

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

ASSESSMENT OF THE INPUT FROM THE TRIBUTARIES INTO THE LAKE GENEVA AND INTO THE RHÔNE DOWNSTREAM OF GENEVA

Campagne 2002

PAR

Philippe QUETIN et Jean-Marcel DORIOZ

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRTEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

François RAPIN

SECRETARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN
CP 80, CH - 1000 LAUSANNE 12

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 sept affluents complémentaires qui sont eux soit proportionnels au temps (en continu ou un 24 heures par mois) soit instantanés (une à deux fois par mois). 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.

Bien que l'année 2002 soit une année de pluviométrie relativement élevée au voisinage du Léman, les débits moyens annuels sont légèrement inférieurs à la moyenne de la période 1981-2000.

En 2002, les apports en phosphore total au lac par les quatre rivières principales ont été de 1'010 tonnes. Le Rhône amont représente 91.5 % de ces apports. Les sept rivières complémentaires apportent 48 tonnes de phosphore total au Léman.

Les apports en phosphore dissous des quatre rivières principales (53.1 tonnes, dont 40.2 pour le Rhône amont) et des rivières complémentaires (6.7 tonnes) sont du même niveau que ceux de 2000. Les concentrations moyennes annuelles sont, dans certaines rivières, telles la Chamberonne (56 µgP/L), la Dullive (44 µgP/L) et la Morges (42 µgP/L), encore relativement élevées.

Les concentrations en azote minéral total varient de 0.65 mgN/L dans la Dranse à 5.2 mgN/L dans la Morges. La Venoge, ainsi que deux rivières complémentaires, la Morges et l'Eau froide, dépassent la concentration moyenne annuelle de 3 mgN/L.

Les apports en chlorure sont en baisse avec 53'600 tonnes dans les rivières principales. Les sept affluents complémentaires apportent 2'470 tonnes. La concentration moyenne annuelle pondérée par les débits dans les rivières complémentaires (7.97 mgCl/L) est du même ordre que celle des rivières principales (8.1 mgCl/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 1.3, on constate que les nitrates sont multipliés par un facteur de 3, le phosphore total augmente d'un facteur 3.2 et le phosphore dissous d'un facteur 3.6.

ABSTRACT

The input into lake Geneva from the rivers is calculated from the results of analyses of either continuous water samples proportional to the rate of flow in the four main tributaries (the Rhône further upstream, the Dranse, the Aubonne and the Venoge) or samples from seven minor tributaries, which were either proportional to time (continuous or 24 hours per month) or instantaneous (once or twice a month). The outputs from the lake were checked in the Rhône flowing out from Geneva. Finally, tests of the Rhône further downstream (at Chancy) and its main tributaries in the Geneva region were used to identify the extent of inputs from the catchment area of the Rhône between its emergence from lake Geneva and where it enters French territory.

Although the year 2002 was a year with a relatively high rainfall in the neighborhood of lake Geneva, the mean annual flow rates were slightly lower than the mean value for 1981-2000.

In 2002, the inflow of total phosphorus into the lake from the four main tributaries was 1'010 tons. The Rhône further upstream was the source of 91.5 % of this inflow. The seven secondary tributaries carried 48 tons of total phosphorus into lake Geneva.

The dissolved phosphorus inflow from the four main tributaries (53.1 tons, 40.2 tons from the Rhône further upstream) and from the secondary tributaries (6.7 tons) was the same as in 2000. The mean annual concentrations in some of the tributaries, such as the Chamberonne (56 µgP/L), the Dullive (44 µgP/L) and the Morges (42 µgP/L), were still relatively high.

The concentrations of total inorganic nitrogen ranged from 0.65 mgN/L in the Dranse to 5.2 mgN/L in the Morges. Concentrations in the Venoge, and two secondary tributaries, the Morges and the Eau froide, were higher than the mean annual concentration of 3 mgN/L.

The chloride inflow had fallen, with 53'600 tons in the main tributaries. The seven secondary tributaries contributed 2'470 tons. The mean annual concentration, weighted to allow for the flow in the secondary tributaries (7.97 mgCl/L), was of the same order as that in the main tributaries (8.1 mgCl/L).

The determinations carried out in the various rivers downstream from the lake were used to assess the contribution of the drainage basin of the Rhône between its emergence from lake Geneva and Chancy in terms of chemicals such as nitrates, total phosphorus and dissolved phosphorus. Between the emergence of the Rhône and Chancy, it was found that when flow rates increased by a factor of 1.3, the nitrates increased threefold, the total phosphorus increased by a factor of 3.2 and the dissolved phosphorus increased by a factor of 3.6.

