Zeitschrift: Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 35 (1982)

Heft: 1

Artikel: Mise en évidence de contaminations polymétalliques dans les rivières par analyse des sédiments : une étude méthodologique

Autor: Bouvier, Jean-Denis / Jaquet, Jean-Michel / Vernet, Jean-Pierre

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-740547

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Arch. Sc. Genève	Vol. 35	Fasc. 1	pp. 23-40	1982

MISE EN ÉVIDENCE DE CONTAMINATIONS POLYMÉTALLIQUES DANS LES RIVIÈRES PAR ANALYSE DES SÉDIMENTS: UNE ÉTUDE MÉTHODOLOGIQUE

PAR

Jean-Denis BOUVIER, Jean-Michel JAQUET[1] et Jean-Pierre VERNET[1]

ABSTRACT

The purpose of this study is to define different strategies of geochemical stream sediment sampling depending on the target settled: investigation of geochemical contaminations, pollution levels survey or study of geochemical associations. An attempt has been made to evaluate the dependence of the heavy metal content on both the grain size and the discharge of the river. In addition, the representativity of the data has been statistically evaluated with regards to their significance and suggests possible interpretations according to the location and date of sampling.

In conclusion, geological factors (lithology of the drainage basin) and sedimentological factors (erosion vs. deposition and discharge) lead to a classification of the streams within which a specific sediment sampling strategy can be applied.

RÉSUMÉ

Le but de cette étude est de formuler différentes stratégies de l'échantillonnage géochimique des sédiments de rivières selon les problèmes que l'on veut étudier: dépistage de contaminations géochimiques ponctuelles ou diffuses, contrôle du taux de pollution des rivières ou étude des associations géochimiques dans les sédiments. Les influences de la granulométrie et du débit sur les teneurs en métaux lourds du sédiment au moment de l'échantillonnage ont été évaluées. D'autre part, une analyse statistique a permis d'étudier la représentativité de ces teneurs en fonction du lieu et de la date de prélèvement. En conclusion, les facteurs géologiques (lithologie du bassin versant) et sédimentologie (profil du cours d'eau et débit) permettent de distinguer différentes classes de rivières à l'intérieur desquelles une stratégie commune d'échantillonnage géochimique des sédiments pourra s'appliquer en fonction des buts poursuivis.

1. INTRODUCTION

Cette étude, constituant le résumé du travail de diplôme de l'un de nous (BOUVIER, 1979), a pour but essentiel la formulation d'une stratégie pour l'échantillonnage géochimique des sédiments des rivières en vue de mettre en évidence les points suivants:

— Associations géochimiques dans les sédiments.

[1] Institut F.-A. Forel — 10, rte de Suisse — CH 1290 VERSOIX

— Influence de la granulométrie de la fraction analysée sur les teneurs en métaux lourds et nutrients.
— Evaluation de l'effet du débit sur la valeur des paramètres étudiés.
— Représentativité des échantillons prélevés au cours d'une campagne géochimique en rivière.

2. STRATÉGIE ET MÉTHODES

Deux cours d'eau, chacun représentatif d'un régime sédimentologique différent, ont été choisis:

— Le Rhône, fleuve à régime plus ou moins constant, est caractérisé par un débit moyen élevé (279 m^3/sec., 1977). Le secteur étudié est situé à 3 km en aval du lac Léman, de la station d'épuration d'Aïre jusqu'au barrage de Verbois.
— La Venoge, rivière dont le régime peut varier rapidement dans le temps, est caractérisée par un débit moyen faible (4,62 m^3/sec., 1977). La Venoge s'écoule dans le canton de Vaud et se jette dans le Léman à la hauteur de la ville de Morges. Notre étude a porté sur l'ensemble de son cours.

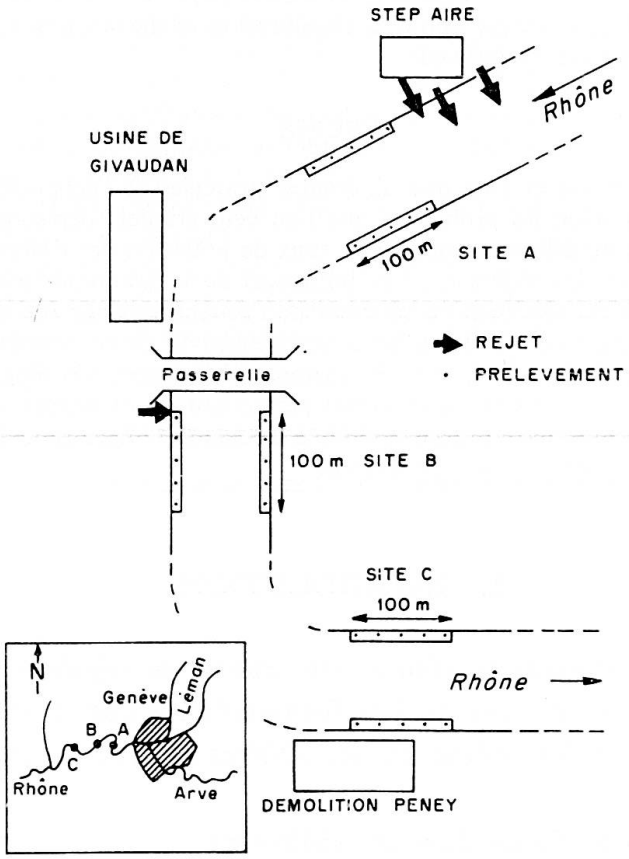

FIG. 1. — Localisation des zones de prélèvement sur le Rhône en 1977.

2.2 *Fréquence et localisation des prélèvements.*

Sur le Rhône, trois sites ont été choisis sur la base des résultats d'une campagne géochimique précédente (DAVAUD et VERNET, 1976) pour leur forte teneur en métaux lourds. Deux séries d'échantillonnages ont été effectuées, l'une au printemps, l'autre en été de l'année 1977, au cours desquelles 60 échantillons d'environ 1 kg de sédiments de surface ont été prélevés (fig. 1).

