Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999, **2000**, 141-157.

BILAN DES APPORTS PAR LES AFFLUENTS AU LÉMAN ET AU RHÔNE À L'AVAL DE GENÈVE

Campagne 1999

PAR

Alain ORAND, Jean GAGNAIRE et Jean Marcel DORIOZ

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA), F - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

RÉSUMÉ

Les apports au Léman par les rivières sont calculés à partir des analyses sur des prélèvements d'eau en continu (proportionnels aux débits) pour les quatre affluents principaux (Rhône amont, Dranse, Aubonne et Venoge) et de prélèvements sur neuf affluents secondaires. Les exportations du lac sont contrôlées sur le Rhône émissaire à Genève. Enfin, les analyses sur le Rhône aval (à Chancy) et ses principaux tributaires de la région genevoise ont permis de dégager l'importance des apports du bassin versant du Rhône entre sa sortie du Léman et son entrée sur le territoire français.

L'année 1999 est une année de forte pluviométrie au voisinage du Léman. Les débits moyens annuels sont supérieurs à la moyenne de la période 1985-1999.

En 1999, les apports en phosphore total au lac par les quatre rivières principales ont été de 1'386 tonnes. Le Rhône amont représente 94.5 % de ces apports. Les neuf rivières secondaires apportent 65 tonnes de phosphore total au Léman.

Les apports en phosphore dissous des quatre rivières principales (45 tonnes) sont les plus faibles enregistrés depuis le début des années 60. Les concentrations moyennes annuelles sont relativement élevées dans certaines des rivières secondaires telles que le Vengeron (257 µg P/l), la Morges (45 µg P/l), la Chamberonne (42 µg P/l) et la Versoix (72 µg P/l).

Les apports en azote minéral total par le Rhône amont représentent 60.7 % du total des apports répertoriés (quatre rivières principales et neuf rivières secondaires). Les concentrations en azote minéral total varient de 0.83 mg N/l dans la Veveyse à 6.34 mg N/l dans la Morges. Une rivière principale, l'Aubonne, ainsi que quatre rivières secondaires, la Chamberonne, le Vengeron, la Morges et la Dullive dépassent la concentration moyenne annuelle de 3 mg N/l.

Les apports en chlorure qui avaient régressé en 1998 avec 52'000 tonnes dans les rivières principales dépassent ceux de 1997 (56'000 tonnes). Ils sont pour les quatre rivières principales de 57'900 tonnes. Neuf affluents secondaires apportent 5'600 tonnes. La concentration moyenne annuelle pondérée dans les rivières secondaires (13.0 mg Cl/l) est plus élevée que celle des rivières principales (7.2 mg Cl/l).

Les analyses effectuées sur les différentes rivières en aval du lac permettent de faire la part apportée par le bassin versant du Rhône entre sa sortie du Léman et Chancy pour les éléments chimiques tels que les nitrates, le phosphore total et le phosphore dissous. Entre le Rhône émissaire et Chancy, pour des débits multipliés par 1.5, on constate que les nitrates sont multipliés par un facteur de 2.2, le phosphore total augmente d'un facteur 3.6 et le phosphore dissous d'un facteur 4.6.

1. GÉNÉRALITÉS

En 1999, les apports au Léman ont été mesurés sur les quatre affluents principaux, le Rhône amont à la Porte du Scex, la Dranse au pont de Vongy pour les prélèvements d'eau et au pont de Bioge pour les débits, l'Aubonne et la Venoge. Les prélèvements de la Dranse sont effectués en amont du rejet de la STEP de Thonon et de la zone industrielle de Vongy. Les exportations sont déterminées sur le Rhône à Genève. Pour ces rivières, les prélèvements sont effectués en continu et les analyses réalisées sur des échantillons proportionnels au débit.

Plusieurs affluents secondaires, tous situés sur la côte suisse, ont été suivis : le Vengeron, la Versoix, la Promenthouse, la Dullive, la Morges, la Chamberonne, la Veveyse, l'Eau Froide et le canal Stockalper. Les résultats des suivis sur les affluents secondaires font l'objet d'un paragraphe en fin de rapport. En effet, il n'est pas possible, pour l'évolution à long terme, de traiter l'ensemble des rivières car les affluents secondaires ne sont analysés, pour certains, que depuis quelques années. Par contre, compte tenu de l'importance relative des rivières secondaires par rapport aux rivières principales (le Rhône amont mis à part), nous avons inclus les apports des rivières secondaires dans les graphiques.

Les analyses sur le Rhône émissaire, le Rhône à Chancy (programme NADUF), l'Arve ainsi que l'Allondon permettent de déterminer les bilans des apports de l'agglomération genevoise.

Les prélèvements ainsi que les analyses chimiques sont effectués par les laboratoires suivants :

- Service cantonal d'écotoxicologie, Genève
- Laboratoire du Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud, Epalinges
- Laboratoire du Service de la protection de l'environnement du canton du Valais, Sion
- Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA), Thonon-les-Bains
- Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (IFAEPE), Dübendorf, programme NADUF.

Ces laboratoires participent régulièrement aux calibrations interlaboratoires organisées dans le cadre de la CIPEL.

La plupart des analyses sont effectuées sur des échantillons d'eau filtrée (maille de 0.45 µm). Par contre, les concentrations de phosphore total, d'azote total et de carbone organique total sont déterminées sur les échantillons d'eau brute. Pour les métaux dans le Rhône amont, les analyses sont effectuées sur les eaux brutes acidifiées.

Le programme de surveillance de la Commission internationale comprend le suivi du Rhône amont, de la Dranse, de la Venoge, de l'Aubonne, du Rhône émissaire et de trois affluents secondaires. Toutes les autres rivières sont suivies dans le cadre de programmes cantonaux ou propres aux laboratoires.

TABLEAU 1 - Type de prélèvement

	Proport. au débit intégré sur 1 semaine	Proport. au débit sur 24 h. (1 x mois)	Instantané (1 x mois)
Bassin du Léman			
Rhône - Porte du Scex	x		
Dranse	x		
Aubonne	x		
Venoge	x		
Versoix			x
Stockalper		x	
Veveyse	x [1]		
Promenthouse	x [1]		
Chamberonne	x [1]		
Vengeron			x
Eau Froide		x	
Morges	x [1]		
Dullive		x	
Rhône émissaire	x [2]		
Bassin du Rhône aval			
Arve			x
Allondon			x
Rhône à Chancy	x [2]		

[1] = intégré sur une semaine, proportionnel au temps
[2] = intégré sur deux semaines

