31,1	27,9	108,9	0,38	23,3	0,051
24/09/2013 09:00	56,6	8,8	30,3	27,5	101,1	0,3	23,6	0,046
08/10/2013 11:20	66,7	9,7	33,4	34,7	113,7	0,28	25,8	0,053
22/10/2013 09:30	86,8	11,6	50,2	41,4	127,6	0,36	28,7	0,052
05/11/2013 11:25	51,5	7,0	29,4	16,2	67,4	0,24	16,8	0,036
03/12/2013 09:15	*	*	*	*	*	*	*	0,074
17/12/2013 09:30	*	*	*	*	*	*	*	0,09

Tableau 6 : Concentrations en ∑PCBi sur des échantillons de trappe à sédiment (*données manquantes).

Trappe à sédiment		∑PCBi
Date début	**Date fin**	**mg/kg**
08/01/2013	22/01/2013	0,0057
22/01/2013	05/02/2013	0,0064
05/02/2013	19/02/2013	0,0082
19/02/2013	05/03/2013	0,0078
05/03/2013	19/03/2013	0,010
19/03/2013	09/04/2013	*
09/04/2013	23/04/2013	0,0084
23/04/2013	06/05/2013	0,0073
06/05/2013	21/05/2013	0,012
21/05/2013	04/06/2013	0,0092
04/06/2013	18/06/2013	0,011
18/06/2013	09/07/2013	0,0063
09/07/2013	16/07/2013	0,0084
16/07/2013	30/07/2013	0,0089
30/07/2013	12/08/2013	0,0066

II. Estimation des flux

II.1 Flux de MES

Le flux de MES est calculé de la même manière qu'à SORA (cf. p.7).

Le flux total annuel de 2013 ($0,84*10^6$ t/an) est inférieur à celui de 2012 ($1,2.10^6$ t/an), ce qui s'explique en partie par l'absence d'évènement exceptionnel tel que les chasses du Rhône de 2012. Le mois de novembre est le plus fort contributeur avec environ 30% du flux (évènement de crue entre le 5 et 11 novembre).

t/mois	FMeS
janvier	0,017E+06
février	0,083E+06
mars	0,015E+06
avril	0,11E+06
mai	0,075E+06
juin	0,044E+06
juillet	0,086E+06
aout	0,036E+06
septembre	0,011E+06
octobre	0,085E+06
novembre	0,23E+06
décembre	0,046E+06
Total (t/an)	**0,84E+06**

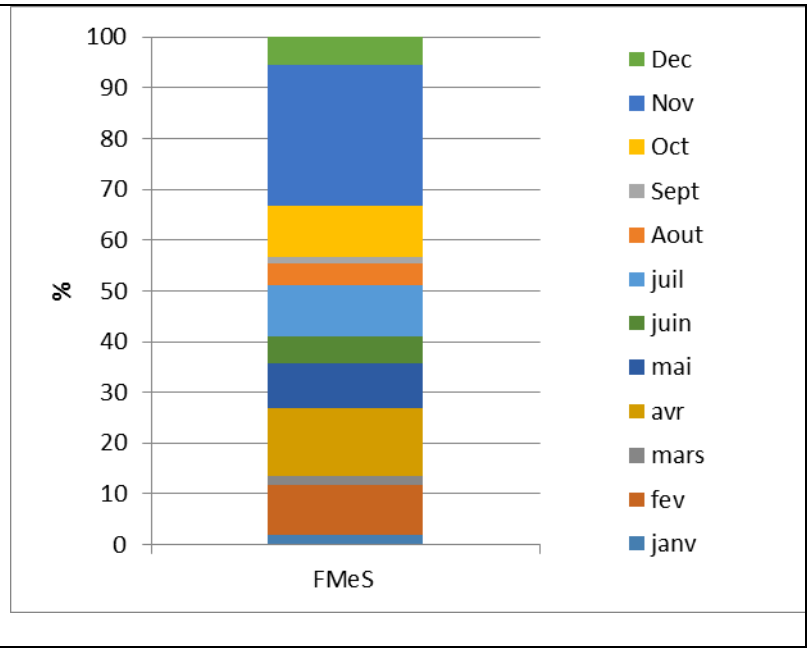


Tableau 7 et Figure 8 : Estimation des flux de MES (t/mois) pour 2013 à Jons et représentation de leur répartition sur l'année.

II.2 Flux de contaminants

Tout comme à la station d'Arles, les concentrations en contaminants ne sont pas mesurées au même pas de temps que le débit liquide et la concentration en MES à Jons. Des concentrations journalières en contaminant sont reconstituées en appliquant la première mesure de contaminant sur toute la période entre deux prélèvements et analyses de contaminants (soit typiquement 2 semaines hors période de crue).