Sur la Venoge (fig. 2), cinq sites ont été choisis sur la base du même rapport (DAVAUD et VERNET, 1976: deux pour leur faible contamination, proche des teneurs naturelles du sédiment (sites 2 et 5), les trois autres pour leur forte contamination

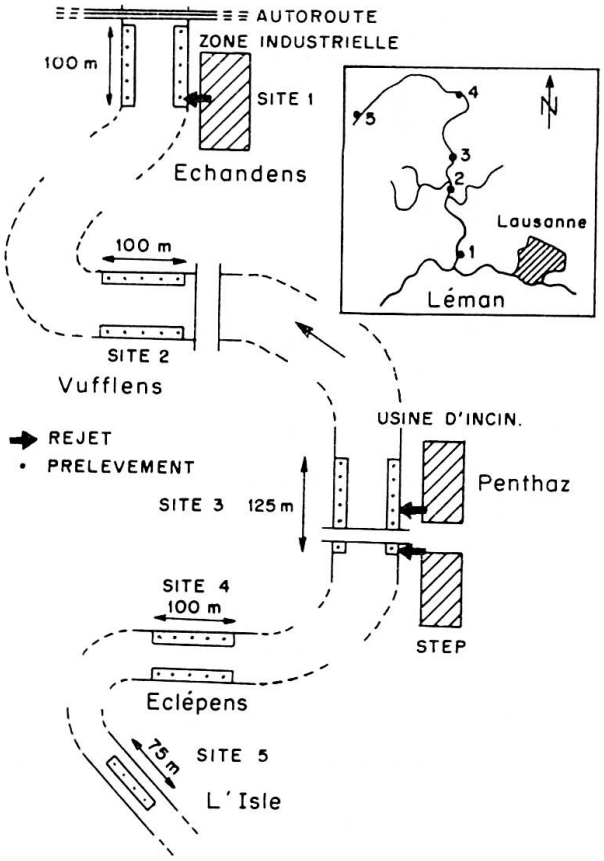

FIG. 2. — Localisation des zones de prélèvement sur la Venoge en 1977.

(sites 1, 3 et 4). Trois campagnes d'échantillonnage d'une journée chacune ont été effectuées, au printemps, en été et en automne de l'année 1977, au cours desquelles 138 échantillons semblables à ceux du Rhône ont été prélevés.

2.3. *Modes de prélèvement et méthodes d'analyse.*

Tous les échantillons, une fois ramenés au laboratoire, ont été stockés dans un réfrigérateur à une température de 4° C; puis, dans un délai de quinze jours au maximum, le traitement suivant leur a été appliqué:

1) Tamisage à 63 μm (treillis de nylon).

2) Séchage à l'étuve (40° C) de la fraction inférieure à 63 μm.

3) Broyage de 30 g de sédiment (fraction < 63 μm) en vue des analyses.

4) Granulométrie sur le solde non broyé de la fraction < 63 μm pour 20 échantillons du Rhône et 36 de la Venoge. Méthode: compteur Coulter (RAPIN, 1978).

5) Paramètres et analyses:

— Débit: sur le Rhône, mesuré au pont de la Machine à Genève et sur la Venoge à Lussery (Table 6).

— Carbone organique: dosage par voie humide en traitant le sédiment par un oxydant fort (bichromate de potassium solubilisé dans l'acide sulfurique), puis en titrant l'excès d'oxydant par un réducteur.

— Carbone inorganique: dosage du carbonate de calcium par volumétrie (JAQUET *et al.*, 1971).

— Phosphore total: dosage par colorimétrie suivant la méthode de WILLIAMS (1977).

— Hg et Cd: dosage par spectrométrie d'absorption atomique.

— Oxydes majeurs (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, CaO, Na_2O et K_2O) et mineurs (TiO_2 et P_2O_5): dosage par quantométrie d'émission (BRGM, Orléans).

— Eléments traces (Zr, Pb, Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, V, Sr, Sn, As, Ba, Mo, B et Ag): dosage par quantométrie d'émission (BRGM, Orléans).

2.4. *Statistique.*

Les résultats ont été soumis à différents programmes d'usage courant: calcul des coefficients de corrélation, diagrammes x/y, calcul des paramètres de la droite de régression, normalité des distributions. Le programme ORDIN (DAVAUD, 1976) nous a permis de produire l'expression graphique d'une matrice de coefficients de corrélation (fig. 3 et 5).

3. RÉSULTATS

3.1. *Associations géochimiques et supports des métaux lourds.*

3.1.1. *Généralités.*

Pour tenter d'expliquer les différentes associations géochimiques dans les sédiments, on est encore réduit à formuler des hypothèses. Tout au plus sait-on que la