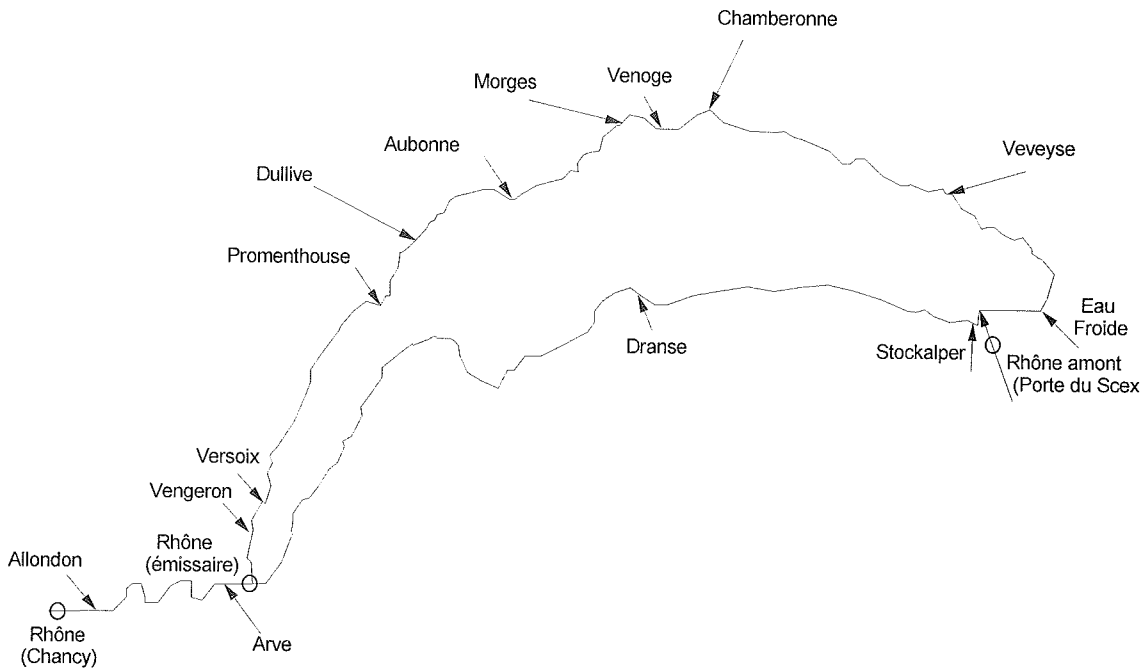

Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées

2. DÉBITS DES AFFLUENTS PRINCIPAUX ET DE L'ÉMISSAIRE (figure 2)

L'année 1999 est une année de forte pluviométrie avec une lame d'eau précipitée au niveau du Léman de l'ordre de 1'300 mm (ORAND et GAGNAIRE, 2000). Les débits moyens annuels des rivières principales ont augmenté de 8 % pour l' Aubonne, de 16 % pour le Rhône amont et de plus de 23% pour les autres rivières principales par rapport à la moyenne inter-annuelle de 1985 à 1999.

TABLEAU 2 - Débits des affluents principaux et de l'émissaire (m^3/s)

Année	Venoge	Aubonne	Dranse	Rhône amont	Rhône émissaire
1985	3.4	4.6	19.7	182.7	258.0
1986	3.9	5.3	21.4	199.1	259.1
1987	4.7	6.9	23.3	198.2	276.6
1988	5.5	6.7	22.2	206.7	278.9
1989	2.3	2.9	12.1	169.6	207.2
1990	3.0	3.7	18.3	172.2	238.6
1991	3.2	5.9	14.9	173.7	201.5
1992	4.1	7.2	21.3	178.5	224.7
1993	6.6	5.6	17.3	191.2	243.2
1994	4.5	6.1	20.5	216.4	297.4
1995	5.3	6.6	27.2	210.5	303.4
1996	3.5	4.5	15.2	147.2	192.5
1997	3.9	5.8	18.7	184.9	234.0
1998	3.3	4.9	17.2	170.5	216.3
1999	5.1	6.0	24.9	218.0	302.2
Moyenne	4.2	5.5	19.6	188.0	248.9

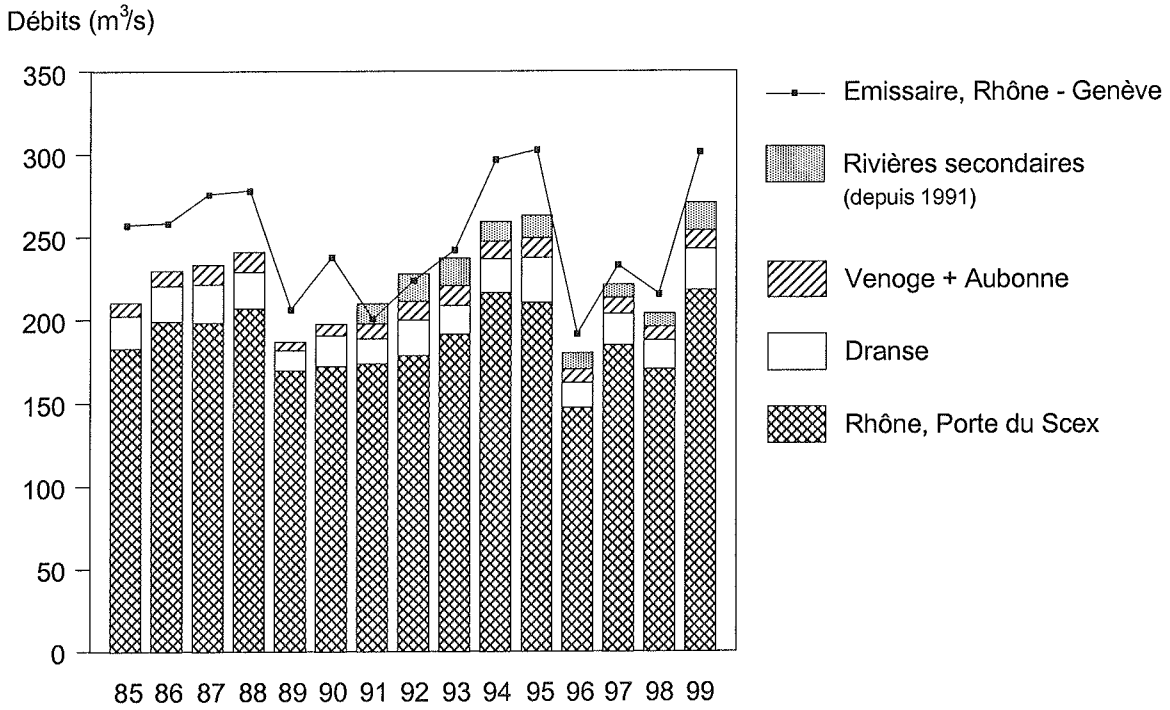

Figure 2 : Débits moyens annuels

3. APPORTS ANNUELS ET COMPOSITION DE L'EAU DES AFFLUENTS

Les calculs des flux et des concentrations moyennes annuelles pondérées sont effectués de la façon suivante :

- *Pour les rivières échantillonnées en continu*

$$Fa = \sum_{1}^{s} Ch \,.\, Qh \qquad\qquad Cmoy = \frac{Fa}{\sum_{1}^{s} Qh}$$

avec
- Fa = flux annuel
- Ch = concentration de l'échantillon intégré, hebdomadaire (ou bimensuel)
- Qh = volume d'eau de la période correspondante
- s = 52 (échantillonnage hebdomadaire)
  26 (échantillon bimensuel)
- Cmoy = concentration moyenne annuelle pondérée

- *Pour les rivières à échantillonnage mensuel*

$$Fmoy = \frac{\sum_{1}^{n} Ci.Qi}{n} \qquad\qquad Cmoy = \frac{Fmoy}{Qmoy}$$

avec
- Fmoy = flux moyen (g/s)
- Ci = concentration dans l'échantillon prélevé (g/l)
- Qi = débit moyen de la période correspondante (m^3/s)
- n = nombre d'échantillons
- Qmoy = débit moyen annuel

3.1 Phosphore (figures 3 à 5)

Le phosphore apporté par les affluents peut être subdivisé en :

- *fraction dissoute :*

  orthophosphate (forme prépondérante dans la fraction dissoute) et phosphore organique dissous.

- *fraction particulaire :*

  phosphore organique particulaire et phosphore inorganique particulaire (apatitique ou non apatitique).

Rappelons que seul le phosphore directement ou indirectement assimilable par les algues joue un rôle dans le phénomène d'eutrophisation. Les algues ne peuvent assimiler que des formes dissoutes de phosphore ou se transformant en formes dissoutes.