Tableau 8 : Flux particulaires (*valeurs provisoires*) **de métaux et PCB à la station de Jons pour 2013. (*somme PCB 28, 52, 101, 118, 153, 138, 180)**

t/mois	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	∑PCBi
janvier	1,11	0,14	0,63	0,54	1,91	0,01	0,40	0,0011	0,000095
février	5,89	0,75	3,31	2,58	10,17	0,03	2,02	0,0063	0,00057
mars	0,73	0,09	0,43	0,52	1,76	0,005	0,28	0,0008	0,00013
avril	*5,49*	*0,67*	*3,26*	*3,97*	*12,68*	*0,04*	*2,06*	0,0062	0,00091
mai	*3,68*	*0,45*	*2,18*	*2,66*	*8,50*	*0,02*	*1,38*	0,0032	0,00074
juin	*2,15*	*0,26*	*1,28*	*1,56*	*4,97*	*0,01*	*0,81*	0,0022	0,00032
juillet	5,78	0,84	3,15	2,96	10,14	0,03	2,20	0,0036	0,00063
Aout	2,46	0,35	1,34	1,02	3,89	0,01	0,89	0,0014	*0,00025*
Sept	0,60	0,09	0,33	0,48	1,23	0,004	0,25	0,0005	*0,000086*
Octobre	6,97	0,94	3,95	3,37	10,53	0,03	2,37	0,0044	*0,00070*
Novembre	13,26	1,80	7,60	4,66	17,85	0,06	4,34	0,0090	*0,0019*
Décembre	*2,38*	*0,32*	*1,36*	*0,75*	*3,11*	*0,01*	*0,78*	0,0041	*0,00038*
Total (t/an)	***50,49***	***6,71***	***28,82***	***25,06***	***86,73***	***0,26***	***17,77***	**0,043**	***0,0067***

Tableau 9 : Flux particulaires de métaux en 2012 à la station de Jons à partir des données OSR

t/an	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	∑PCBi
2012	**100,55**	**12,95**	**54,16**	**39,00**	**136,94**	**0,52**	**37,71**	**0,0471**	**0,0062**