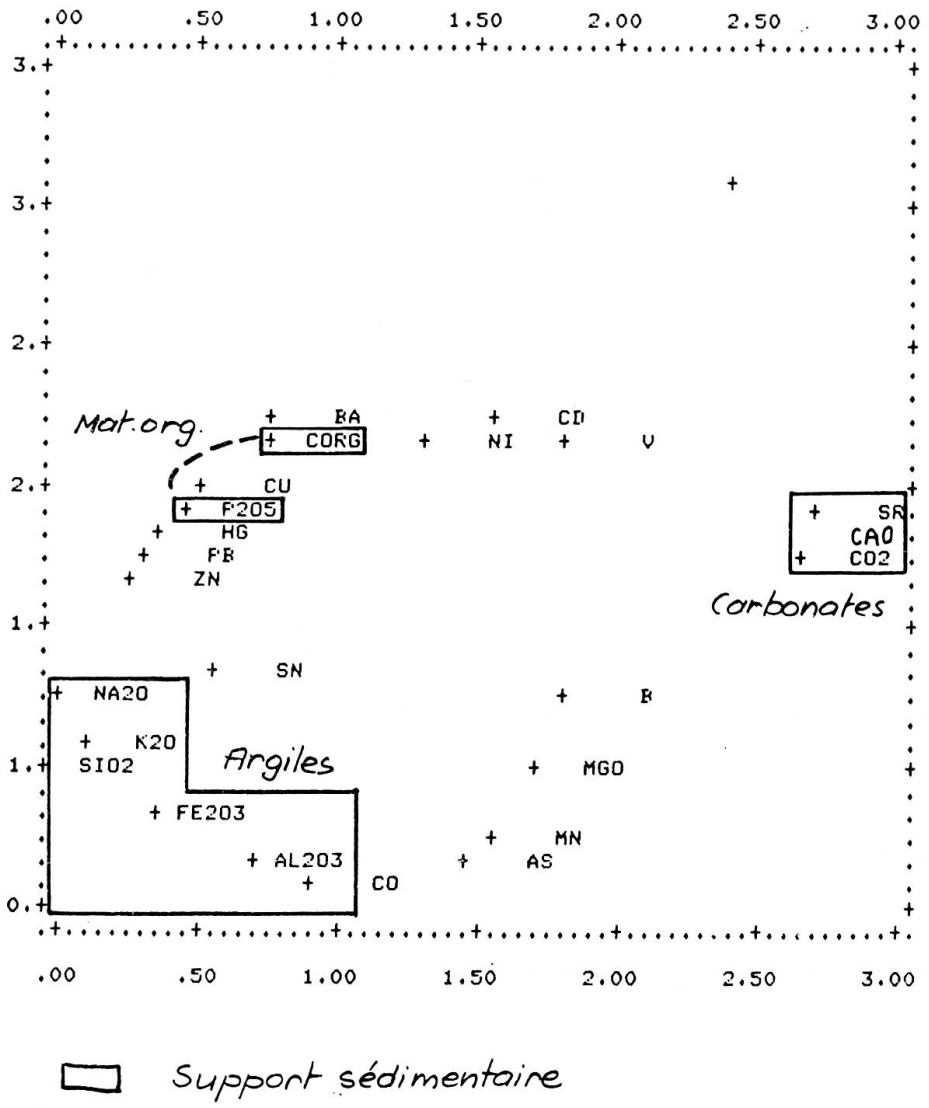

FIG. 3. — Diagramme d'ordination des variables. Rhône, 1977. Ensemble des données.

matière organique, les phosphates et les argiles jouent un rôle prépondérant. La nature du support peut déterminer le type d'association et son évolution au cours de la diagenèse; cependant, l'absence de modifications géochimiques lors du passage au milieu naturel peut être totale si les métaux lourds sont déjà fixés à un support stable (FÖRSTNER et MÜLLER, 1974; VIEL *et al.*, 1977; JAQUET *et al.*, 1981).

3.1.2. *Rhône.*

Le diagramme de la figure 3 pour l'ensemble des données recueillies sur le Rhône en 1977 permet la mise en évidence de deux associations de métaux lourds: l'une liée au support « matière organique » (Zn, Pb, Hg, Cu, Ba, Ni, Cd et V) et l'autre

