

FLUX PARTICULAIRES DE QUELQUES NUTRIMENTS
ET METAUX DANS LES SUSPENSIONS DU RHONE
PRES DE SON EMBOUCHURE DANS LE LEMAN

Campagne 1988

PAR

PIERRE-YVES FAVARGER, SERGE SANTIAGO ET JEAN-PIERRE VERNET

INSTITUT F.-A. FOREL, VERSOIX

RESUME

Les flux annuels et saisonniers des sédiments en suspension dans le Rhône, ainsi que d'éléments chimiques qui leur sont liés, ont été étudiés.

L'année 1988 se caractérise par un tonnage en matière particulaire réduit en période de hautes eaux (fonte des neiges et des glaciers en été).

La proportion du phosphore total qui est sous forme facilement disponible (PINA, soit phosphore inorganique non-apatitique) est toujours faible (7.7 % contre 6.6 % en 1987 et 6.0 % en 1986), mais elle a une grande importance qualitative. Les résultats montrent que la présence du phosphore inorganique non apatitique (PINA) est liée à l'activité humaine. Cette forme, potentiellement disponible pour les algues, est un facteur d'eutrophisation.

Les flux de carbone organique ont fortement diminué en 1988, année au cours de laquelle l'érosion des sols semble avoir été plus superficielle qu'au cours des deux années précédentes. Le rapport carbone/azote (C/N), qui était très élevé en été 1987 (31) redevient normal en été 1988 (12).

En ce qui concerne le mercure, le flux annuel est redescendu à 64 kg après être monté de 109 à 286 kg entre 1986 et 1987. Les flux de cadmium restent relativement stables.

1. INTRODUCTION

Rappelons que l'eutrophisation du Léman, qui a pour conséquence l'appauvrissement progressif de ses eaux profondes en oxygène, résulte principalement d'un excès de phosphore. Cet excès provoque un développement exagéré de certains organismes (notamment les différentes formes du phytoplancton) et donc un déséquilibre écologique du milieu lacustre.

Seul le phosphore biodisponible, c'est-à-dire assimilable par les organismes vivants, joue un rôle important dans les mécanismes de l'eutrophisation. Le degré de biodisponibilité des différentes formes de phosphore que l'on rencontre dans l'eau et les sédiments peut être mis en évidence par des techniques particulières d'analyse. Ainsi, pour le sédiment, on distingue trois formes principales (WILLIAMS et al., 1976, BURRUS, 1984) qui sont, par ordre d'importance :

• PINA, phosphore inorganique non-apatitique

Cette forme est extrêmement importante car très réactive, après transformation; elle peut être à disposition des organismes vivants (biodisponibilité potentiellement élevée). Son origine est surtout liée aux activités humaines.

• POP, phosphore organique particulaire

La biodisponibilité de cette forme est faible, située entre celle des deux autres formes. En effet, la matière organique particulaire est constituée pour l'essentiel de résidus (matière morte) peu solubles et dans lesquels le phosphore a atteint son niveau d'énergie le plus bas.

• PIA, phosphore inorganique apatitique

Cette forme, contenue dans le minéral apatite, est la plus importante en quantité mais présente une biodisponibilité quasi-nulle. Elle provient essentiellement de l'érosion des roches cristallines (origine détritique naturelle) et ne joue aucun rôle dans les phénomènes d'eutrophisation par le fait de sa solubilité extrêmement réduite.

Les études de modélisation du cycle du phosphore dans le Léman, effectuées récemment (FAHRNI et RAPIN, 1985a, 1985b et 1986) se sont cependant heurtées à quelques difficultés dues à certaines lacunes dans les données disponibles, lacunes que les études sur le phosphore particulaire dans les apports devraient contribuer à combler, permettant ainsi d'améliorer la précision des modèles.

Ce travail poursuit l'étude commencée en 1986 (FAVARGER et VERNET, 1987 et 1988). Il se propose de déterminer la composition chimique des flux solides (suspensions) charriés par le Rhône en 1988, en utilisant un nombre restreint mais suffisant d'analyses de sédiment obtenu par pompage et centrifugation de l'eau brute. Les résultats de ces analyses sont mis en relation avec la teneur de l'eau en matière solide (en suspension dans l'eau), obtenue toutes les deux semaines à partir de l'échantillonneur automatique de la Porte du Scex.

