

# ÉVALUATION DES FLUX MÉTALLIQUES EN RIVIÈRE DANS LE BASSIN VERSANT DU LÉMAN

Campagnes 1991, 1993 et 1994

PAR

**Pierre-Yves FAVARGER**

INSTITUT F.-A. FOREL, Rte de Suisse 10, CH - 1290 VERSOIX

## RÉSUMÉ

*Les flux des polluants inorganiques les plus importants ont été évalués dans quelques affluents du Léman. Cette estimation s'est faite sur les matières en suspension contenues dans l'eau brute récoltée proportionnellement au débit de la rivière, matières qui piègent par adsorption une partie des éléments dissous. Il est ainsi possible de chiffrer les quantités de ces polluants déversés annuellement dans le Léman par les affluents étudiés.*

*Une quinzaine d'éléments chimiques ont été suivis sur les suspensions et les résultats montrent que, pour certains d'entre eux (plomb, cadmium, mercure et arsenic), les flux annuels peuvent comporter un certain apport anthropique. Quelques comparaisons effectuées sur plusieurs années font ressortir notamment une augmentation du flux de plomb anthropique dans la Venoge entre 1991 et 1994. Les autres apports sont comparativement modestes (Dranse : plomb) ou ne se distinguent que dans les rivières de faible débit (Chamberonne : arsenic et cadmium). Dans les autres rivières, le cadmium présente un flux polluant relativement constant mais qui semble ne pas excéder quelques kilogrammes même pour les rivières plus importantes comme l'Aubonne, la Venoge et la Veveyse.*

## 1. INTRODUCTION

L'eau brute prélevée en continu et proportionnellement au débit d'une rivière permet à partir d'analyses globales de déterminer quantitativement les flux de tout polluant. Depuis 1990 nous déterminons les flux de phosphore particulaire sous différentes formes chimiques dans la phase solide (matières en suspension), correspondant aux échantillonnages annuels de quatre rivières. Il était intéressant d'utiliser également ces matières en suspension pour y mesurer d'autres éléments chimiques.

Ces mesures ont été effectuées sur toutes les rivières de l'étude "phosphore particulaire" de 1991, 1993 et 1994 (tableau 1), mais les suivis effectués en 1991 et en 1994 ne concernent qu'un nombre plus limité d'éléments.

L'Institut de limnologie (INRA) à Thonon, le laboratoire du Service des eaux et de la protection de l'environnement (SEPE) vaudois à Epalinges et le laboratoire du Service de la protection de l'environnement (SPE) valaisan à Sion se sont chargés des prélèvements.

TABLEAU 1 - Rivières étudiées (embouchure) (1991-1994)

Rivière	1991	1993	1994
Rhône	X		
Aubonne	X		X
Venoge	X		X
Dranse	X		
Foron de Sciez		X	
Promenthouse		X	
Veveyse		X	
Chamberonne		X	X
Mercube			X

## 2. MÉTHODES

Après séparation des matières en suspension par centrifugation et séchage par lyophilisation (rivières vaudoises : séchage à l'étuve à 60 °C), les échantillons hebdomadaires sont regroupés pour reconstituer des échantillons représentant une durée plus importante (échantillons dits "mensuels"). Ce regroupage sert à obtenir une quantité de matière suffisante (au moins 50 mg par type d'analyse) et à réduire le nombre d'échantillons à environ 12 par année. Lors de la reconstitution de l'échantillon moyen mensuel, il est tenu compte de la représentativité de chaque sous-échantillon, c'est-à-dire du débit moyen de la rivière et du volume exact de l'eau brute correspondante.

L'attaque des matières en suspension est réalisée en exposant 50 mg de matière sèche à 5 ml d'HCl 1 M pendant 14 heures aux ultrasons, à température ambiante. Les concentrations en micropolluants dans la phase solide ( $\mu\text{g/g}$ ) sont déterminées par spectrométries d'émission et d'absorption atomique.