Fraction dissoute

La fraction dissoute est donc la plus importante au plan biologique : l'orthophosphate (PO_4) est directement biodisponible, de même que certains composés phosphorés provenant d'eaux usées; sous certaines conditions (faible teneur en orthophosphate), les algues peuvent métaboliser la forme organique dissoute du phosphore. En faisant abstraction du phénomène secondaire de fixation sur les particules qui sédimentent à travers l'hypolimnion, la majeure partie du phosphore dissous apporté par les affluents est à disposition des algues.

3.1.1 Phosphore total et particulaire

Les apports en phosphore total au lac par les rivières sont constitués par environ 95 % de phosphore particulaire et 5 % de phosphore dissous. Dans le lac se produit la sédimentation du phosphore particulaire ce qui explique que dans l'émissaire c'est le phosphore dissous qui domine.

Les apports moyens annuels en phosphore total par les quatre rivières principales sur la période 1980-1999 sont de 1'050 tonnes par an. Ils sont de 1'386 tonnes pour l'année 1999 dont 1'309 tonnes pour le Rhône-amont.

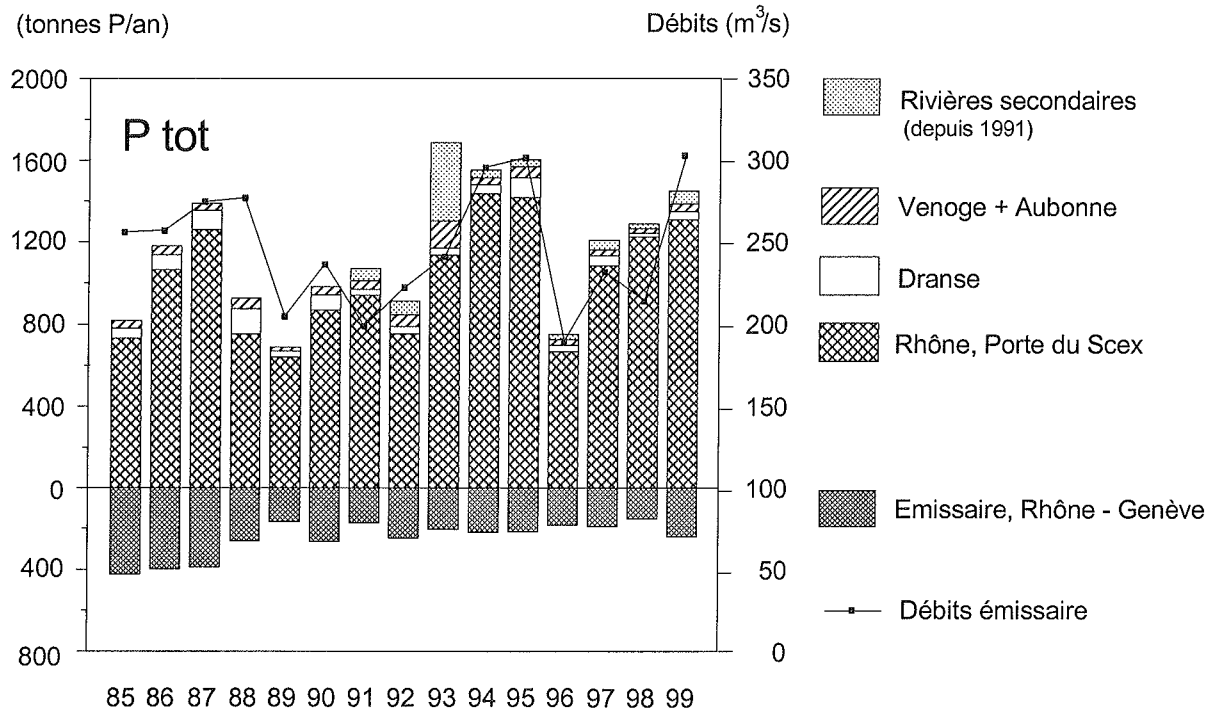

Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

3.1.2 Phosphore dissous (orthophosphate)

Le total des apports en orthophosphate par les affluents principaux (45 tonnes) est toujours largement inférieur à 100 tonnes, seuil atteint en 1987.

Les apports par la Dranse représentent 11.8 % des apports totaux des rivières principales. Le pourcentage moyen sur la période 1990-1999 est identique (11.7 %).

Les concentrations moyennes annuelles pondérées par les débits se répartissent comme suit : 4.6 µg P/l pour le Rhône amont, 6.8 µg P/l pour la Dranse, 17.7 µg P/l pour l' Aubonne et 27.5 µg P/l pour la Venoge.

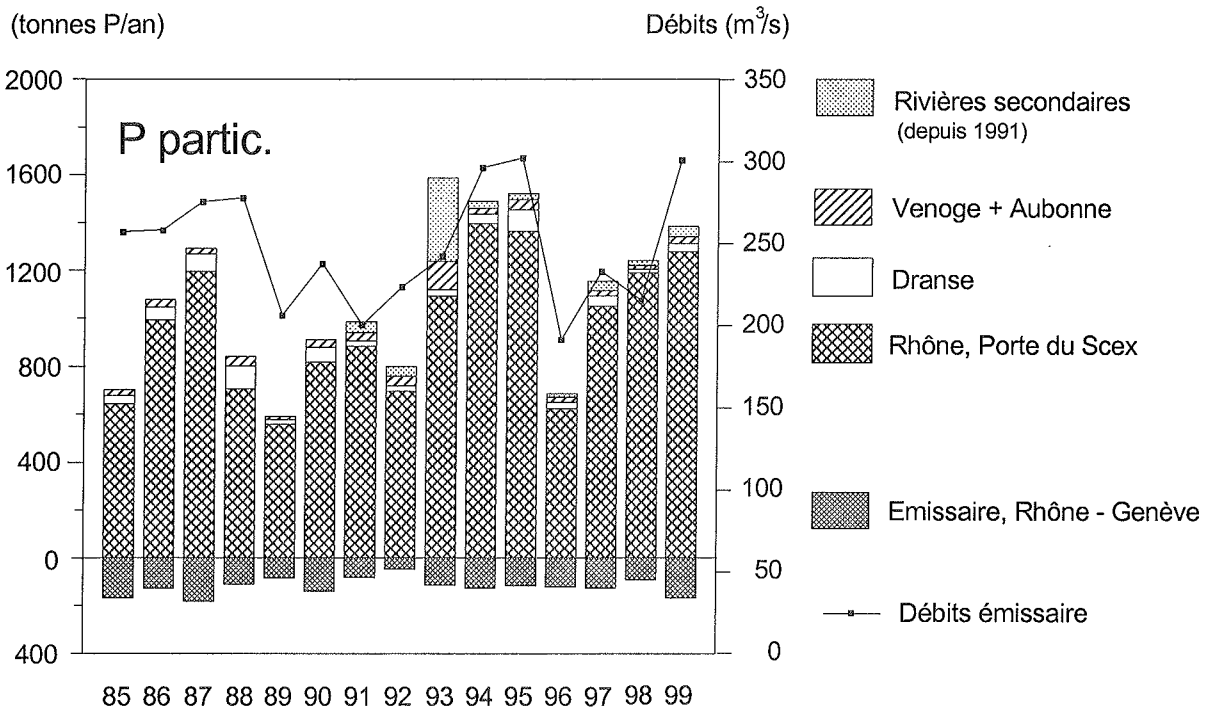

Figure 4 : Phosphore particulaire - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