Parallèlement, nous avons profité de l'occasion pour mesurer et calculer en plus du phosphore d'autres paramètres chimiques, en particulier les flux de mercure et de cadmium.

2. METHODOLOGIE

Les analyses chimiques ont été effectuées sur sept échantillons de sédiment en suspension prélevés au cours des deux régimes caractéristiques du Rhône : hautes eaux et basses eaux. La composition des matières en suspension variant peu à l'intérieur de chacun de ces deux groupes saisonniers (BURRUS, 1984), on peut, en extrapolant les concentrations sur les périodes adjacentes aux dates de prélèvement, estimer le flux annuel et les flux saisonniers pour chaque élément ou forme chimique.

En 1988, le régime des hautes eaux du Rhône a débuté relativement tôt (26 avril) et a duré 20 semaines. La figure 1 illustre les variations des débits solides et liquides, ainsi que des concentrations particulaires tout au long de l'année. Le tableau 1 récapitule les dates des hautes eaux pour les trois dernières années :

TABLEAU 1 - Régime des hautes eaux

Année	début	fin	nombre de semaines
1986	12 mai	24 septembre	20
1987	26 mai	26 octobre	22
1988	26 avril	12 septembre	20

Le point de prélèvement des 7 échantillons de 1988 se trouve désormais situé à 1.5 km de l'embouchure, il a donc été déplacé à 4.4 km en aval. Cette modification a été rendue nécessaire pour des raisons de sécurité (trafic routier sur le pont de la Porte du Scex). Le nouveau point est équivalent au précédent en ce qui concerne les débits liquide et solide, aucun affluent supplémentaire ne rejoignant le Rhône sur cette distance.

Pour chacun des échantillons, 300 à 860 litres d'eau ont été prélevés par pompage et les suspensions isolées par centrifugation en continu. Pour les analyses chimiques effectuées sur une partie de l'échantillon, la fraction fine inférieure à 63 μm a été isolée par tamisage en laboratoire, puis séchée par lyophilisation. Ces analyses sont les suivantes :

- Formes du phosphore par colorimétrie (WILLIAMS et al., 1976) : PINA, POP et PIA (voir ci-dessus pour la signification de ces formes).
- Mercure et cadmium par absorption atomique.
- Carbone inorganique (titration acide-base) et organique (oxydabilité au bichromate).
- Azote organique (KJELDAHL, 1883).

Le flux de sédiment en suspension (en tonnes) transitant par l'embouchure est estimé avec, d'une part, les débits journaliers moyens mesurés à la Porte du Scex par le Service Hydrologique National, et d'autre part les concentrations en matière particulaire dans l'eau, déterminées par filtration à l'Institut fédéral pour l'aménagement l'épuration et la protection des eaux (EAWAG). Ces concentrations proviennent d'échantillons hebdomadaires, regroupés par deux semaines (27 valeurs), l'eau brute étant prélevée en continu par l'échantillonneur automatique assujéti au débit (Porte du Scex).

Par ailleurs, les résultats d'analyses pour les 7 échantillons obtenus par pompage/centrifugation ont été utilisés pour calculer les flux par deux semaines selon le schéma de la figure 2 (flèches horizontales). Ce report tient compte, autant qu'il est possible, des deux régimes distincts de basses et de hautes eaux. Le report des concentrations en mg/kg sur les semaines proches des 7 dates de pompage permet de calculer le flux annuel et les flux saisonniers pour chaque élément ou forme chimique.