### 2.1 Teneurs naturelles

Indispensables au calcul de la partie anthropique de la charge totale, les teneurs naturelles des matières en suspension ne correspondent pas nécessairement à celles des sédiments déposés en usage depuis 1983 (FAVARGER et al., 1991). En outre, la technique de mise en solution utilisée pour ce travail, imposée par la méthodologie de dosage des formes du phosphore, est différente des attaques de sédiments utilisés jusqu'à présent pour les dosages de métaux.

Des essais ont donc été effectués pour connaître ces nouvelles valeurs de teneurs naturelles avec attaque différente. En un premier temps, les éléments présentant un rendement d'attaque différent avec la méthode "HCl-ultrasons" (Cr, V, Ni, Zn, Co et Mn, dans l'ordre décroissant de cette différence) n'ont pas été considérés dans le cadre de ce rapport.

Ensuite, les teneurs naturelles ont été réestimées à partir des données issues d'une étude plus importante concernant les matières en suspension, les sédiments de trappe et les sédiments déposés naturellement (bassins de l'Aar et du Rhin : OFEFP, 1995; VERNET et al., 1991). Etant donné la complexité de la question, nous avons préféré exposer en détail cette estimation et les essais d'attaques dans un document séparé (FAVARGER, 1995). Cette réestimation a conduit à une confirmation des chiffres utilisés pour les sédiments en ce qui concerne les 5 éléments retenus (tableau 2).

TABLEAU 2 - Teneurs naturelles (en µg/g)

	Sédiments : teneurs naturelles de référence	Sédiments : teneurs naturelles estimées	Matières en suspension : teneurs naturelles de référence proposées
As	2	2	2
Cd	0.30	0.18	0.30
Cu	50	32	50
Hg	0.05	0.015	0.05
Pb	50	35	50

Conformément à la politique qui a toujours été suivie en tel cas, ces chiffres sont délibérément orientés vers des valeurs supérieures aux teneurs naturelles réelles de la plupart des environnements géologiques de notre pays. Cela permet d'éviter de désigner à tort comme "polluées" les régions dont la teneur naturelle est plus élevée que d'autres, mais comporte dans certains cas le risque d'une sous-estimation des contaminations.

Le calcul du flux total se fait simplement en multipliant les teneurs mesurées en µg/g par la masse totale de matières en suspension de chaque rivière pendant la période concernée, cette masse étant elle-même obtenue à partir des concentrations de ces matières dans l'eau brute et du débit moyen de la rivière.

La même opération est répétée en utilisant non plus les teneurs mesurées, mais les teneurs naturelles de référence. On obtient ainsi le flux naturel.

La différence flux total - flux naturel représente en première approche le flux anthropique. Pour éviter cependant de désigner comme contaminées des rivières dont le flux total n'est que peu supérieur au flux naturel, on ne considère les flux estimés comme *potentiellement contaminés* que lorsqu'ils sont au moins **deux fois** supérieurs aux flux naturels, et comme *probablement contaminés* lorsqu'ils dépassent d'au moins **quatre fois** les flux naturels <sup>1</sup>.

### 3. RÉSULTATS

Les résultats "annuels" résumés à la figure 1 et dont les valeurs chiffrées sont présentées en annexe sous forme de tableau concernent le plus souvent des durées inférieures à 365 jours. Les jours manquants correspondent en principe à des épisodes de très basses eaux, à turbidité nulle, représentant des périodes non significatives dans la dynamique des matières en suspension. Cela n'aurait donc eu aucun sens de tenter de les intégrer.