1. GÉNÉRALITÉS

En 2002, 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 complémentaires, tous situés sur la côte suisse, ont été suivis : la Versoix, la Promenthouse, la Dullive, la Morges, la Chamberonne, la Veveyse et l'Eau Froide. Les résultats des suivis de ces affluents complémentaires font l'objet d'un chapitre particulier (chap. 4). Compte tenu de l'importance relative des rivières complémentaires par rapport aux rivières principales (le Rhône amont mis à part), nous avons inclus les apports des rivières complémentaires 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 de l'écologie de l'eau, 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-UMR/CARTEL), Thonon-les-Bains
- Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG), Dübendorf, programme NADUF.

La validité des résultats est périodiquement testée par des analyses interlaboratoires organisées dans le cadre de la CIPEL auxquelles participent environ 20 laboratoires (STRAWCZYNSKY, 2003).

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.

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 complémentaires. Toutes les autres rivières sont suivies dans le cadre de programmes cantonaux ou propres aux laboratoires.

Tableau 1: Type de prélèvement

Table 1 : Type of sample

	Proportionnel au débit, intégré sur 1 ou 2 semaines	Proportionnel au temps, intégré sur 1 semaine	Proportionnel au temps, intégré sur 24 heures (1 x mois)	Instantané (1 à 2 x mois)
Bassin du Léman				
Rhône - Porte du Scex	x ¹			
Dranse	x ¹			
Aubonne	x ¹			
Venoge	x ¹			
Versoix				x ³
Veveyse		x		
Promenthouse		x		
Chamberonne		x		
Eau Froide			x	
Morges		x		
Dullive			x	
Rhône émissaire	x ²			
Bassin du Rhône aval				
Arve				x
Allondon				x
Rhône à Chancy	x ²			

¹ = intégré sur une semaine

² = intégré sur deux semaines

³ = instantané 2 fois par mois

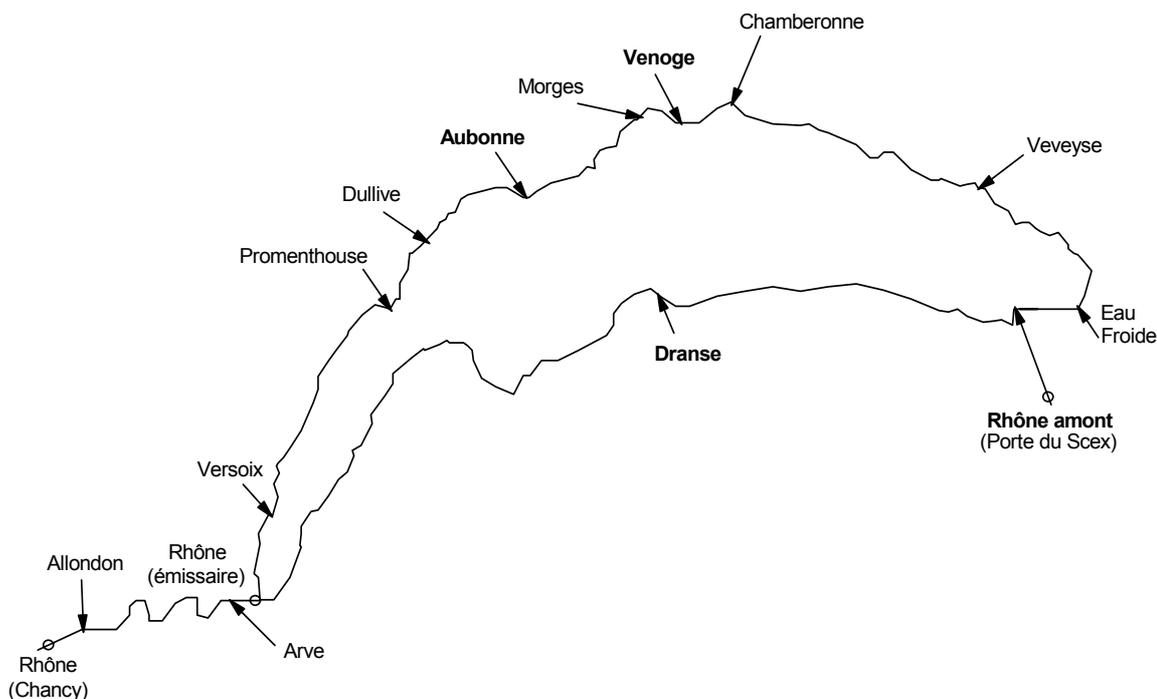


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées

Figure 1 : Location of the various rivers investigated

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

Sur le pourtour du Léman, l'année 2002 est une année à pluviométrie relativement élevée (surtout lors du dernier trimestre) avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 1'210 mm (QUETIN, 2003). Toutefois, les débits moyens des rivières principales, ainsi que la moyenne décennale (1983-2002) sont en baisse par rapport à 2001.