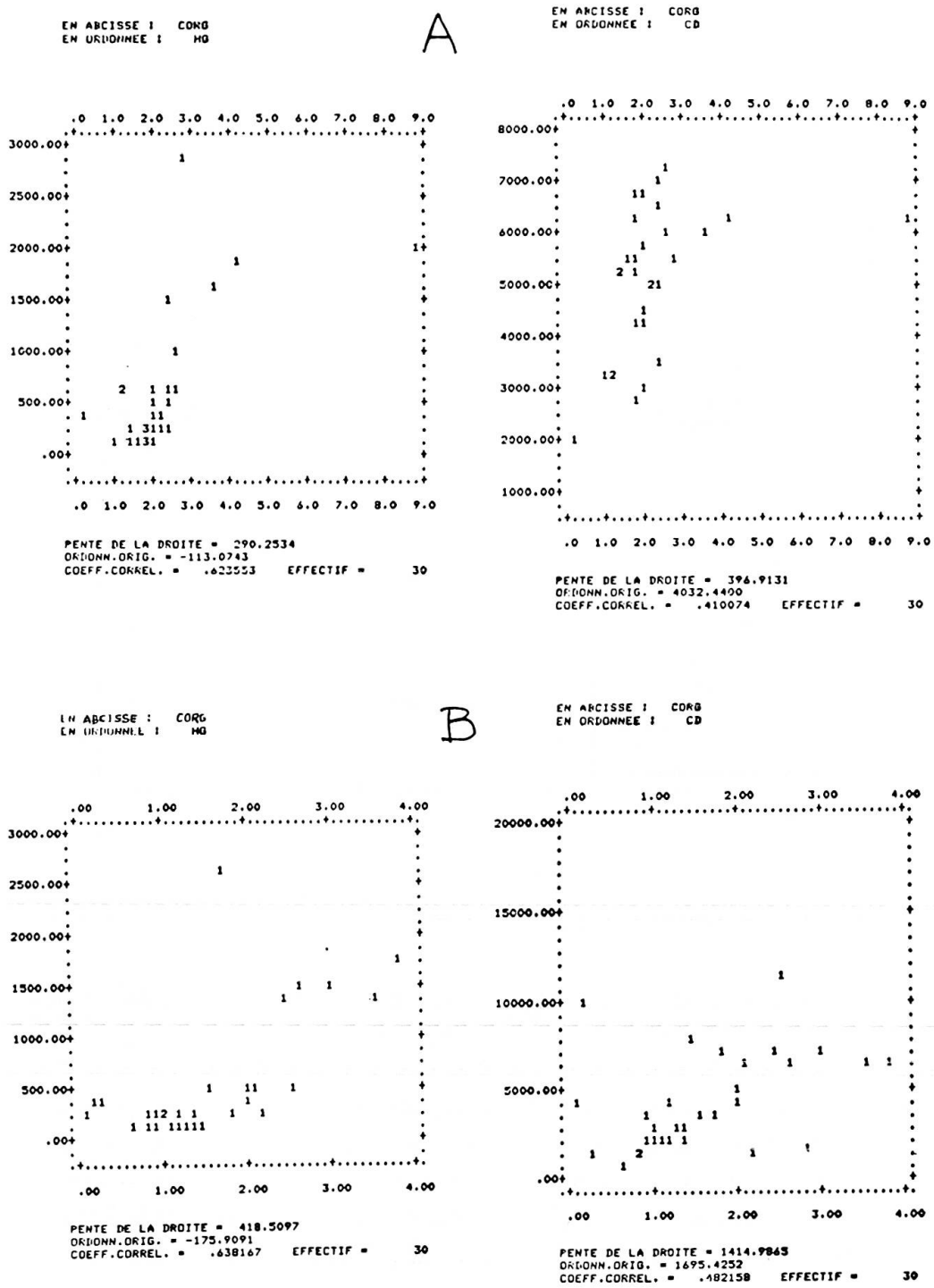

FIG. 4. — Relations entre le carbone organique, le mercure et le cadmium dans les sédiments du Rhône. A: mai 1977. B: août 1977.

au support « argiles » (Co, As, Mn, B et Sn). En outre, on peut noter que certaines relations manifestes entre métaux lourds et matière organique (fig. 4A et B) subsistent d'une campagne d'échantillonnage à l'autre, témoignant de la continuité des processus déterminant les associations géochimiques.

3.1.3. *Venoge.*

Le diagramme de la figure 5 pour l'ensemble des données recueillies sur la Venoge en 1977 se révèle plus difficile à interpréter car la plupart des métaux lourds occupent des positions intermédiaires par rapport à leurs supports potentiels. Cette situation traduit l'existence de modes de fixation divers dont chacun peut être, tour à tour, dominant (DAVAUD *et al.*, 1977). Il serait dangereux de dégager des associations géochimiques précises de ce diagramme. Nous avons en effet noté l'existence de populations à l'intérieur desquelles certains paramètres (C org, P tot, Hg et Cd) sont corrélés d'une certaine manière et d'autres pour lesquelles ces relations sont

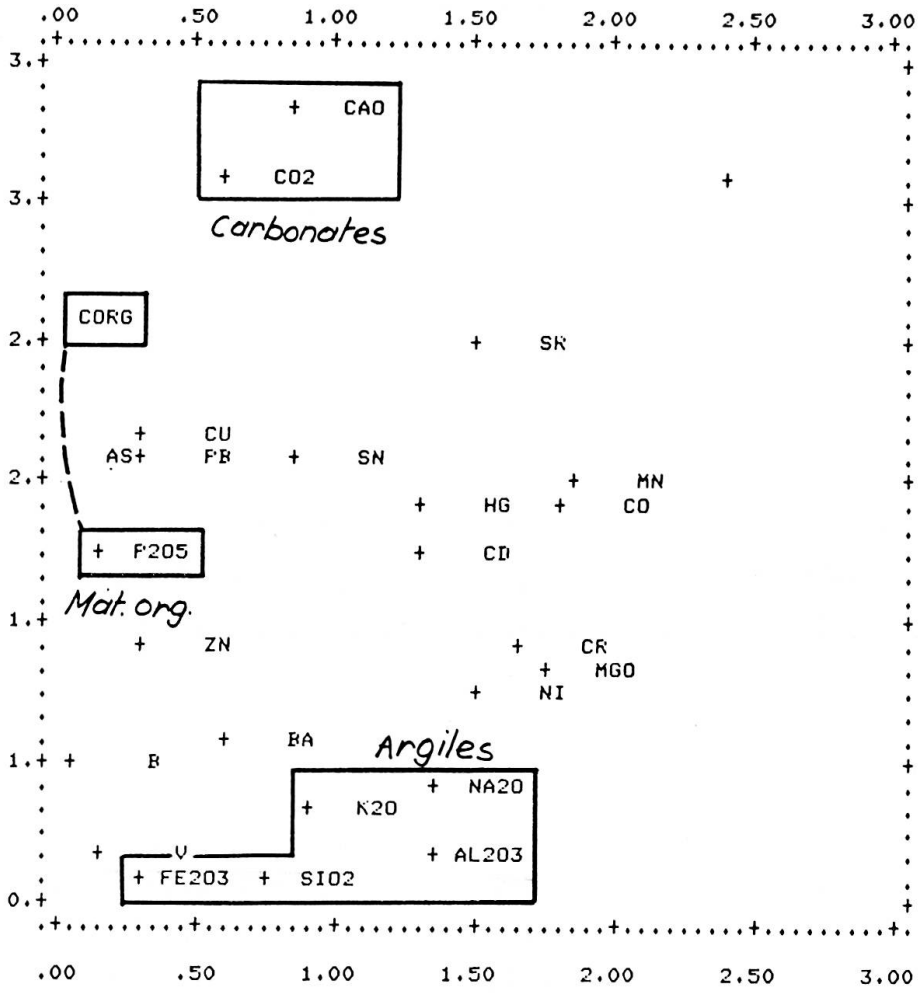

FIG. 5. — Diagramme d'ordination des variables. Venoge, 1977. Ensemble des données.

complètement opposées. Tout porte à croire que ces populations correspondent à des entités géographiques et temporelles caractérisées par des associations géochimiques qui leur sont propres.

Il s'agit donc d'individualiser ces « sous-ensembles »; trois critères le permettent:

— le site;
— la rive;
— la date d'échantillonnage.

On ne considèrera que les paramètres C org, P tot, Hg et Cd, car ils ont été analysés sur l'ensemble des prélèvements; mais des variations du type d'association ont également été constatées pour d'autres métaux lourds: Mo, Ag, Cu, Zn, Pb, Sr et Ag.

3.1.3.1 *Venoge — Mai 1977 — Echandens (site 1).*

Les critères déterminant l'homogénéité de cette population sont les suivants:

— le site;
— la date d'échantillonnage.

Comme il n'y a pas de rejet localisé sur le site, les deux rives sont contaminées également. L'analyse de la matrice de coefficients de corrélation (Table 1) indique une forte tendance pour le Hg et le Cd à se corréler avec le phosphore.