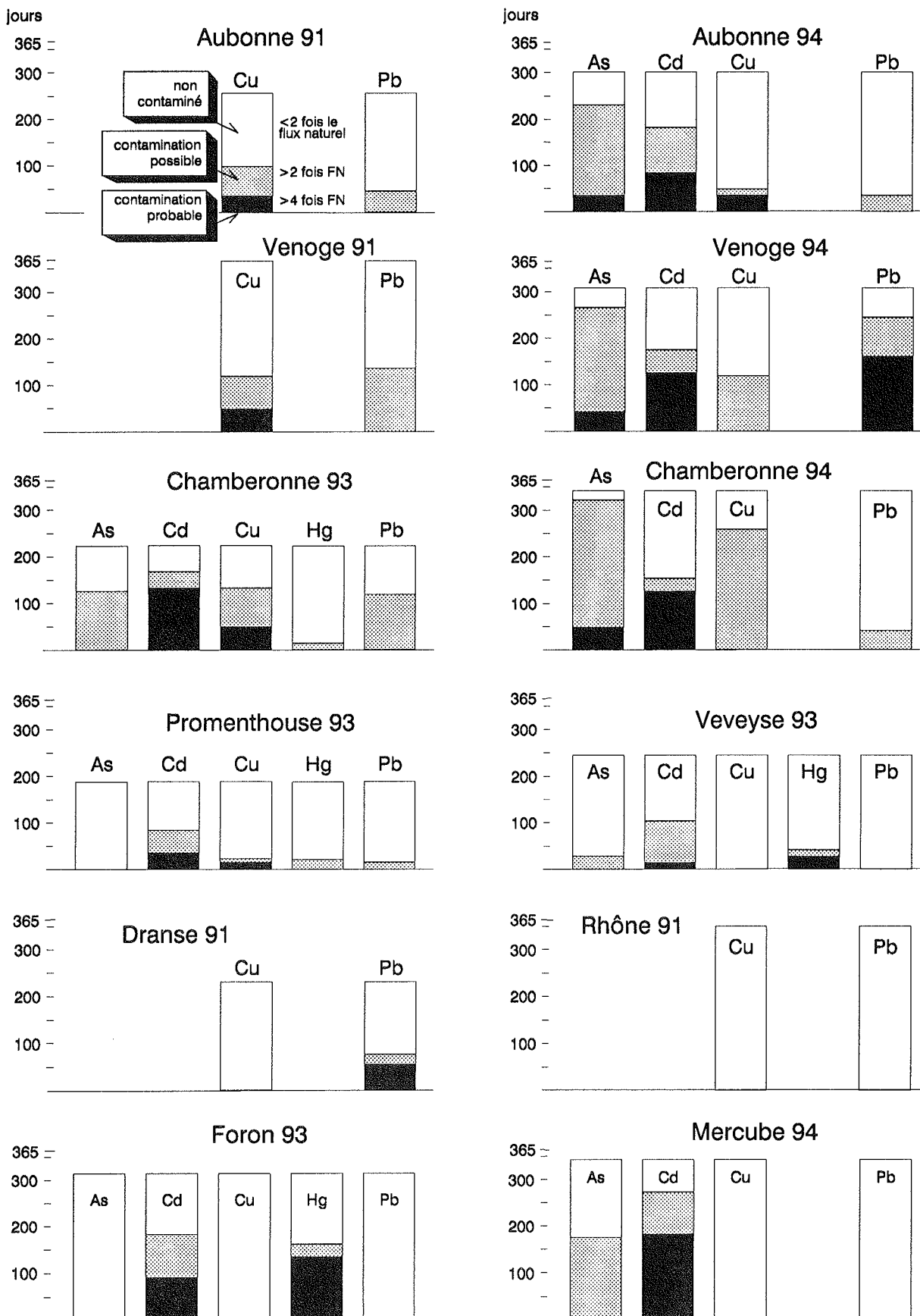
Dans quelques cas cependant, une partie des jours manquants est due au retard dans la mise en place du prélèvement automatique en début d'année. Ainsi, il manque les 125 premiers jours de l'année 1991 pour la Dranse, les 93 premiers jours de 1993 pour la Veveyse, la Chamberonne et la Promenthouse, et les 31 premiers jours de 1993 pour le Foron. Par chance, ces jours manquants correspondent à des périodes de basses eaux. Nous avons préféré les exclure des bilans "annuels" plutôt que de tenter une extrapolation hasardeuse.

---

<sup>1</sup>

Ces facteurs nous semblent suffisants compte tenu de la surestimation des teneurs naturelles

## Fréquences cumulées des catégories de contamination: contaminations possibles et probables selon le multiple du flux naturel.