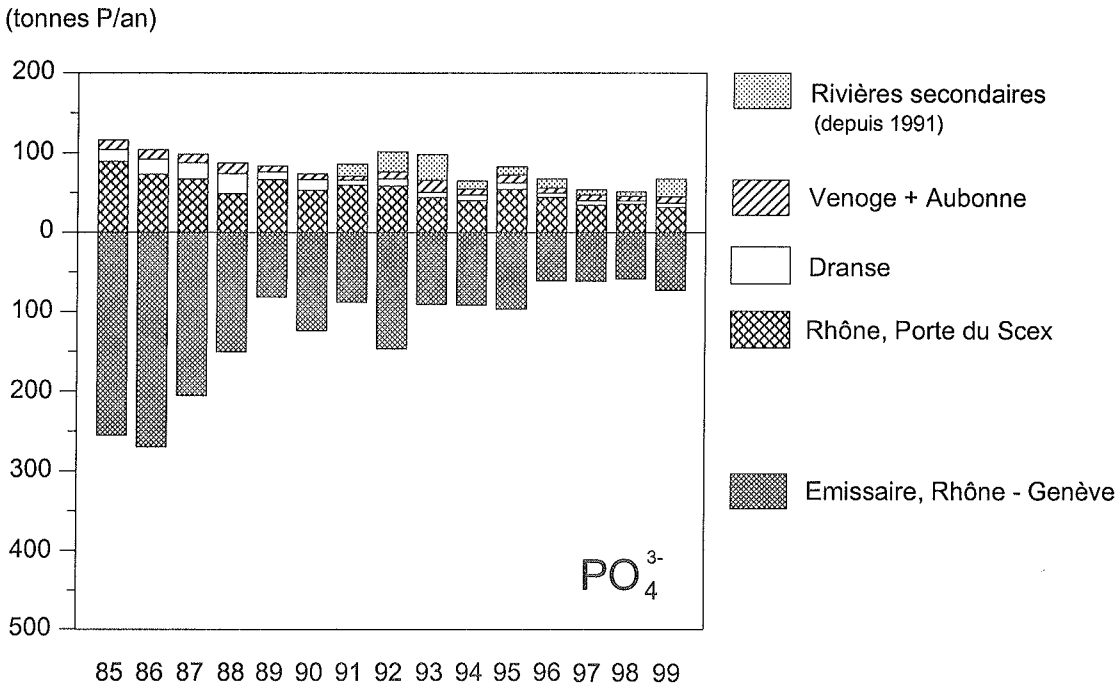

Figure 5 : Phosphore dissous (orthophosphate) - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

3.2 Azote minéral et organique (tableau 3 et figures 6 à 8)

En 1999, les apports en azote nitrique par les quatre affluents principaux atteignent 4'761 tonnes (concentration moyenne pondérée par les débits : 0.59 mg N/l).

Les exportations d'azote nitrique par l'émissaire sont, en 1999, de 3'120 tonnes, total proche de la moyenne depuis 1980 (3'188 t).

Les concentrations moyennes annuelles pondérées par les débits sont très proches des concentrations moyennes des 15 dernières années (0.36 contre 0.40 mg N/l).

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par les rivières principales s'élèvent à 3'740 tonnes. Le Rhône amont représente 73 % du total des apports des rivières principales. De fortes disparités existent entre les rivières, la fourchette des concentrations variant de 0.61 mg N/l pour la Dranse à 4.4 mg N/l pour la Venoge.

Pour l'azote total (azote minéral et organique) dans le Rhône amont, les apports en 1999 (5'705 tonnes) sont plus faibles que la moyenne interannuelle 1980-1999 (5'720 tonnes). C'est le contraire pour la Dranse (599 tonnes et 517 tonnes).

TABLEAU 3 - Apports annuels en azote total (t N/an) et concentrations moyennes annuelles pondérées. Rhône Porte du Scex et Dranse

Année	Rhône		Dranse	
	tonnes	mg N/l	tonnes	mg N/l
1980	6'479	0.99	564	0.53
1981	5'499	0.83	619	0.88
1982	5'171	0.75	619	0.86
1983	5'685	0.88	531	0.74
1984	6'181	1.22	450	0.73
1985	5'592	0.97	525	0.85
1986	5'869	0.94	549	0.82
1987	7'362	1.16	567	0.77
1988	6'649	1.02	598	0.85
1989	4'929	0.92	322	0.85
1990	6'136	1.13	493	0.86
1991	5'790	1.06	412	0.88
1992	6'520	1.16	606	0.90
1993	5'672	0.94	438	0.80
1994	5'647	0.83	472	0.73
1995	5'949	0.90	627	0.73
1996	4'132	0.89	396	0.83
1997	4'871	0.84	493	0.83
1998	4'593	0.85	459	0.85
1999	5'705	0.83	599	0.76
Moyenne	5'721	0.96	517	0.80