3.1.3.2 *Venoge — 1977 — Station d'épuration de Penthaz (site 3).*

Les facteurs d'homogénéité des populations étudiées sur ce site sont les suivants:

— le site;
— la date d'échantillonnage;
— la rive.

L'analyse des trois populations ainsi distinguées (Table 2 a, b, c) révèle les tendances multiples et souvent opposées des relations entre les métaux lourds et leurs supports potentiels qu'une approche globale (Table 2, d) regroupant l'ensemble des données pour l'année ne permet pas de cerner.

3.2 *Granulométrie.*

Nous avons vérifié la normalité de la distribution des diamètres sur le Rhône et sur la Venoge, puis appliqué un test statistique (t de Student) nous indiquant que le diamètre moyen des particules de la fraction analysée ($< 63\ \mu$) des échantillons du Rhône et de la Venoge (Table 3) ne diffèrent pas significativement. En outre, aucune relation n'est apparue entre la dimension des particules et la composition chimique des sédiments.

En conclusion nous pouvons affirmer que le choix de la fraction $< 63\ \mu$ pour les analyses géochimiques est judicieux. En effet, le diamètre moyen des particules ainsi que leur répartition dans les subdivisions granulométriques à l'intérieur de la fraction inférieure à $63\ \mu$ sont semblables pour tous les prélèvements. Ainsi, les effets de la granulométrie sur les teneurs en métaux lourds du sédiment à l'intérieur de cette fraction sont pareils. On peut donc comparer les résultats obtenus sur l'ensemble des échantillons sans tenir compte de leur granulométrie.

3.3 *Effets du débit sur la valeur des paramètres analysés.*

3.3.1. *Rhône.*

On note quelques différences entre les moyennes de certains éléments (P tot, C org, Hg, Cd) lors des prélèvements de printemps et d'été (Table 4). Nous pouvons expliquer cette différence par la période de basses eaux qui a précédé la date du premier échantillonnage, mais il faut cependant remarquer que ces variations sont peu significatives, particulièrement si l'on se réfère aux écarts-type et qu'elles n'affectent que les éléments mentionnés ci-dessus.

3.3.2. *Venoge.*

La valeur moyenne mensuelle du débit n'a pas ou peu d'influence sur la contamination en métaux lourds des sédiments. Par contre, l'étude des débits journaliers (Table 5) rend compte des augmentations subites du débit dues aux orages; l'importance de ce phénomène (lessivage) sur les teneurs en métaux lourds est évidente (Table 6). Lors des prélèvements des mois de mai et d'août une crue a lavé les sédiments accumulés en période d'étiage, remis en suspension puis évacués les métaux lourds et leurs supports. En novembre, les fortes teneurs en Hg et Cd (respectivement 22 000 et 80 000 ppb, station d'épuration de Penthaz) s'expliquent par la longue période d'étiage (2 mois) qui a précédé le prélèvement.

3.4. *Effet de rive.*

Comme RIBORDY (1978) l'avait déjà amplement démontré, l'analyse des différents résultats obtenus prouve que le choix de l'emplacement du lieu de prélèvement sur une rive ou l'autre influence les valeurs des variables analysées. On peut illustrer ce concept par les résultats obtenus sur le site de Penthaz (fig. 6), où les concentrations en mercure sont très différentes sur les deux rives. La distance du rejet à partir de laquelle l'effet de rive ne se fera plus sentir dépendra du débit, des dimensions de la rivière, de la quantité du produit rejeté, ainsi que de la topographie du lit et de la morphologie du cours d'eau.

3.5. *Représentativité des valeurs obtenues pour les métaux lourds.*

Tentons maintenant d'évaluer la signification des teneurs en métaux lourds du sédiment. Pour ce faire, nous avons déjà suggéré d'individualiser des populations

de données au moyen de trois critères: le site, la rive, la date d'échantillonnage (voir 3.1.3.). Il s'agit maintenant d'étudier la représentativité des valeurs obtenues pour chacune de ces populations et donc de voir si le prélèvement de plusieurs échantillons sur chaque rive d'un même lieu de prélèvement se justifie.

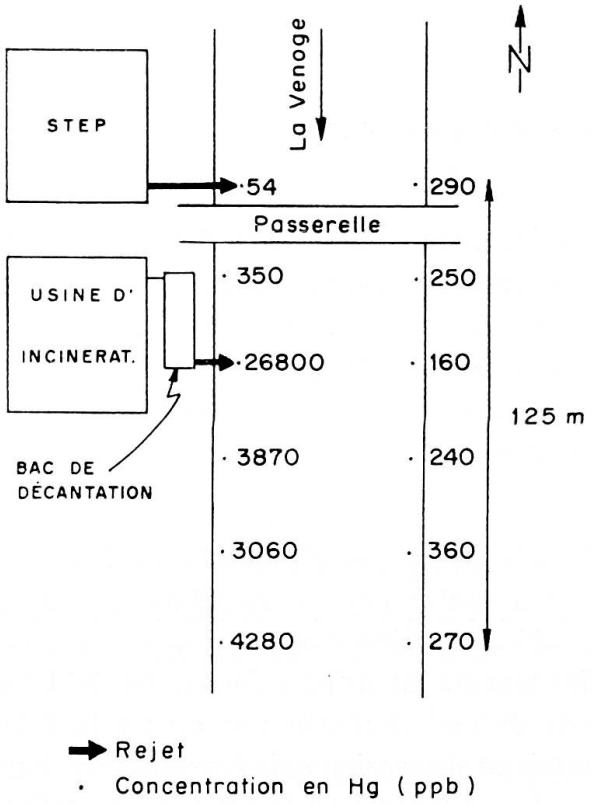

FIG. 6. — Effet de rive sur la concentration en mercure du sédiment. Venoge, site de Penthaz, novembre 1977.