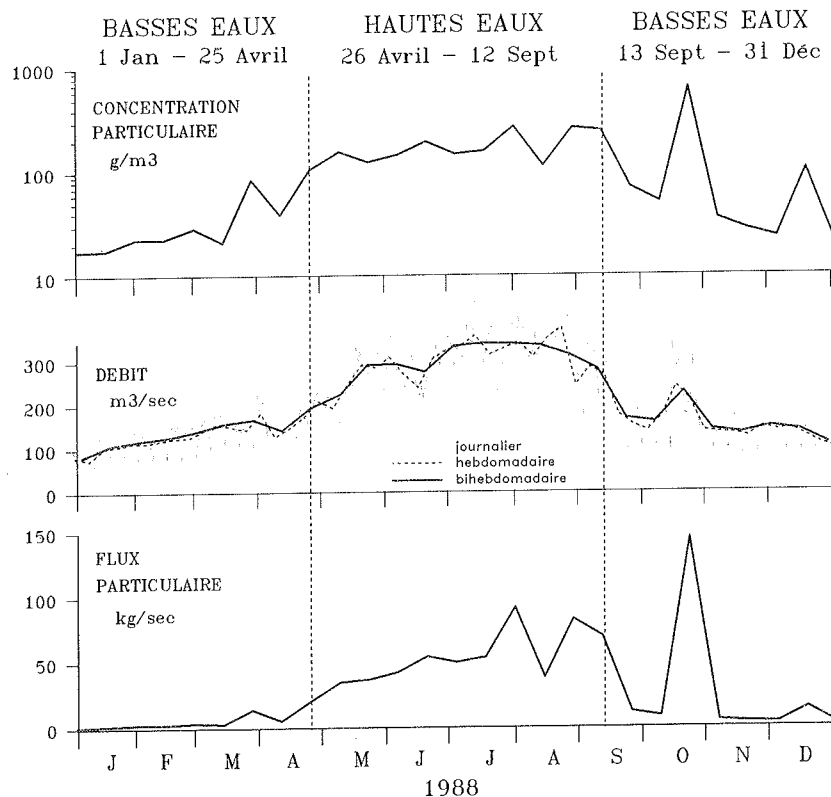


FIGURE 1 : DEBIT MOYEN, CONCENTRATION ET FLUX DE MATIERE EN SUSPENSION DANS LE RHONE AMONT EN 1988

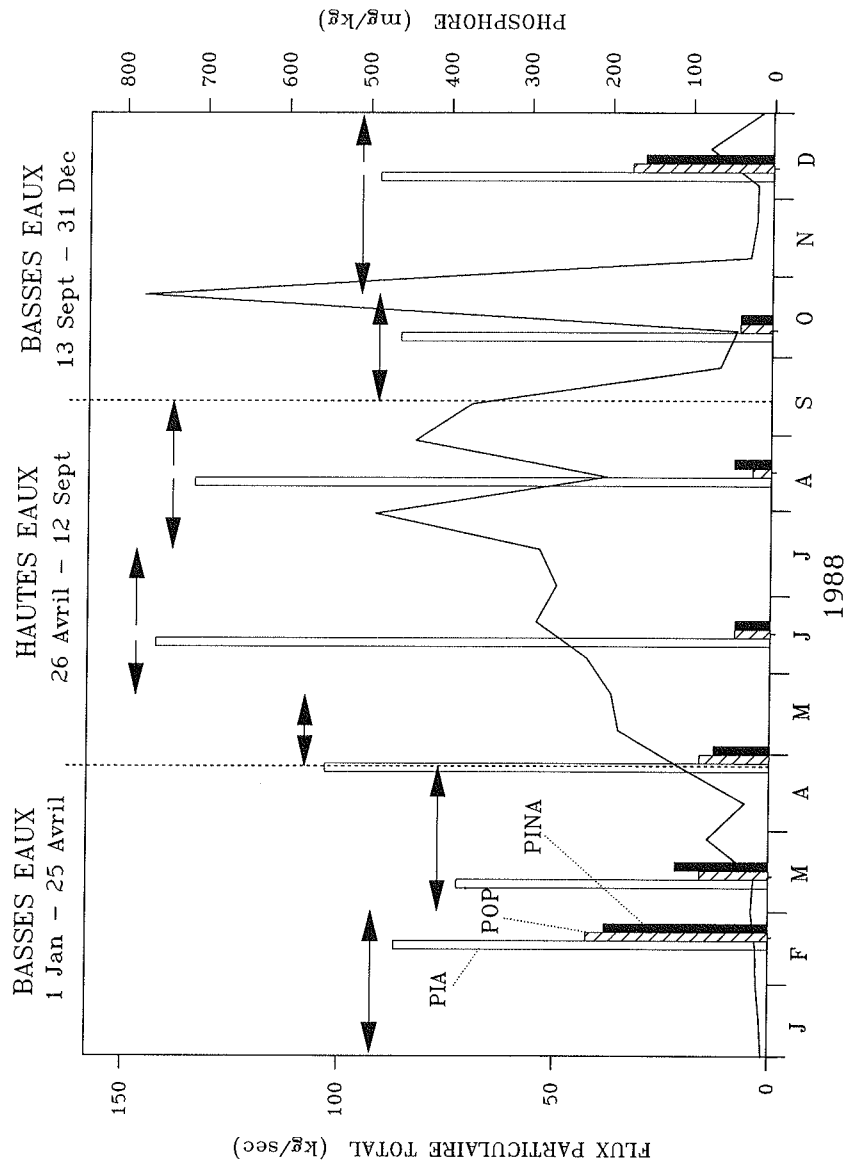


FIGURE 2 : CALCUL DU FLUX EN PHOSPHORE PARTICULAIRE DANS LE RHONE EN 1988
 SCHEMA D'APPLICATION AUX TROIS FORMES DU PHOSPHORE PARTICULAIRE
 (PINA, POP, ET PIA)

3. RESULTATS

Le tableau 2 présente l'estimation des différents flux et concentrations pour 1988. Les chiffres de "flux annuels" (totaux pour l'année et chacune des périodes basses eaux - hautes eaux) et "flux, moyenne quotidienne" (moyennes par jour pour les périodes considérées) ont été obtenus en additionnant les flux des périodes de deux semaines. Les chiffres des années 1986 et 1987 ont été rappelés, ainsi que les concentrations obtenues dans les sédiments du fond du Rhône en 1986 et en 1988 (moyenne des 5 stations avant l'embouchure : Monthey, Illarsaz, Porte du Scex, Noville, Le Bouveret : FAVARGER et VERNET, 1987 et 1989), permettant de faciliter les comparaisons. La figure 3 donne une représentation graphique de l'évolution des flux pour l'ensemble de l'année.