**Figure 1:** Fréquences cumulées des catégories de contamination, en jours cumulés par an  
Zones blanches : flux inférieur à 2 fois le flux naturel, pas de contamination  
Zones grises : flux compris entre 2 et 4 fois le flux naturel, contamination possible  
Zones noires : flux supérieurs à 4 fois le flux naturel, contamination probable

La figure 1 donne une vue d'ensemble des résultats obtenus sous la forme du nombre de jours où le flux naturel a été dépassé de 2 fois (zones grise+noire) ou de 4 fois sa valeur (zone noire), les valeurs de ces dépassements en kg par an étant reportées au tableau donné en annexe. Cette représentation offre l'avantage de pouvoir comparer aisément la situation de rivières de débits différents, et de relativiser les zones noires des rivières de très faible débit (Mercube 1994, Foron 1993).

On peut représenter de façon plus détaillée ces flux en fonction de la saison. La figure 2 en donne un exemple limité : cadmium dans la Chamberonne, et plomb dans l'Aubonne et la Venoge, éléments les plus intéressants de ces trois rivières qui sont les seules à avoir été suivies plus d'un an.

Il est à remarquer que dans ce type de représentation le trait pointillé "flux naturel" (estimation) peut se trouver au-dessus du trait plein "flux total". C'est une conséquence de la surestimation des teneurs naturelles, et donc des flux naturels.

#### 4. CONCLUSIONS

Cette étude doit être considérée comme un travail exploratoire pouvant servir utilement d'appui à des recherches ultérieures concernant les apports globaux des affluents au Léman. Elle démontre qu'il est possible de mesurer les flux en métaux toxiques par l'intermédiaire des matières en suspension contenues dans l'eau brute récoltée proportionnellement au débit de la rivière. Comme elle n'est complète que pour un petit nombre d'affluents, les quantifications effectuées n'ont mis en évidence que quelques suspicions de contamination, le plus souvent dans des rivières à faible débit (arsenic, cadmium et cuivre dans la Chamberonne par exemple).

#### BIBLIOGRAPHIE

- FAVARGER, P.-Y. (1995) : Estimation des teneurs naturelles des matières en suspension. Rapport Institut F.-A. Forel, Univ. Genève.
- FAVARGER, P.-Y., SPAN, D. et VERNET, J.-P. (1991) : Métaux lourds dans les rivières du bassin lémanique suisse. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1990, 149-166.
- LYNCH, J. (1990) : Provisional Elemental Values for Eight New Geochemical Lake Sediment and Stream Sediment Reference Materials LKSD-1, LKSD-2, LKSD-3, LKSD-4, STSD-1, STSD-2, STSD-3 and STSD-4. Geostandards Newsletter, 153-167.
- OFEFP (1995) : Métaux et métalloïdes dans les sédiments déposés et dans les matières en suspensions des cours d'eau suisses. Cahiers de l'Environnement No 240, Berne, 181 p.
- VERNET, J.-P., FAVARGER, P.-Y., SPAN, D. et MARTIN, C. (1991) : Comparison between three methods of fluvial sediment sampling. In : "Trace Metals in the Environment 1", Elsevier, Amsterdam, 397-404.