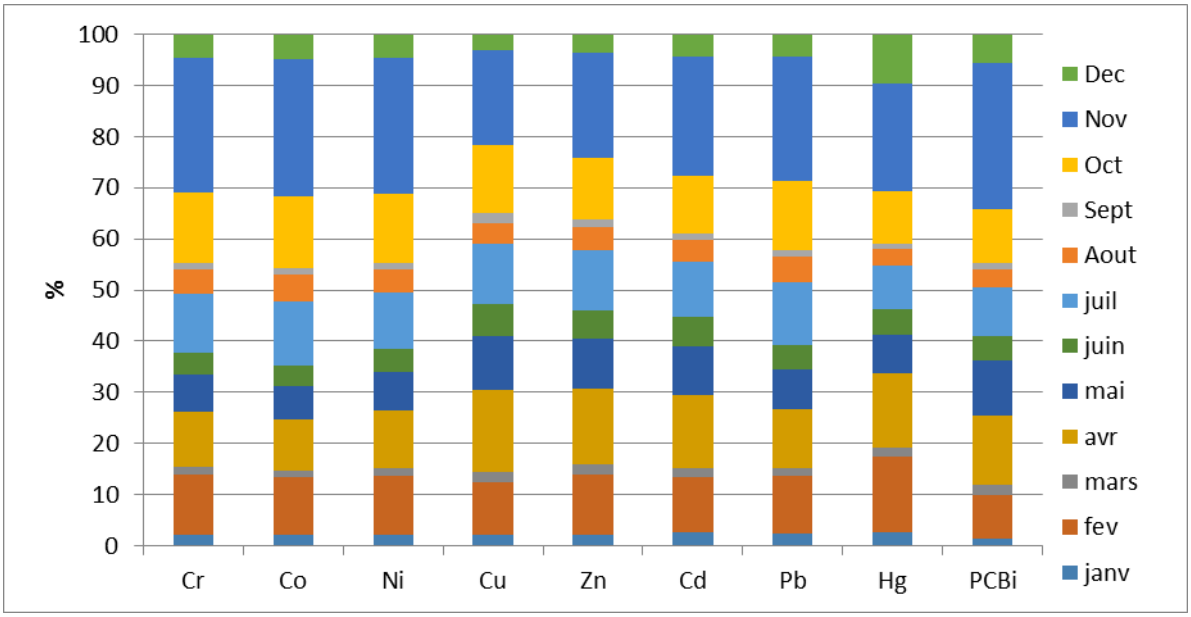


Figure 9 : Répartition des flux de métaux et PCBi (t/mois) pour 2013 à Jons

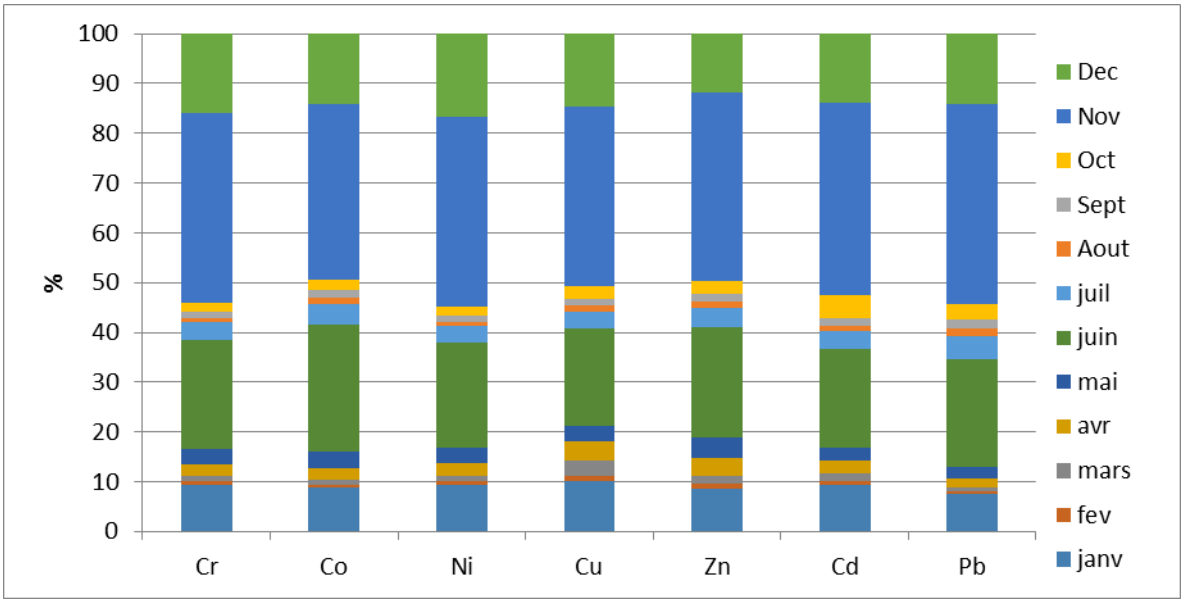


Figure 10 : Répartition des flux de métaux et PCBi (t/mois) pour 2012 à Jons

Février, avril, octobre et novembre voient passer 60% du flux total annuel en métaux (Tableau 8 et Figure 9).
L'année 2013 est jusqu'à 2 fois plus faible que 2012 en terme de flux de métaux, sauf pour Hg. Ceci s'explique par le fait qu'en 2012, 25% du flux total annuel en métaux et PCBi ont transité au mois de juin avec les chasses du Rhône (Tableau 9, Figure 10 et livrable OSR, mars 2014). Par ailleurs, 30 à 40% de plus ont transite aussi au cours des crues de novembre 2012 (Figure 10).

IV - Conclusions

Pour rappel, la version actuelle de ce livrable est provisoire pour la ∑PCBi dont les analyses pour le deuxième semestre 2013 sont en cours, ainsi que pour les analyses de métaux manquantes à Jons.

Le flux de MES à Arles est de 6 à 13 fois plus important qu'à Jons sur les 3 dernières années (Tableau 10). L'écart le moins important est en 2012 notamment à cause des chasses du Rhône qui ont augmenté le transport de particules dans la partie Nord du bassin versant.

Les flux de métaux sont 4 fois plus importants à Arles qu'à Jons en 2012, et jusqu'à 7 à 12 fois en 2013 (Tableau 11). L'écart entre Arles et Jons pour les flux de Hg et PCBi est encore plus marqué, avec un ratio de 13 en 2012 et 23 en 2011. Pour ces deux derniers contaminants, la forte différence de ce ratio par rapport à celui des MES implique une ou des sources obligatoires entre ces deux stations.