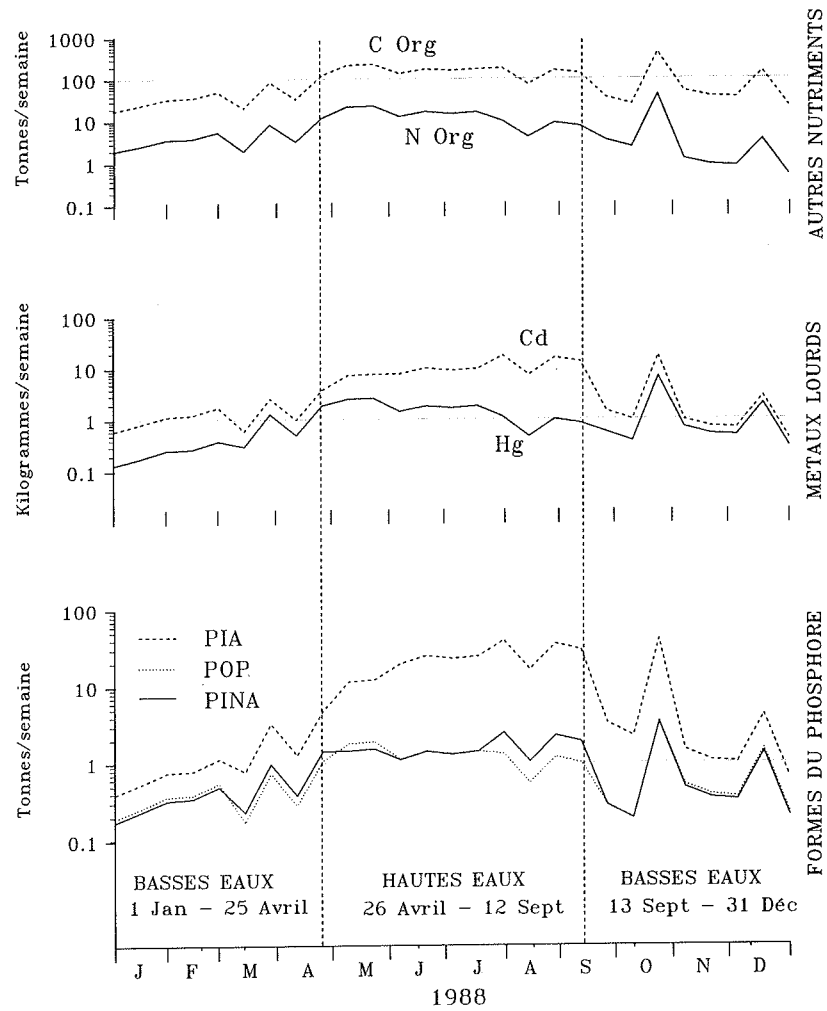


FIGURE 3 : FLUX D'ELEMENTS CHIMIQUES LIES AUX PARTICULES EN SUSPENSION DANS LE RHONE AMONT EN 1988

3.1 MATIERE PARTICULAIRE (Figure 1, tableau 2)

Il apparaît d'emblée que le flux annuel des suspensions est très inférieur à celui des deux années précédentes. Sa répartition saisonnière est moins caractéristique, le rapport (hautes eaux)/(basses eaux) étant de 3.6 en 1988, alors qu'il s'élevait à 16 en 1987 et à 18 en 1986. Une crue d'automne, survenue le 10 octobre 1988, donc en pleine période de basses eaux, explique partiellement ce phénomène. Pendant cette seule crue, 176'000 tonnes de matière particulaire ont transité par la Porte du Scex, soit 58 % du flux de basses eaux cumulé pour l'année.

La crue a commencé le même jour qu'une période de 2 semaines de prélèvement intégré; les débits rappelés en figure 1 montrent que le groupement par deux semaines des résultats (trait plein) rend encore assez bien compte de cette crue d'octobre, un groupement hebdomadaire n'aurait pas amélioré les estimations de flux dans ce cas précis (traitillé). Nous n'aurons certainement pas toujours une telle chance, et il est évident que la technique utilisée à l'EAWAG (regroupement par deux des échantillons hebdomadaires) augmente considérablement le risque d'erreur d'interprétation dans ce genre de situation.

3.2 PHOSPHORE (Figures 2 et 3, tableau 2)

Les flux de PIA, phosphore apatitique détritique provenant de l'érosion des roches, varient parallèlement à ceux de la matière particulaire, les concentrations restant relativement constantes (entre 451 et 709 mg/kg pour les trois années, quelle que soit la saison). Rappelons que cette forme inerte du phosphore ne joue aucun rôle dans l'eutrophisation du lac.

Pour le PINA (phosphore inorganique non-apatitique, forme potentiellement utilisable par les algues), la situation est différente : le flux de PINA en hautes eaux est seulement 1.5 fois plus élevé que celui en basses eaux; les chiffres en 1986 et en 1987 étaient respectivement 1.3 et 3.9. Les concentrations sont toujours supérieures en hiver (basses eaux) : 1.5 fois plus en hiver qu'en été. Si ce rapport diminue en comparaison de 1986 (8.4) et de 1987 (2.7), le flux annuel de cette forme de phosphore reste relativement constant pendant les trois années (54 tonnes en 1986, 69 en 1987 et 55 en 1988), l'augmentation en 1987 pouvant être attribuée à des conditions hydrologiques particulières. Cela est dû au caractère essentiellement artificiel de cette forme du phosphore, produite surtout par les diverses activités de l'homme contrairement au PIA dont l'origine est naturelle.

Quant à la proportion de PINA par rapport au phosphore total, elle reste faible, avec 7.7 %. Elle était de 6.6 % en 1987 et de 6.0 % en 1986.

Les chiffres concernant le POP, phosphore organique moyennement mobile, sont égaux ou inférieurs à ceux du PINA, contrairement aux deux années précédentes. Cette diminution, qui se produit surtout en hautes eaux, est à mettre en relation avec celle importante des formes organiques du carbone et de l'azote.