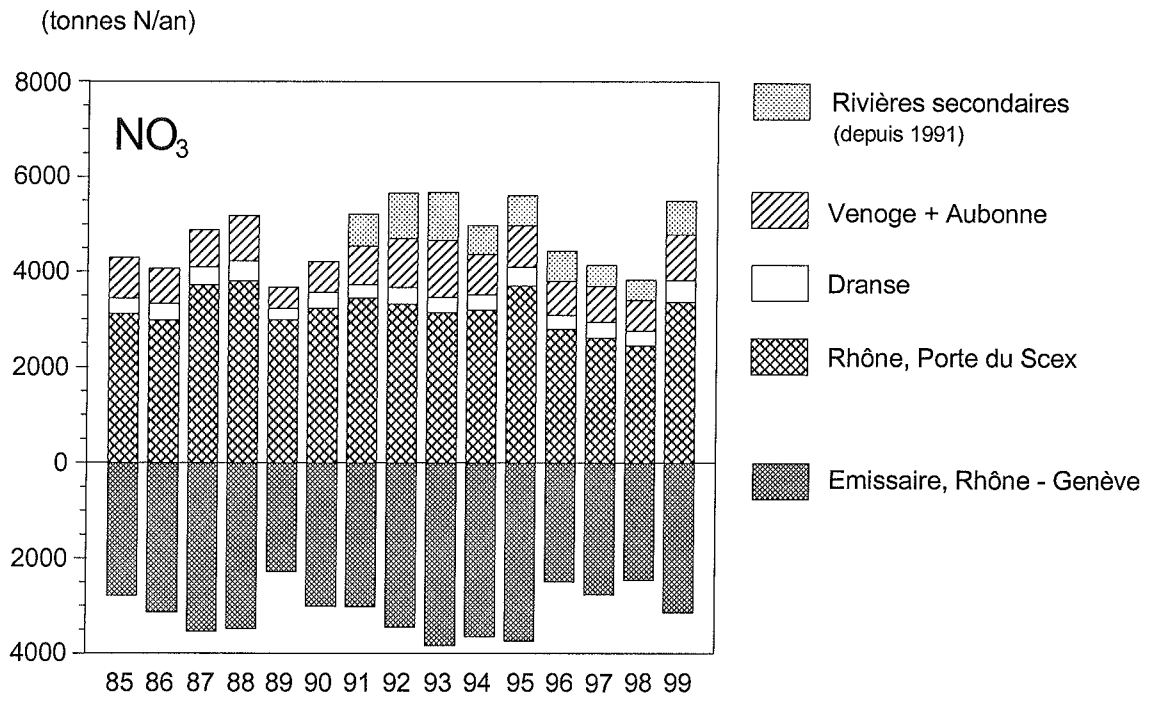

Figure 6 : Azote nitrique - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

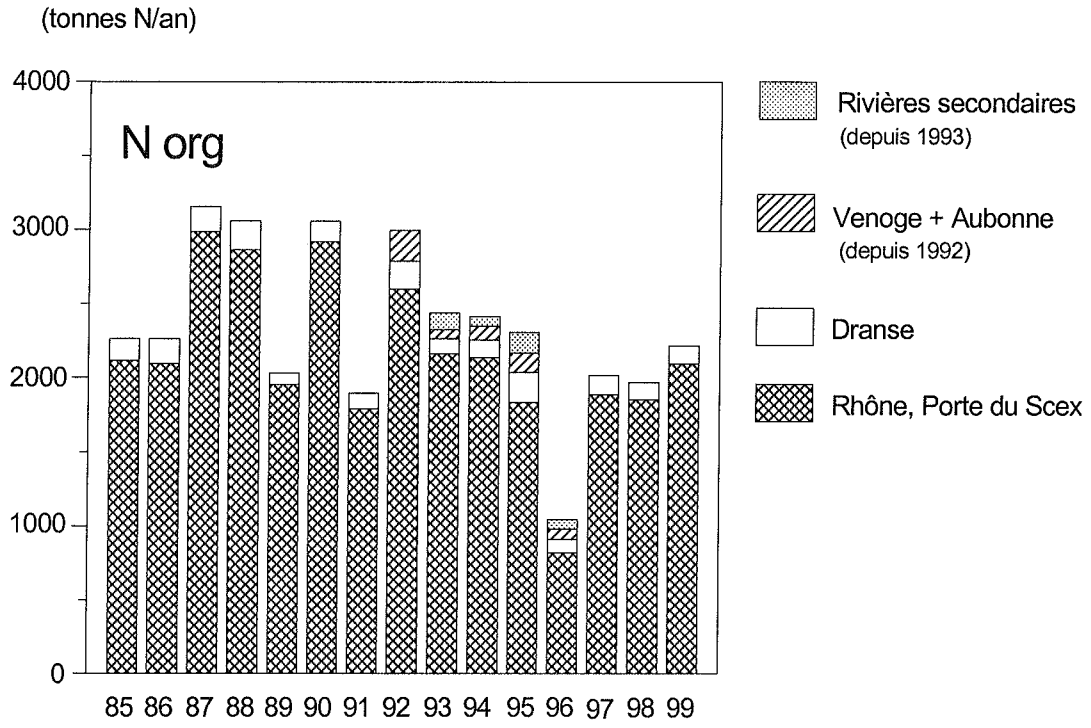

Figure 7 : Azote organique - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

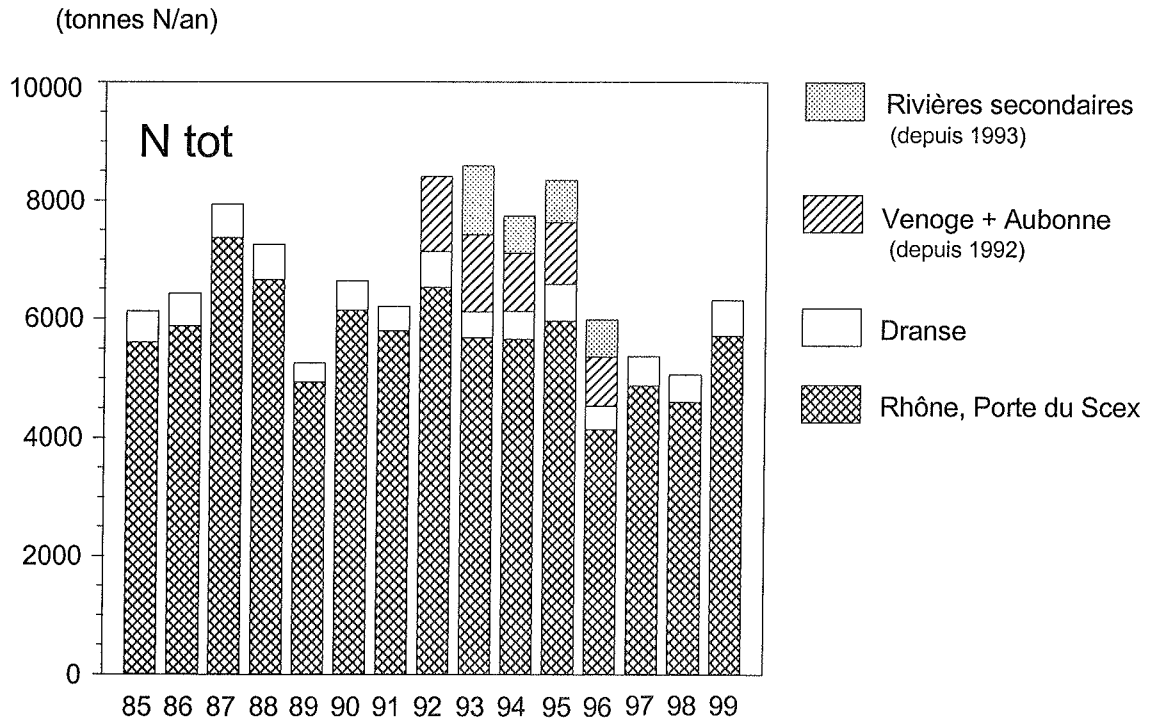

Figure 8 : Azote total - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires.
(Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

3.3 Chlorure (figure 9)

En terme d'apports annuels, le chlorure présente une tendance à l'augmentation. Pour 1999, la concentration moyenne pondérée pour les affluents principaux est de 7.2 mg Cl/l et les apports totaux par les rivières principales atteignent 57'886 t.

La teneur moyenne dans les eaux du Rhône à l'émissaire atteint 6.9 mg/l, ce qui correspond en terme de bilan à une perte annuelle de 66'048 t.