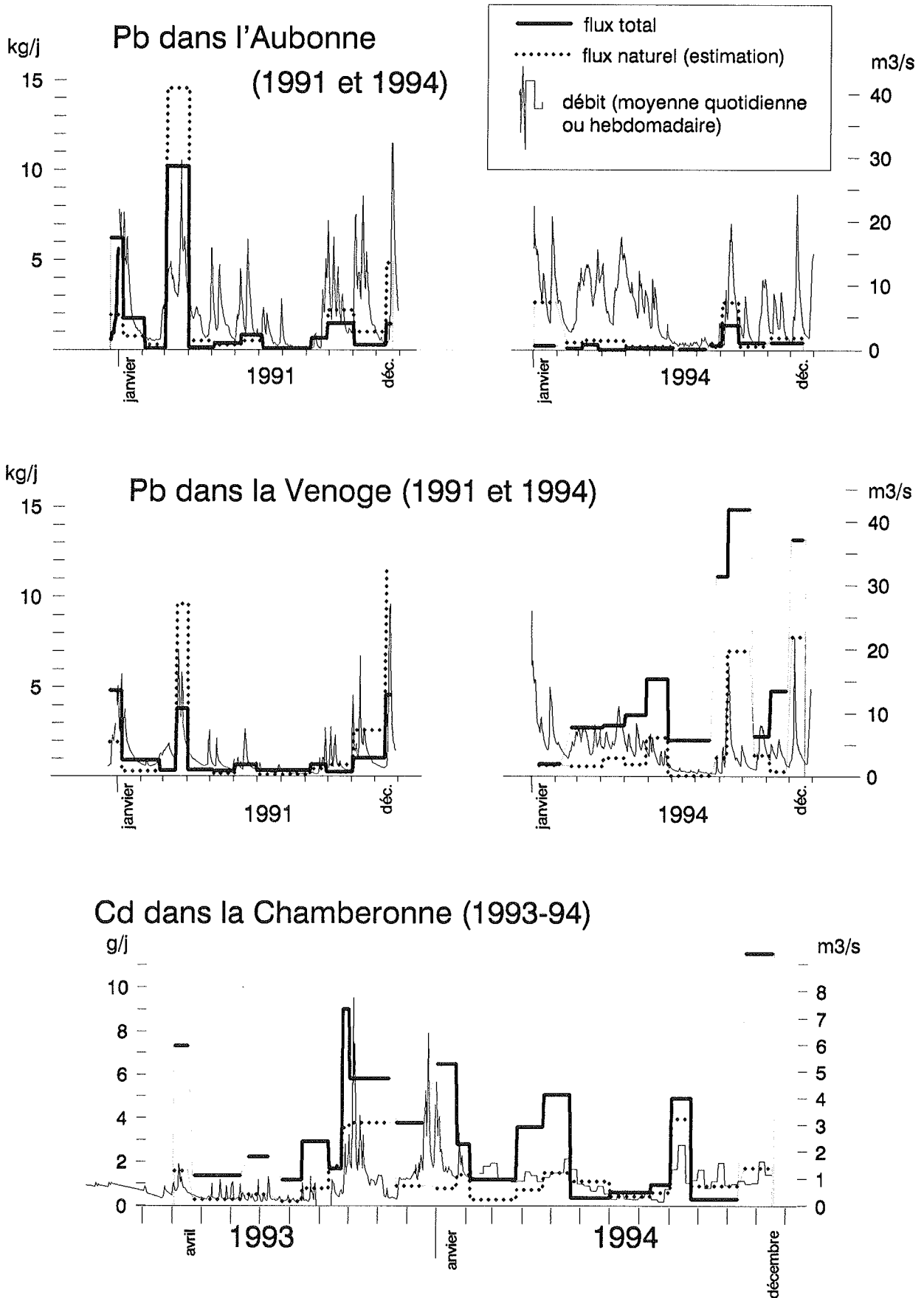


Figure 2 : Exemples de représentation graphique des flux totaux et naturels (en kg/j ou g/j), et des débits (en m<sup>3</sup>/s)