Tableau 10 : Bilan des flux de MeS à Arles et Jons en 2011-2012-2013 (t/an)

	Flux MeS Arles (t/an)	Flux MeS Jons (t/an)	Ratio Arles/Jons
2011	$2{,}7.10^6$	$0{,}21.10^6$	13
2012	$5{,}6.10^6$	$1{,}21.10^6$	4,6
2013	$7{,}6.10^6$	$0{,}84.10^6$	9

t/an	Cr		Co		Ni		Cu		Zn		Cd		Pb		Hg		∑PCBi	
Station	Arles	Jons	Arles	Jons	Arles	Jons	Arles	Jons	Arles	Jons	Arles	Jons	Arles	Jons	Arles	Jons	Arles	Jons
2011	163		24		82		61		209		0,7		78		0,3	0,013	0,03	0,0014
2012	360	101	57	13	184	54	139	39	554	137	1,8	0,52	141	38	0,61	0,048	0,08	0,0062
2013	534	51	87	6,7	286	29	195	25	772	87	1,9	0,26	211	18	0,6	0,043	0,11	*0,0067*

Tableau 11 : Bilan des flux de métaux et PCBi à Arles et Jons en 2011-2012-2013 (*valeurs provisoires*)

A partir de l'année 2014, le calcul de flux de contaminants sera disponible sur la BDOH (Base de donnée pour les Observatoires en Hydrologique) développée par Irstea de Lyon et consultable via le site internet de l'OSR. Après validation des données de concentrations en MES et en contaminants par leur producteur, la BDOH sera complétée et un calcul des flux sera disponible pour le public.

Les stations d'Arles et de Jons restent opérationnelles et permettront de poursuivre correctement ces mesures dans les années futures. Il faut noter toutefois que le prélèvement automatique d'eau à la station d'Arles est à l'arrêt depuis Décembre 2014, mais les

échantillons sont tout de même collectés tous les 15 jours grâce au déplacement d'un technicien.

Une nouvelle sonde de turbidité a été installée récemment au niveau du bac de Barcarin (en aval d'Arles) et devrait venir renforcer le suivi des flux de MES vers la Méditerranée. Elle est actuellement en période de test.

Références bibliographiques

Gairoard S. Radakovitch O., Eyrolle F., Ludwig W., Cossa D. Flux de matières solides et liquides des bassins versants Français à la Mer Méditerranée. Rapport AE-RMC, septembre 2012.

IRSN (PRP-ENV/SESURE), 2013. Flux de radioactivité exportés par le Rhône en Méditerranée en 2010 et 2011 (station SORA)

Karickhoff, S. W., Brown, D. S., and Scott, T. A., 1979, Sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments: Water Research, v. 13, p. 241-248.

Ollivier P., Radakovitch O., Hamelin B., 2011. Major and trace element partition and fluxes in the Rhone river. Chemical Geology, 285, 15-31.

Observatoire des Sédiments du Rhône. Estimation des flux de contaminants particulaires à Arles et Jons 2011-2012. Livrable action 6, mars 2014

Annexe 1

Protocole analytique et Limite de Quantification pour l'analyse des éléments traces métalliques au CEREGE (cf fiche protocole sur le site de l'OSR pour plus de renseignements).

1) Environ 40 mg de matériel sec (MES) est broyé et séché.
2) Le matériel subit une extraction acide quasi-totale en salle blanche à base d'attaques successives à chaud (HCl, H_2O_2, HNO_3, HF, $HClO_4$).
3) La solution est analysée sur un ICP-MS (Perkin-Elmer)
4) Les mesures sont certifiées par le passage régulier de standards de mesure.

Élément trace métallique	Incertitude de mesure (%)	Limite de quantification (µg/kg)
Cr	1,2	0,03
Co	1,4	0,03
Ni	1,4	1,2
Cu	1,1	0,1
Zn	1,5	8
Cd	8,7	0,015
Pb	1,1	0,001

Annexe 3

Méthodes d'analyse utilisées et limites de quantification associées (Irstea).

Paramètres	Laboratoire	Norme	Méthode d'extraction	Méthode d'analyse	Limite de quantification	Incertitude
PCB indicateurs	Irstea	XP X33-012	Extraction ASE (Cyclohexane/Acétone 90/10) puis purification Florisil	GC-ECD	0,50 à 0,75 µg/kg**	10.0 – 27.5% (*)
Mercure	Irstea	EPA 7473	Décomposition thermique et amalgamation	Spectrophotométrie d'absorption atomique	0.010 µg/g	16% (*)
PCB type dioxines	Sous-traitance	EPA 1613 et EN 1948-2/3	chromatographie en phase gazeuse / spectro-métrie de masse (GC/MS)	GC-HRSM	1 à 10 ng/kg**	Non communiquée

(*) Incertitude élargie (k = 2) calculée à partir de l'analyse en conditions de reproductibilité d'échantillons de MES.(**) LQ pour un congénère

La justesse des analyses réalisées à Irstea (PCB et mercure) a été vérifiée via l'analyse régulière de matériaux de référence certifiés (IAEA 433 pour le mercure et BCR 536 pour les PCB) et la participation à des essais interlaboratoires (Aglaé pour le mercure et Quality Consult proficiency testing 13CS3 pour les PCB).