Il nous est apparu que si le coefficient de variation CV_b des teneurs obtenu à partir de plusieurs échantillons prélevés sur un même site est plus grand que le coefficient de variation globale CV_a, alors, un seul prélèvement n'aurait pas été représentatif de l'endroit où il a été récolté, ce qui justifie la stratégie d'échantillonnage multiple que nous avons adoptée. En analysant les données des tables 7 et 8, on se rend compte que l'application de cette stratégie s'avère indispensable lors de prélèvements proches d'une source de pollution importante, alors que plus loin l'effet de dilution homogénéise les anomalies et diminue leur variabilité.

8. CONCLUSIONS

Le but de ce travail n'est pas d'évaluer quantitativement ou qualitativement le type de pollution dont le Rhône ou la Venoge sont victimes, mais de mettre en évidence certains points concernant la méthodologie de l'échantillonnage géochi-

mique des rivières en fonction du type d'étude que l'on se propose d'entreprendre. Nous avons constaté que sur certaines rivières, on ne peut considérer l'ensemble des données accumulées au cours d'une campagne de prélèvement pour tirer des conclusions quant au type d'associations géochimiques ou évaluer puis comparer la gravité d'une contamination sans tenir compte de plusieurs facteurs.

Tout d'abord, nous avons été conduits à étudier uniquement des populations homogènes définies par la rive, le lieu et la date de prélèvement, car toute modification de l'un de ces paramètres peut déterminer de nouvelles associations géochimiques. Il est évident que les valeurs des paramètres mesurés varieront considérablement en fonction de la distance au rejet. Quant à l'importance de la date des prélèvements, elle est directement liée aux variations du débit. Cette relation est plus ou moins étroite selon la modalité de l'action des eaux courantes: érosion, transport ou sédimentation. Sur la Venoge, en période de crue, les sédiments accumulés à l'étiage sont remobilisés et lessivés. L'influence du débit sur le degré de contamination du sédiment est considérable pour ce type de rivière. Par contre, sur le Rhône, la zone étudiée est caractérisée par un fort taux de sédimentation, le barrage de Verbois ayant modifié le profil du lit (nécessité d'une vidange périodique). Les crues ne remobilisant pas ou peu les sédiments, ces derniers sont donc prélevés tels qu'ils se sont déposés. L'étude géochimique d'un cours d'eau semblable peut ne pas tenir compte du débit de la période d'échantillonnage et s'apparenter, dans une certaine mesure, à l'étude d'un lac.

Ensuite, la granulométrie de la fraction inférieure à 63 μ ne diffère pas significativement pour l'ensemble des prélèvements effectués sur le Rhône et la Venoge; son influence sur les teneurs en métaux lourds du sédiment est ainsi équivalente. On peut donc procéder à des comparaisons.

Enfin, en ce qui concerne la représentativité des analyses géochimiques, le prélèvement de plusieurs échantillons sur le même site s'avère indispensable, notamment à proximité de rejets polymétalliques importants.

9. PROPOSITIONS DE STRATÉGIES POUR L'ÉCHANTILLONNAGE GÉOCHIMIQUE EN RIVIÈRE

On peut faire les recommandations suivantes, en fonction des objectifs imposés:

1. Dépistage des principaux points de contamination:

   En période de basses eaux si possible, repérer les rejets et prélever sur une distance de 20 m en aval au moins 5 échantillons.

2. Surveillance du taux de pollution d'une rivière:

   En période de hautes eaux si possible (à cause de l'effet homogénéisant du débit), prélever d'année en année, sur les mêmes sites répartis tout

au long du cours d'eau, environ 3 échantillons distants de 10 m, sur chaque rive.

3. Etude des associations géochimiques dans les sédiments (relations entre les métaux-traces et leurs supports):

   En période de basses eaux si possible, prélever sur la rive où sont localisés les points de contamination au moins 15 échantillons espacés de quelques mètres.

Ces quelques remarques s'appliquent plus particulièrement à l'étude de rivières au débit plus faible ou comparable à celui de la Venoge (environ 5 m^3/sec. de moyenne annuelle).

Remerciements

Les données ayant servi de base à ce travail ont été récoltées sous l'égide de la Commission franco-suisse pour la Protection des Eaux du Léman contre la Pollution. Nous remercions cet organisme de son soutien.

Nous sommes reconnaissants à M. Chevalley, P.-Y. Favarger, M. Viel et P. Zbinden pour leur efficace collaboration.

BIBLIOGRAPHIE

Bouvier: cf. p. 14.

Davaud, E. (1976). Ordin, programme d'expression graphique. Doc. interne, Lab. Limnogéol, Genève.

Davaud, E. et J.-P. Vernet (1976). Recherches des métaux lourds dans les sédiments des affluents du Léman et leur réseau hydrographique. Rapport annuel de la Com. int. Protect. Eaux Léman, p. 254-270.

Davaud, E., F. Rapin et J.-P. Vernet (1977). Contamination des sédiments côtiers par les métaux lourds. Rapport annuel de la Comm. int. Protect. Eaux Léman, p. 189-211.

Förstner, U. et G. Müller (1974. Schwermetalle in Flüssen und Seen. Ed. Springer, Berlin, 225 p.

Jaquet, J.-M., J.-P. Vernet et J.-M. Ferrari (1971). Détermination quantitative par volumétrie de la calcite et de la dolomie dans les roches. Arch. Sci. (Genève), 24/2, p. 259-284.

Jaquet, J.-M., F. Rapin, E. Davaud et J.-P. Vernet (1982). Géochimie des sédiments du Léman. A paraître dans Matér. Carte géol. Suisse, Sér. Hydrol.

Rapin, F. (1978). Protocole d'utilisation du compteur Coulter. Doc. interne, Lab. Limnogéol., Genève.

Ribordy, E. (1977). Le Rhône amont et ses affluents. Rapport annuel de la Comm. int. Protect. Eaux Léman, p. 179-188.

Viel, M., E. Davaud et J.-P. Vernet (1977). Contamination par les métaux lourds des sédiments de quelques affluents du Léman et des principales rivières du canton de Genève. Rapport annuel de la Comm. int. Protect. Eaux. Léman, p. 158-178.