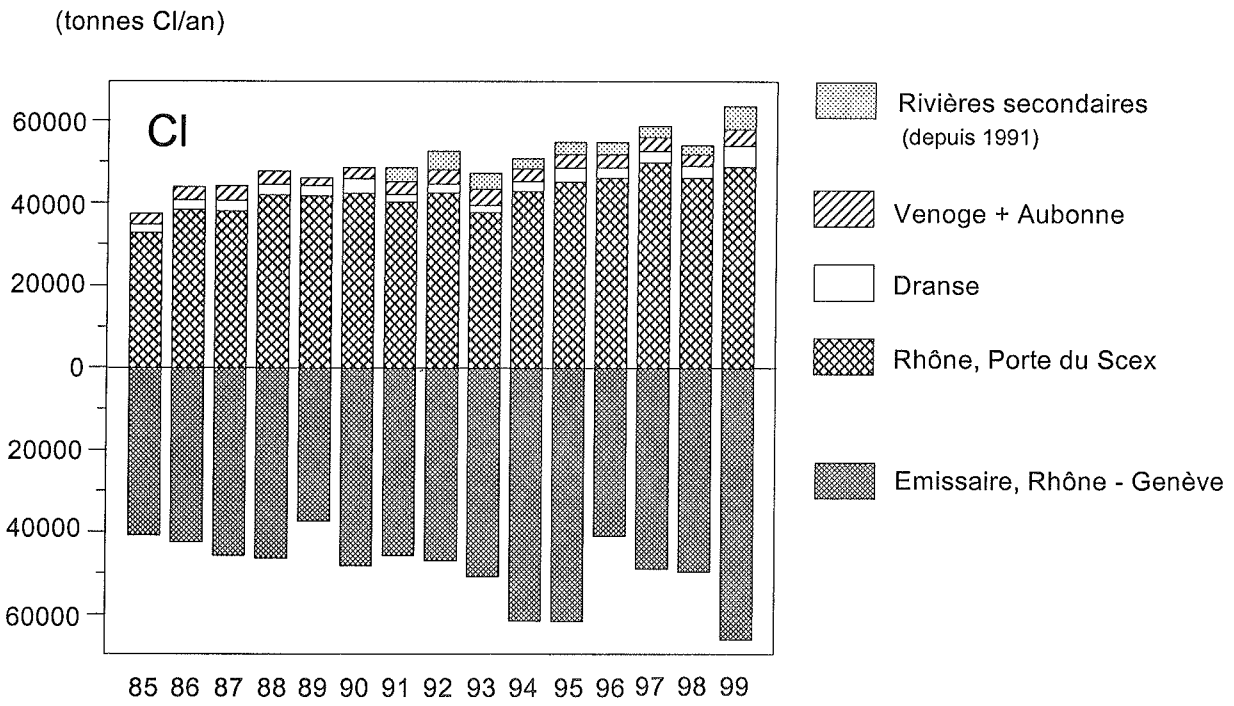

Figure 9 : Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

3.4 Carbone organique

Le carbone organique dissous (COD) est analysé dans les eaux de l'ensemble des rivières principales et secondaires sauf dans la Dranse. Le carbone organique total (COT) est mesuré dans les eaux du Rhône amont et du Rhône à Chancy.

Les concentrations en carbone organique dissous des eaux du Rhône amont (1.0 mg C/l) sont trois fois plus faibles que dans les autres rivières principales. Les concentrations moyennes pondérées par les débits évoluent entre 1.0 mg/l pour le Vengeron à 3.5 mg/l pour la Morges.

La concentration de COD dans les eaux du Rhône émissaire est de 1.2 mg C/l pour l'année 1999, alors que la concentration moyenne annuelle pondérée par les débits de l'ensemble des rivières principales et secondaires considérées est de 0.9 mg C/l.

Les concentrations moyennes annuelles en carbone organique total dans les eaux sont très voisines : 3.4 mg C/l pour le Rhône amont et 3.2 mg C/l pour le Rhône à Chancy.

4. ÉTUDE DES AFFLUENTS SECONDAIRES

Les affluents secondaires étudiés fournissent un débit total de 16.9 m^3/s, soit 6.2 % des apports mesurés au lac. Comme pour les affluents principaux, l'ensemble des résultats de la campagne 1999 sur les neuf affluents secondaires du Léman est consigné dans les tableaux 6 et 7.

Les apports de l'Allondon et de l'Arve qui se jettent dans le Rhône aval ne sont pas pris en compte dans cette analyse, mais figurent avec ceux du Rhône à Chancy. Ils permettront de préciser les apports du bassin versant du Rhône entre la sortie du lac et la frontière franco-suisse que nous aborderons au chapitre 5.

TABLEAU 4 - Affluents secondaires : débits moyens annuels en m^3/s

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Bassin versant du Léman							
Versoix	2.87	3.17	3.65	3.35	2.74	3.07	4.63
Stockalper	2.79	2.41	3.32	2.20			3.17
Veveyse	1.87	2.40	1.88	1.16	1.63	1.84	3.10
Promenthouse	1.72	1.30	1.97	1.23	1.79	1.43	2.64
Chamberonne	0.68	1.07	1.06	0.77	0.75	0.68	1.05
Eau Froide	0.78	0.53	0.55	0.33		0.38	0.46
Morges	1.69	0.48	0.97	0.47	0.43	0.33	0.57
Dullive	0.98	0.28	0.19	0.21	0.21	0.26	0.34
Vengeron							0.92
Bassin versant du Rhône aval							
Allondon	3.78	3.96	3.80	4.45	3.01	3.00	6.48
Arve	62.50	84.28	90.55	71.36	63.03	65.63	103.5

4.1 Phosphore dissous (orthophosphate) et phosphore total

La charge annuelle en phosphore dissous qui transite par les neuf affluents est de 23 tonnes. Ce tonnage correspond à près de 10 tonnes de plus que celui apporté par la Dranse, l'Aubonne et la Venoge réunies (13 tonnes). En 1999, la Versoix et le Vengeron apportent 18 tonnes d'orthophosphate soit 80 % de la charge annuelle amenée par les neuf affluents secondaires.

Pour les mêmes rivières mesurées en 1998, au nombre de sept, le total des apports en orthophosphate est en augmentation (14.4 tonnes contre 5.3 tonnes). Les apports en orthophosphate ont augmenté entre 1998 et 1999 pour la plupart des rivières.

En terme de concentration en orthophosphate, la Morges (44.9 µg P/l), le Vengeron (256.6 µg P/l) et la Versoix (72.2 µg P/l) sont les rivières présentant les concentrations les plus élevées.

En phosphore total, 65 tonnes sont amenées par les rivières secondaires contrôlées.

4.2 Azote minéral total

Les concentrations moyennes annuelles en azote minéral total varient de 0.83 mg N/l pour la Veveyse à 6.34 mg N/l pour la Morges. Les concentrations sont du même ordre de grandeur que les concentrations moyennes annuelles atteintes dans les eaux des rivières principales, notamment la Venoge (4.4 mg N/l) et la Dranse (0.61 mg N/l).

Les apports cumulés de l'ensemble des rivières secondaires représentent 69.5 % des apports cumulés de la Venoge, de l'Aubonne et de la Dranse. Globalement, les rivières secondaires examinées transfèrent 1'014 tonnes d'azote minéral total au Léman.

4.3 Chlorure

Les apports en chlorure des rivières secondaires atteignent 5'613 tonnes. Ce total est du même ordre de grandeur que celui des apports par la Dranse. Par rapport aux quatre rivières principales, les apports des rivières secondaires représentent 9.7 %. Les concentrations en chlorure dans les rivières secondaires varient entre 3.9 mg Cl/l (l'Eau Froide) et 29.5 mg Cl/l (la Chamberonne).

5. BASSIN VERSANT DU RHÔNE DE GENÈVE À CHANCY (figure 10)

Nous rappelons qu'en aval du lac, le Rhône traverse le territoire du canton de Genève et quitte la Suisse à Chancy-Pougny. Le long de son parcours, il reçoit les eaux de plus de quarante affluents, les deux principaux étant l'Arve (débit moyen 103.5 m^3/s) et l'Allondon (débit moyen 6.5 m^3/s). Les débits du Rhône émissaire et de l'Arve constituent 87.5 % du débit mesuré à Chancy.

Nous disposons, pour effectuer un bilan des apports au Rhône entre le lac et Chancy, des analyses d'eau du Rhône émissaire, de l'Arve à Genève (la Jonction), de l'Allondon à son embouchure et du Rhône en aval de Chancy. Les prélèvements du Rhône émissaire et de Chancy sont effectués en continu proportionnellement au débit, ceux de l'Arve et de l'Allondon sont mensuels et instantanés. Les apports calculés pour ces deux rivières doivent donc être considérés avec prudence.

Une partie importante des apports en nutriments provient de huit stations d'épuration (STEP) françaises et de onze STEP suisses dont celle de Genève-Aïre (533'000 EH), totalisant 701'700 EH[1]. Douze de ces installations se déversent directement dans le fleuve (692'800 EH), le reste dans les divers affluents. Aucune ne pratique la déphosphatation et au moins quatre d'entre elles traitent des eaux d'origine industrielle. Le bassin de l'Arve, en amont du Rhône, compte trente-six STEP qui totalisent 401'300 EH.

Une estimation des apports ponctuels et diffus du bassin dit "genevois" est obtenue en soustrayant au flux du Rhône à Chancy ceux mesurés de l'émissaire (sortie du Léman), de l'Arve et de l'Allondon.

La figure 10 montre le détail des charges qui transitent par Chancy.