3.3 CARBONE ET AZOTE ORGANIQUES (Figure 3, tableau 2)

Les flux de carbone organique sont beaucoup plus bas que ceux de 1986 et 1987, tout spécialement lors des hautes eaux. L'azote organique diminue lui aussi, mais moins que le carbone. Le rapport C/N est souvent utilisé dans les lacs pour déterminer l'origine autochtone ou allochtone des sédiments, un rapport élevé révélant en principe une origine allochtone. Ainsi, MEYBECK (1985) admet une valeur de 10 pour le rapport C/N moyen dans les rivières, des chiffres inférieurs étant généralement rencontrés dans les lacs (GANDAIS, 1989). De façon plus globale, on peut dire qu'un rapport C/N élevé traduit un caractère relativement ancien ou fossile de la matière organique, la minéralisation de l'azote ayant lieu plus rapidement que celle du carbone. Ainsi on constata en 1987 un rapport C/N exceptionnellement élevé de 31 (hautes eaux). Comme nous l'avions déjà supposé l'an dernier, les pluies exceptionnelles de l'été 1987 avaient dû remettre en suspension des matières organiques déjà anciennes. En 1988 ce même rapport n'est que de 12, ce qui indiquerait une érosion plus "douce".

3.4 MERCURE ET CADMIUM (Figure 3, tableau 2)

Pour le mercure, comme ci-dessus pour la forme anthropogénique du phosphore le PINA, on constate que les valeurs de concentrations sont assez différentes en basses et en hautes eaux. Ces différences sont du même ordre qu'en 1987. Quant au flux de mercure qui avait largement doublé entre 1986 (109 kg) et 1987 (285 kg) par suite de la concentration estivale élevée, il a fortement baissé en 1988 (64 kg). Cette diminution réjouissante apparaît également dans les échantillons des sédiments du lit du Rhône. Relevons à ce sujet que ces derniers représentent déjà, contrairement aux échantillons obtenus par pompe et centrifugation, une certaine intégration dans le temps.

TABLEAU 2 - Flux et concentrations liés à la matière particulaire mesurés à l'embouchure. Chiffres annuels (B+H) et saisonniers (Basses, Hautes eaux)

Régime des eaux	F L U X A N N U E L S				F L U X Q U O T I D I E N S				C O N C E N T R A T I O N S M O Y E N N E S					
	(tonnes cumulées)		Hautes		kg/j		kg/j		mg/kg		mg/kg		mg/kg	
	B+H	Basses	Basses	Hautes	B+H	Basses	Basses	Hautes	B+H	Basses	Basses	Hautes	Basses	Hautes
MATIERE PARTICULAIRE	1432000 1596000 973000	114000 133000 302000	1318000 1463000 671000		3945000 4384000 2659000	510000 632000 1337000	9417000 9952000 4793000		38 43 56	201 103 74				
PINA	54	23	31		150	103	225						24	
PINA	69	14	55		190	65	377						38	
PINA	55	22	32		149	99	230						48	
PO	83	26	57		228	118	404						231	
PO	144	32	112		395	153	759						241	
PO	48	22	26		132	96	189						72	
PA	758	54	703		2090	244	5020						478	
PA	839	68	770		2300	326	5240						515	
PA	612	136	476		1670	603	3400						451	
CARBONE ORGANIQUE														
suspensions, 1986	11600	3230	8370		31200	14500	59800						28400	
suspensions, 1987	22900	4470	18400		62900	21300	125000						33600	
suspensions, 1988	5790	2440	3350		15800	10800	23900						8060	
AZOTE ORGANIQUE (N)														
suspensions, 1986	799	312	487		2200	1400	3480						2745	
suspensions, 1987	888	295	593		2440	1400	4040						2220	
suspensions, 1988	466	194	272		1270	856	1940						640	
MERCURE (Hg)														
suspensions, 1986	0.109	0.036	0.073		0.301	0.163	0.521						0.320	
suspensions, 1987	0.285	0.040	0.245		0.782	0.190	1.660						0.301	
suspensions, 1988	0.064	0.033	0.030		0.174	0.147	0.218						0.110	
lit du Rhône													0.241	
lit du Rhône													0.151	
CADMIUM (Cd)														
suspensions, 1986	0.278	0.054	0.224		0.766	0.241	1.602						0.473	
suspensions, 1987	0.237	0.021	0.216		0.651	0.099	1.470						0.156	
suspensions, 1988	0.288	0.077	0.212		0.788	0.399	1.512						0.253	
lit du Rhône													0.230	
lit du Rhône													0.343	
													0.289	
													0.327	
													0.170	
													0.148	
													0.315	
													0.116	
													0.251	