Williams, J. (1977). Protocole d'analyse des formes du phosphore. Doc. interne, Lab. Limnogéol., Genève.

Bouvier, J.-D. (1979). Méthodologie de l'échantillonnage géochimique en rivière. Diplôme d'ingénieur-géologue, Université de Genève, 26 p.

TABLE 1

Corrélations entre les variables : Echandens, mai 1977

	Hg	Cd	C org	P tot
Hg	—	.63	.02	.80
Cd	.63	—	.16	.78
C org	.02	.16	—	.41
P tot	.80	.78	.41	—

n: effectif
r_s: limite de signification de r pour p = 0,05
n = 5
r_s = 0,63

TABLE 2

Corrélations entre les variables : Penthaz, 1977

A Mai
Rive droite

r	Hg	Cd	C org	P tot
Hg	—	.41	.58	.89
Cd	.41	—	.12	.25
C org	.58	.12	—	.88
P tot	.89	.25	.88	—

n. = 6 r_s = 0,81

B Août
Rive droite

r	Hg	Cd	C org	P tot
Hg	—	.84	.22	.53
Cd	.84	—	.31	.54
C org	.22	.31	—	.48
P tot	.53	.54	.48	—

n = 6 r_s = 0,81

C Novembre
Rive droite

r	Hg	Cd	C org	P tot
Hg	—	.99	.63	.09
Cd	.99	—	.66	.18
C org	.63	.66	—	.27
P tot	.09	.18	.27	—

n = 5 r_s = 0,88

D Moyenne annuelle
Rive droite

r	Hg	Cd	C org	P tot
Hg	—	.89	.55	.35
Cd	.89	—	.45	.62
C org	.55	.45	—	.62
P tot	.35	.62	.62	—

n = 17 r_s = 0,49

TABLE 3

Diamètre moyen de la fraction < 63 μm

rivière	nombre éch.	diam. moy. (Φ)
Rhône	20	6.601
Venoge	36	6.522

TABLE 4

Valeurs moyennes des variables analysées sur le Rhône en 1977

		Mai		Août	
Variables	Unités	m	s	m	s
SiO_2		44.0	3.6	48.0	2.7
Al_2O_3		7.8	.5	7.9	.7
Fe_2O_3		4.5	.3	5.1	.6
MgO	%	3.1	.1	3.0	.3
CaO		35.2	4.9	29.7	4.2
Na_2O		1.6	.5	2.2	.5
K_2O		3.6	.5	4.0	.3
TiO_2	——	3 592.8	185.9	3 907.1	377.1
P_2O_5	ppm	1 397.1	558.2	1 275.7	594.1
CO_2	%	22.6	5.6	20.4	7.1
C org	——	2.3	1.4	1.6	.9
Zr	ppm	200.0	31.8	231.4	53.3
Pb	——	123.6	71.9	124.2	76.3
Hg	ppb	567.6	679.5	497.3	613.0
Mn	——	997.8	103.4	857.8	138.1
Cu		102.4	40.5	85.1	48.9
Zn	ppm	125.7	38.5	134.1	38.5
Ni		85.2	9.2	82.9	19.2
Co		14.9	1.7	19.5	5.3
Cr	——	184.2	8.5	177.1	28.1
Cd	ppb	4 963.3	1 412.9	3 971.6	2 743.2
V	——	129.2	9.1	122.1	12.5
Sr		719.2	79.5	619.2	87.5
Sn		47.5	15.1	45.9	17.9
As		37.2	11.3	47.1	19.7
Ba	ppm	464.2	67.7	450.7	74.0
B		146.9	22.1	136.0	24.7
Ag		3.5	2.2	3.9	3.2
P tot		1 176.1	443.1	980.6	289.2
Silt	——	84.4	3.7	84.3	3.9
Argile	%	15.5	3.7	15.7	3.9
Diam. moy.	——	6.6	.1	6.5	.2
Ec. type		1.2	.1	1.2	.1
Asymétr.	phi	.2	.1	.3	.1
Aplatis.		− .1	.3	− .1	.2