TABLEAU 5 - Débits en m^3/s et flux en tonnes/an

	Débit m^3/s	Nitrates t N/an	Ortho-phosphate t P/an	Phosphore total t P/an	Chlorure t Cl/an	Sulfates t SO_4/an
Rhône émissaire	302.2	3'120	73.0	240	66'048	422'170
Arve	103.5	2'114	141.0	355	26'924	110'433
Allondon	6.5	355	16.0	33	1'446	1'548
Rhône Chancy	463.5	6'902	333.0	877	110'096	569'720
Bassin versant "genevois" [2]	51.3	1'313	103.0	249	15'678	35'569

L'augmentation du flux de nitrates entre le Rhône à l'émissaire et Chancy est de 121 %. Le flux de phosphore dissous à Chancy provient à 31 % du bassin dit "genevois" et à 42 % de l'Arve. Pour le phosphore total, 28.4 % proviennent du bassin dit "genevois". Pour le phosphore, la participation du bassin dit "genevois" est en nette régression par rapport à 1998.

Alors que les débits du Rhône émissaire représentent 65.2 % du débit du Rhône à Chancy, la participation du Rhône émissaire dans la charge totale du Rhône à Chancy représente :

21.9 % de la charge en phosphore dissous (orthophosphate)
27.3 % de la charge en phosphore total
45.2 % de la charge en nitrates
60.0 % de la charge en chlorure
74.1 % de la charge en sulfates.

---

[1] EH = équivalent habitant à 60 g de DBO_5 par jour

[2] = valeur non mesurée, mais obtenue par soustraction.

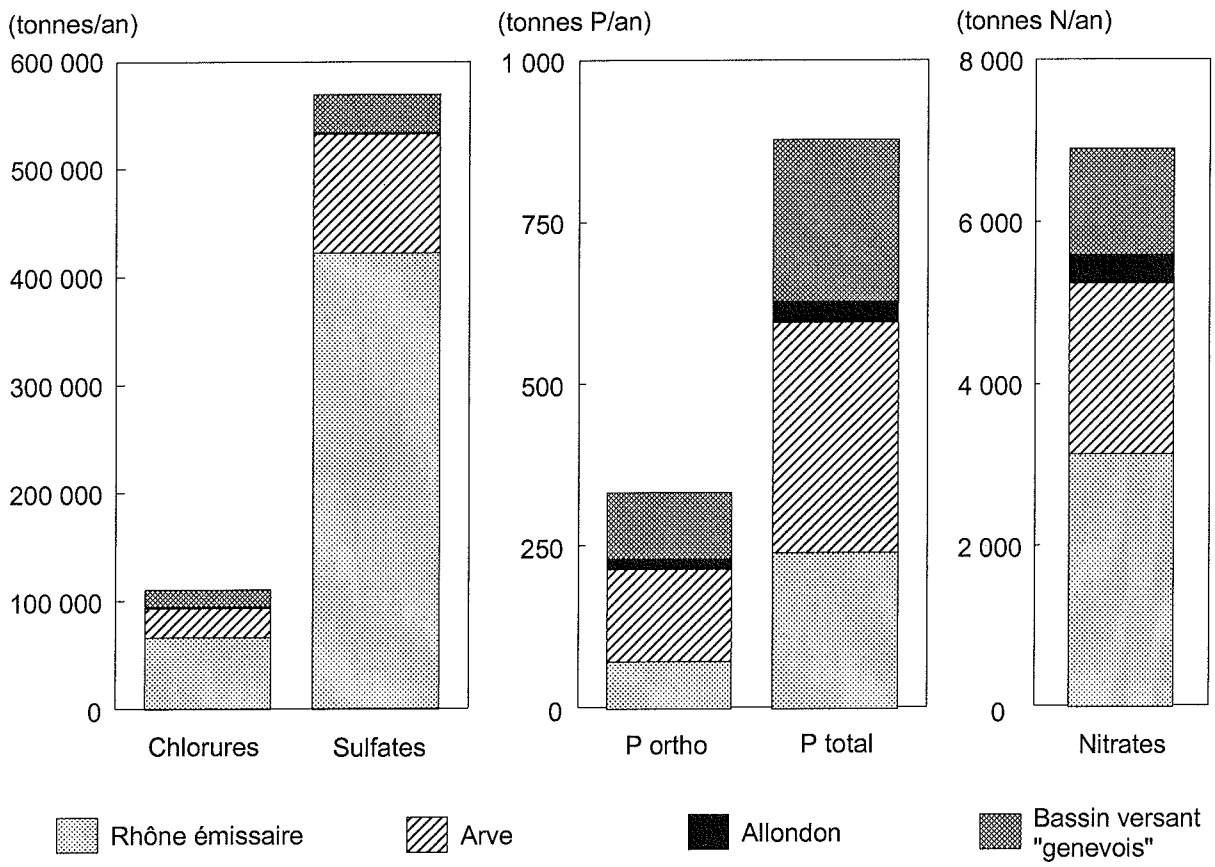

Figure 10 : Charges du Rhône à Chancy en 1999

6. CONCLUSIONS

6.1 Bassin versant du Léman

Avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 1'300 mm sur le bassin versant proche du Léman, 1999 est une année de forte pluviométrie et les débits du Rhône à l'émissaire sont supérieurs de 21.4 % par rapport à la moyenne sur 15 ans. La somme des débits moyens de l'ensemble des quatre affluents principaux (Rhône, Dranse, Aubonne et Venoge) est de 254 m^3/s.

Les apports en phosphore total sont de 1'386 tonnes pour les quatre rivières principales. Les apports par le Rhône amont représentent 94 % de ce total. Pour le phosphore dissous, élément directement assimilable par les algues, les apports par les rivières principales (45 tonnes) sont, une nouvelle fois, inférieurs à 50 tonnes. Les apports par les rivières secondaires (23 tonnes) ne peuvent être comparés aux apports des années précédentes compte tenu des changements qui interviennent dans la liste des rivières contrôlées. En terme de concentration moyenne annuelle en phosphore dissous, le Vengeron atteint le niveau record de 256.6 µg P/l. Les concentrations sont encore trop élevées dans les eaux de la Chamberonne (41.9 µg P/l), de la Versoix (72.1 µg P/l) et de la Morges (44.9 µg P/l).

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par l'ensemble des rivières principales et secondaires contrôlées, s'élèvent à 6'302 tonnes. Les apports en azote minéral total par le Rhône amont représentent 60.7 % de l'ensemble des apports des quatre rivières principales et de neuf rivières secondaires. On constate que certaines rivières ont des concentrations en azote minéral total supérieures à 3 mg N/l. C'est le cas pour la Morges (6.3 mg N/l), la Venoge (4.4 mg N/l), la Chamberonne (3.5 mg N/l) , la Dullive (3.7 mg N/l) et le Vengeron (3.6 mg N/l).

Les apports en chlorure par l'ensemble des rivières contrôlées dépassent le total de 63'000 tonnes. La concentration moyenne pondérée par les débits pour les rivières principales atteint 7.2 mg Cl/l. Elle est de 13 mg Cl/l pour les huit rivières secondaires contrôlées.

6.2 Bassin versant du Rhône aval jusqu'à Chancy

Les analyses effectuées sur le Rhône émissaire, le Rhône à la sortie du territoire suisse à Chancy, l'Arve et l'Allondon ont permis de préciser la participation des divers bassins versants dans l'enrichissement en éléments fertilisants des eaux du Rhône aval.

L'Arve apporte au Rhône 2'115 tonnes de nitrates et 140 tonnes de phosphore dissous (orthophosphate). Le bassin dit "genevois" apporte, quant à lui, 1'310 tonnes de nitrates et 100 tonnes de phosphore dissous.