## ANNEXE : Concentrations, flux totaux et dépassements des flux naturels

Echantillonnage			Hg	As	Cd	Cu	Pb	
jours	350	<b>Rhône</b> <b>1991</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]			14.9	17.7	
MES [t]	1 250 000		F tot [kg/350j]			18 600	22 120	
Eau [m <sup>3</sup> ]	5 470 000		>4 fois [kg/350j]			0	0	
MES [mg/l]	228.49		>2 fois [kg/350j]			0	0	
jours	231	<b>Dranse</b> <b>1991</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]			8.67	38.0	
MES [t]	16 800		F tot [kg/231j]			146	640.3	
Eau [m <sup>3</sup> ]	304 000		>4 fois [kg/231j]			0	160.8	
MES [mg/l]	55.4		>2 fois [kg/231j]			0	260.8	
jours	365	<b>Aubonne</b> <b>1991</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]			39.6	42.1	
MES [t]	14100		F tot [kg/an]			558	594	
Eau [m <sup>3</sup> ]	178 600		>4 fois [kg/an]			25.2	0	
MES [mg/l]	79.0		>2 fois [kg/an]			56.1	46.4	
jours	365	<b>Venoge</b> <b>1991</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]			53.8	38.2	
MES [t]	9 240		F tot [kg/an]			502	356	
Eau [m <sup>3</sup> ]	96 400		>4 fois [kg/an]			3.3	0	
MES [mg/l]	96.3		>2 fois [kg/an]			33.2	39.6	
jours	224	<b>Chambe- ronne 1993</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]	0.033	3.11	0.74	84.3	67.4
MES [t]	1 017		F tot [kg/224j]	0.034	3.16	0.76	85.8	68.6
Eau [m <sup>3</sup> ]	23 910		>4 fois [kg/224j]	0	0	0.05	0.6	0
MES [mg/l]	42.5		>2 fois [kg/224j]	0.012	0.32	0.25	12.9	3.32
jours	245	<b>Veveyse</b> <b>1993</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]	0.068	1.79	0.40	18.0	10.2
MES [t]	10630		F tot [kg/245j]	0.72	19.1	4.29	192	108.8
Eau [m <sup>3</sup> ]	46 800		>4 fois [kg/245j]	0.10	0	0.10	0	0
MES [mg/l]	227.2		>2 fois [kg/245j]	0.26	0.64	0.16	0	0
jours	189	<b>Promen- thouse 1993</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]	0.026	2.56	0.47	28.7	10.9
MES [t]	5830		F tot [kg/189j]	0.149	14.9	2.74	167	63.3
Eau [m <sup>3</sup> ]	52 600		>4 fois [kg/189j]	0	0	0.03	0.6	0
MES [mg/l]	110.83		>2 fois [kg/189j]	0	0	0.10	3.3	0.58
jours	315	<b>Foron</b> <b>1993</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]	0.034	0.73	0.29	27.4	14.0
MES [t]	3801		F tot [kg/315j]	0.129	2.8	1.11	104	53.2
Eau [m <sup>3</sup> ]	30 230		>4 fois [kg/315j]	0.01	0	0.05	0	0
MES [mg/l]	125.75		>2 fois [kg/315j]	0.02	0	0.18	0	0
jours	308	<b>Venoge</b> <b>1994</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]		8.27	0.60	79.1	146.3
MES [t]	10190		F tot [kg/308j]		84.3	6.1	806	1491
Eau [m <sup>3</sup> ]	142 000		>4 fois [kg/308j]		12	1.7	0	311
MES [mg/l]	71.8		>2 fois [kg/308j]		44	3.0	26	525
jours	301	<b>Aubonne</b> <b>1994</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]		5.37	1.00	61.3	25.2
MES [t]	3920		F tot [kg/301j]		21.0	3.9	240	98.7
Eau [m <sup>3</sup> ]	137 800		>4 fois [kg/301j]		0.2	1.3	0.2	0
MES [mg/l]	28.4		>2 fois [kg/301j]		6.1	2.3	11.3	0.2
jours	343	<b>Mercube</b> <b>1994</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]		2.53	0.83	9.9	10.6
MES [t]	52		F tot [kg/343j]		0.13	0.04	0.51	0.6
Eau [m <sup>3</sup> ]	640		>4 fois [kg/343j]		0	0.01	0	0
MES [mg/l]	81.2		>2 fois [kg/343j]		0.0151	0.02	0	0
jours	343	<b>Chambe- ronne 1994</b>	cmp [ $\mu\text{g/g}$ ]		5.89	0.81	106	63.7
MES [t]	1 202		F tot [kg/343j]		7.08	1.0	127	76.6
Eau [m <sup>3</sup> ]	29 020		>4 fois [kg/343j]		0.01	0.23	0	0
MES [mg/l]	41.4		>2 fois [kg/343j]		2.43	0.48	17	0.40

MES : matières en suspension

Eau : eau brute en m<sup>3</sup>cmp : concentration moyenne pondérée en  $\mu\text{g}$  de polluant par g de MES

F tot : flux total en kg par an ou par période suivie

&gt;4 : dépassements de plus de 4 fois le flux naturel (kg par an ou par période)

&gt;2 : dépassements de plus de 2 fois le flux naturel (kg par an ou par période).