LEGENDE:

PINA : Phosphore potentiellement disponible
 POP : Phosphore organique, peu mobile
 PIA : Phosphore détritique insoluble

Lit du Rhône d'après FAVARGER et VERNET (1987, 1989)

Le flux annuel du cadmium qui avait diminué entre 1986 et 1987 de 278 à 237 kg, a au contraire augmenté en 1988 : 288 kg, alors que les conditions météorologiques et les tonnages de matière en suspension transportée auraient pu laisser espérer une tendance inverse. Cependant, ce flux a été calculé à partir de concentrations qui, même si elles sont en augmentation, restent très proches des teneurs de référence considérées comme naturelles (0.3 mg/kg) (FAVARGER et VERNET, 1989).

4. CONCLUSIONS

Cette troisième année d'étude des flux chimiques liés aux particules en suspension dans le Rhône a permis de confirmer l'origine liée à l'activité humaine du phosphore biodisponible et du mercure.

L'ensemble des résultats reflète les différences importantes existant entre 1986-1987 et 1988. Le flux annuel de matière particulaire est très inférieur en 1988, ainsi que les flux de tous les éléments chimiques étudiés qui lui sont liés, à l'exception, toutefois, du cadmium.

Ces résultats sont une contribution à l'étude générale du Léman et de son bassin versant. Elle permettra de mieux connaître les problèmes liés à l'évolution de ce lac qui constitue, rappelons-le, la plus grande masse d'eau douce d'Europe occidentale.

BIBLIOGRAPHIE

- BURRUS, D. (1984) : Contribution à l'étude du transport du phosphore dans le Rhône alpin. Thèse No 2135, Fac. Sci., Univ. Genève, 100 p.
- FAHRNI, H.P., et RAPIN, F. (1985a) : Modélisation du cycle du phosphore dans le Léman. (Rapport intermédiaire, septembre 1984) Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1984, 207-233.
- FAHRNI, H.P., et RAPIN, F. (1985b) : Modélisation du cycle du phosphore dans le Léman. (Rapport final). Rapp. interne comm. intern. protec. eaux du Léman, Lausanne, 90 p.
- FAHRNI, H.P., et RAPIN, F. (1986) : Modélisation du cycle du phosphore dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1985, 153-189.
- FAVARGER, P.-Y. et VERNET, J.-P. (1987) : Métaux lourds dans les sédiments des rivières du bassin suisse du Rhône. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagnes 1986, 135-147.
- FAVARGER, P.-Y. et VERNET, J.-P. (1987 et 1988) : Flux particulaires de quelques nutriments et métaux dans les suspensions du Rhône à la Porte du Scex. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagnes 1986 et 1987, 91-96 et 155-162.
- FAVARGER, P.-Y. et VERNET, J.-P. (1989) : Métaux dans les sédiments du Rhône amont du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1988.
- GANDAIS, V. (1989) : Origines et variations spatio-temporelles des flux de matière particulaire dans le Léman. Thèse No 2345, Fac. Sci., Univ. Genève, 104 p.
- KJELDAHL, J. (1883) : A new method for the determination of nitrogen in organic matter. Z. Anal. Chem., 22, 336.
- MEYBECK, M. (1985) : Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. American J. Sci. 282/4, 401-450.
- RAPIN, F., et VERNET, J.-P. (1986) : Métaux lourds dans les sédiments du Rhône, de ses affluents et de la Venoge. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1985, 105-118.
- WILLIAMS, J.D., JAQUET, J.-M., et THOMAS, R.L. (1976) : Forms of Phosphorus in the Surficial Sediments of Lake Erie. J. Fish. Res. Board Canada, 33, 462-465.