La charge du Rhône en éléments fertilisants à la frontière franco-suisse (Chancy) est multipliée par 2.2 pour le nitrate et par 4.6 pour le phosphore dissous par rapport à celle mesurée à la sortie du lac (Rhône émissaire).

Par rapport aux charges à Chancy, celles dues à l'Arve représentent 30.6 % pour le nitrate et 42 % pour le phosphore dissous. Pour le bassin dit "genevois", les charges (obtenues par soustraction) représentent 19 % pour le nitrate et 31 % pour le phosphore dissous.

BIBLIOGRAPHIE

ORAND, A. et GAGNAIRE, J. (2000) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999.

TABLEAU 6 - Concentrations moyennes en 1999

1999	Débit	NH_4	NO_2	NO_3	Ntot	Nmintot	PO_4	Ptot	Cl	SiO_2	SO_4	Ca	Mg	Na	K	COD	COT	MES
	m^3/s	µgN/l	µgN/l	µgN/l	µgN/l	µgN/l	µgP/l	µgP/l	mg/l	mg/l	mg/l	méq/l	méq/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Concentrations moyennes									**Bassin versant Léman**									
Rhône amont	218.0	39	*	487	830	*	4.6	190.4	7.1	2.96	45.45	1.89	0.44	5.35	1.6	1.0	2.8	230
Dranse	24.9	23	5.9	579	763	608	6.8	51.5	6.7	3.47	48.25	3.24	0.69	4.09	1.0	*	*	16.6
Aubonne	5.96	34	9.4	1'390	*	1'433	17.7	63.3	5.8	2.67	4.53	3.34	0.46	3.57	0.6	3.0	*	18.6
Venoge	5.13	57	26.1	4'319	*	4'402	27.5	149.9	17.5	4.55	16.60	4.24	0.66	8.05	2.2	3.3	*	57.5
Versoix	4.63	30	60.2	1'323	*	1'413	72.1	110.3	9.4	*	6.78	3.20	0.45	4.05	0.5	2	*	*
Stockalper	3.17	318	41.9	888	*	1'248	7.6	63.7	*	*	*	*	*	*	1.3	3.4	*	318
Veveyse	3.10	25	5.8	800	*	830	4.3	205.6	14.2	3.95	13.82	3.14	0.54	9.87	1.1	2.8	*	21.8
Promenthouse	2.64	18	5.8	2'321	*	2'345	11.0	54.1	9.4	3.98	6.26	3.83	0.61	5.21	2.4	2.7	*	385
Chamberonne	1.05	39	24.4	3'392	*	3'456	41.9	130.0	29.5	5.48	34.16	3.80	0.70	16.70	3.3	3.4	*	68.4
Vengeron	0.92	359	161.5	3'057	*	3'578	256.6	322.7	16.7	*	15.54	2.93	0.59	6.11	1.9	2.6	*	12.4
Morges	0.57	37	26.0	6'274	*	6'338	44.9	187.4	22.1	8.01	26.73	4.85	0.93	9.43	0.9	2.4	*	6.6
Eau froide	0.46	228	42.5	2'218	*	2'489	6.6	24.2	3.9	3.63	31.27	3.14	0.53	4.01	*	*	*	*
Dullive	0.34	16	11.8	3'704	*	3'732	24.1	78.0	14.8	7.77	20.83	4.71	0.91	8.06	0.7	1.7	*	25.6
									Bassin Rhône aval									
Rhône émissaire	302.2	17	6.7	327	*	351	7.6	25.2	6.9	1.19	44.29	2.23	0.51	5.38	1.52	1.21	*	*
Arve	103.5	121	46.6	648	*	815	43.3	108.8	8.2	*	33.84	2.85	0.44	4.93	1.37	1.61	*	*
Allondon	6.48	114	42.2	1'735	*	1'891	80.2	162.2	7.1	*	7.57	3.55	0.41	3.78	1.13	1.56	*	*
Rhône Chancy	463.5	108	23.6	534	896	*	25.7	67.8	8.5	1.52	44.06	2.34	0.54	6.00	1.58	1.73	3.2	35.6

* = absence de données

TABLEAU 7 - Flux en 1999

1999	Débit	NH_4	NO_2	NO_3	Ntot	Nmintot	PO_4	Ptot	Ppart	Cl	SiO_2	SO_4	Ca	Mg	Na	K	COD	COT	MES
Flux	m^3/s	t N	t N	t N	t N	t N	t P	t P	t P	t Cl	t SiO2	t SO4	t Ca	t Mg	t Na	t K	t C	t C	t
Bassin versant Léman																			
Rhône amont	218.0	264.0	*	3'346	5'705	3'828	31.74	1'309	1'277	48'691	20'349	312'469	260'255	37'037	36'749	9'289	6'936	23'542	1'208'040
Dranse	24.9	18.4	4.6	455	599	478	5.31	40.5	35.2	5'267	2'722	37'890	51'012	6'556	3214	686	*	*	31'553
Aubonne	5.96	6.3	1.8	261	*	270	3.33	11.9	8.6	1'089	502	851	12'574	1'060	672	111	491	*	6'160
Venoge	5.13	9.2	4.2	699	*	713	4.46	24.3	19.8	2'839	737	2'688	13'768	1'292	1'303	292	507	*	13'735
Versoix	4.63	4.4	8.8	193	*	207	10.54	16.1	5.6	1'371	*	992	9'375	809	591	162	185	*	*
Stockalper	3.17	31.9	4.2	89	*	125	0.76	6.4	5.6	*	*	*	*	*	*	*	248	306	2'094
Veveyse	3.10	2.4	0.6	78	*	81	0.42	20.1	19.7	1'394	387	1'352	6'156	640	966	111	260	*	24'108
Promenthouse	2.64	1.5	0.5	193	*	195	0.92	4.5	3.6	784	331	521	6'377	619	433	83	183	*	3'212
Chamberonne	1.05	1.3	0.8	112	*	114	1.38	4.3	2.9	974	181	1'127	2'510	280	551	73	89	*	1'913
Vengeron	0.92	10.4	4.7	88	*	103	7.41	9.3	1.9	481	*	449	1'694	209	177	138	30	*	*
Morges	0.57	0.7	0.5	112	*	114	0.80	3.4	2.6	395	144	479	1'741	203	169	53	63	*	1'863
Eau froide	0.46	3.3	0.6	32	*	36	0.10	0.4	0.3	56	53	453	912	94	58	16	36	*	58
Dullive	0.34	0.2	0.1	39	*	40	0.26	0.8	0.6	158	83	222	1'005	118	86	23	35	*	253
Total de 13 affluents	270.87	353.9		5'699		6'302	67.43	1'450.8	1'383.3	63'499	25'487	359'491	367'380	48'915	44'968	11035	9'064		1'292'989
Bassin Rhône aval																			
Rhône émissaire	302.2	160.6	64.1	3'120	*	3'345	72.77	239.8	167.1	66'048	11'381	422'170	427'813	59'228	51'504	14'559	11'552	*	*
Arve	103.5	394.8	151.9	2'114	*	2'661	141.22	355.2	213.9	26'924	*	110'433	186'503	17'323	16'101	4'465	5'237	*	*
Allondon	6.48	23.3	8.6	355	*	387	16.39	33.1	16.8	1'446	*	1'548	14'527	1'021	773	232	318	*	*
Rhône Chancy	463.5	1'581.5	344.8	6'902	11'590	*	332.90	877.0	544.1	110'096	19'708	569'720	606'710	84'700	77'528	20'386	22'331	41'135	460'139

* = absence de données