m: moyenne s: écart-type

TABLE 5

Débits journaliers de la Venoge à Lussery en 1977

VENOGE - LUSSERY — DEBITS PROVISOIRES POUR 1977 EN M3/S

JOUR	JANV.	FEVR.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	3.12	6.65	6.62	3.13	20.5 +	2.97	3.36	11.9 +	1.83	.73	1.05	2.71
2	4.62	5.62	6.05	3.64	15.0	2.65	2.64	6.60	2.25+	.72	1.27	2.47
3	3.50	4.95-	5.72	8.58	12.1	2.43	2.12	3.97	1.81	.74	1.32	2.28
4	2.94	5.39	6.24	7.40	10.1	2.23	1.91	2.97	1.55	.79	1.40	2.16
5	2.66	16.8	8.30	4.43	8.72	2.09	6.17	2.54	1.42	.72	1.73	2.06-
6	2.50	22.5	7.01	3.49	6.16	2.06	3.58	2.25	1.33	.69	1.43	2.11
7	2.36	23.0	6.02	3.68	4.95	1.94	2.66	2.11	1.23	.70	1.19	2.24
8	2.24	17.9	6.72	4.20	4.65	2.48	7.94	1.90	1.15	.76	.99	3.10
9	2.16	22.4	8.17	3.64	4.62	3.04	16.4 +	1.74	1.09	.86	.86	11.3
10	2.12	32.3 +	8.54+	3.19	4.92	2.81	14.0	1.62	1.07	1.23	.80	8.09
11	2.10	28.1	7.85	2.84	5.38	2.37	8.22	1.52	1.06	1.33	.76	5.86
12	2.00	20.0	7.22	2.62	7.36	2.03	5.05	1.46	1.03	1.09	.72-	6.01
13	1.79	15.2	5.31	2.52-	13.3	1.91	4.11	1.38	1.00	.91	.83	7.77
14	1.82	12.1	4.75	5.27	10.1	1.88	3.54	1.35	.98	.81	1.30	5.70
15	1.85	10.1	4.31	4.50	7.42	1.95	3.07	1.28	.97	.75	14.2 +	4.77
16	1.79	8.48	4.10	3.46	5.87	2.06	2.61	1.23	.94	.70	11.8	4.15
17	1.69	8.42	4.41	3.22	6.27	1.85	2.30	1.20-	.89	.69	7.32	3.69
18	1.66-	8.64	5.62	3.05	5.79	1.71	2.14	1.71	.86	.67	5.04	3.37
19	1.68	8.13	4.44	3.14	5.04	1.77	1.98	1.83	.83	.65	3.85	3.11
20	1.66-	9.95	3.95	3.14	4.88	1.66-	1.83	1.91	.82	.64	3.29	2.82
21	1.67	19.1	3.57	3.09	4.32	2.39	1.76	2.16	.77	.64	6.46	2.71
22	1.71	14.6	3.30-	3.21	4.76	2.59	1.64	2.21	.76-	.63	6.36	2.56
23	3.83	12.9	3.45	5.86	4.33	2.45	1.54	2.25	.76-	.62-	4.61	2.60
24	5.23	10.7	4.13	8.29	3.89	2.27	1.47	1.96	.78	.64	4.58	4.41
25	8.69	13.1	3.83	10.7	3.49	2.74	1.47	1.73	.88	1.23	6.77	13.0 +
26	34.4 +	10.3	4.26	9.81	3.39	3.03	1.48	1.57	.81	4.50+	4.91	10.2
27	23.5	8.74	5.94	9.25	9.25	2.94	1.43-	2.40	.79	2.57	4.07	6.47
28	14.4	7.51	6.76	8.56	6.24	2.65	1.47	3.30	.76-	1.73	3.56	6.68
29	13.0		6.02	15.6 +	4.27	2.34	1.71	2.69	.76-	1.48	3.20	6.38
30	9.98		4.14	15.2	3.67	3.26+	2.12	2.56	.76-	1.25	2.91	4.90
31	7.88		3.55		3.38-		10.3	2.15		.97		4.14
MOYENNES MENS.	5.50	13.7 +	5.49	5.62	6.90	2.35	3.93	2.49	1.06	1.04-	3.61	4.83

MOYENNE ANNUELLE 4.65 M3/S

OFFICE FED. DE L'ECONOMIE HYDRAULIQUE

TABLE 6

Valeurs moyennes des variables analysées sur la Venoge en 1977

	Mai		Août		Novembre	
Variables	m	s	m	s	m	s
SiO_2	45.0	3.0	47.5	3.2		
Al_2O_3	7.2	.6	7.0	.5		
Fe_2O_3	4.6	.3	5.3	.3		
MgO	3.2	.3	8.3	.4		
CaO	35.5	4.2	32.1	4.2		
Na_2O	1.3	.2	1.3	.2		
K_2O	2.9	.4	3.2	.2		
TiO_2	3 617.8	270.8	3 935.7	314.1		
P_2O_5	1 164.2	288.8	1 245.3	178.4		
CO_2	23.4	4.0	22.0	4.5	21.0	5.8
C org	2.5	.8	2.5	.8	2.0	0.8
Zr	270.0	38.6	286.4	54.2		
Pb	198.0	213.7	181.8	80.3		
Hg	278.2	152.1	216.7	90.4	1 085.5	4 020.8
Mn	1 217.5	158.7	1 209.2	175.5		
Cu	33.6	213.4	259.5	173.1		
Zn	149.8	56.6	162.8	40.0		
Ni	106.0	22.6	113.0	21.6		
Co	23.7	7.1	21.8	4.1		
Cr	198.1	27.6	198.5	26.7		
Cd	1 473.4	1 079.8	1 757.1	1 101.7	4 633.0	
V	112.5	12.8	134.6	9.8		
Sr	596.7	73.5	546.7	91.3		
Sn	92.9	34.2	48.5	21.2		
As	131.7	566.1	30.4	11.3		
Ba	458.2	87.5	496.4	88.2		
B	129.6	46.8	139.0	37.4		
Ag	1.0	1.1	1.2	.9		
P tot	1 010.5	145.7	1 007.1	107.6	1 347.4	522.6
Silt	88.6	2.5	80.0	4.8	84.9	3.4
Argile	11.3	2.5	19.9	4.8	15.0	3.4
Diam. moy.	6.2	.1	6.7	.2	6.5	.2
Ec. type	1.2	.1	1.3	.1	1.2	.1
Assymétr.	.3	.1	.1	.1	.2	.8
Aplatis.	−.1	.7	−.4	.1	−.1	.2

Unités: voir Table 4

TABLE 7

Teneurs moyennes en Hg, Rhône 1977

Site	Mai m	Mai s	Mai C.V.b	Août m	Août s	Août C.V.b	
Step d'Aïre	578	663	115	290	176	61	rd
	92	15	16	356	617	173	rg
Givaudan	1 594	988	67	1 206	952	79	rd
	166	15	9	226	78	35	rg
Peney	394	198	50	142	75	53	rd
	582	230	39	782	556	72	rg

m	568	m	500
s	542	s	411
C.V. a	95	C. V. a	82

rd: rive droite rg: rive gauche C.V.: coefficient de variation = (s ÷ m) × 100

TABLE 8

Teneurs moyennes en Hg, Venoge 1977

Site	Mai m	Mai s	Mai C.V.b	Août m	Août s	Août C.V.b	
1. Echandens	334	138	41	234	42	18	rd
	268	116	43	272	63	23	rg
2. Vufflens	388	88	23	226	30	13	rd
	430	275	64	268	63	24	rg
3. Penthaz	370	87	24	343	87	25	rd
	218	46	21	190	77	41	rg
4. Eclépens	162	52	32	128	37	29	rd
	158	94	59	146	23	16	rg
5. L'Isle	143	50	35	100	24	24	—

m	275	m	212
s	110	s	78
C.V. a	40	C.V. a	37