Tableau 2 : Débits des affluents principaux et de l'émissaire (m³/s)

Table 2 : Flow rates of the main tributaries and of the effluent river (in Geneva) (m³/s)

Année	Rhône amont	Dranse	Aubonne	Venoge	Rivières complémentaires	Rhône émissaire
1983	206.0	22.7	6.5	5.2		268.0
1984	160.2	19.6	5.9	5.3		221.0
1985	182.7	19.7	4.6	3.4		258.0
1986	199.1	21.4	5.3	3.9		259.1
1987	198.2	23.3	6.9	4.7		276.6
1988	206.7	22.2	6.7	5.5		278.9
1989	169.6	12.1	2.9	2.3		207.2
1990	172.2	18.3	3.7	3.0		238.6
1991	173.7	14.9	5.9	3.2	12.3	201.5
1992	178.5	21.3	7.2	4.1	16.8	224.7
1993	191.2	17.3	5.6	6.6	16.5	243.2
1994	216.4	20.5	6.1	4.5	11.7	297.4
1995	210.5	27.2	6.6	5.3	13.6	303.4
1996	147.2	15.2	4.5	3.5	9.7	192.5
1997	184.9	18.7	5.8	3.9	8.0	234.0
1998	170.5	17.2	4.9	3.3	8.0	216.3
1999	218.0	24.9	6.0	5.1	16.9	302.2
2000	189.7	19.8	6.1	4.2	10.4	246.6
2001	200.8	26.2	6.7	5.6	11.5	308.5
2002	178.3	20.8	6.0	4.8	9.8	249.1
Moyenne	187.9	20.2	5.7	4.4	12.1	251.3

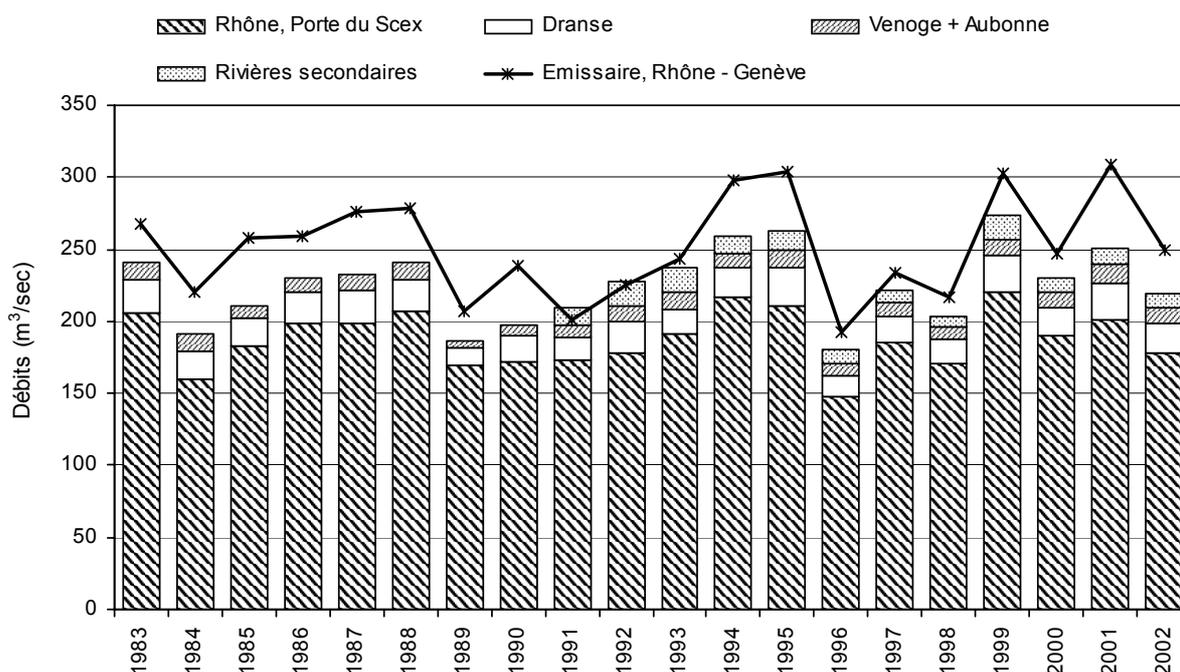


Figure 2 : Débits moyens annuels

Figure 2 : Mean annual flow rates

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 (proportionnel au débit ou au temps)

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

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

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

avec Fmoy = flux moyen (g/s)
 Ci = concentration dans l'échantillon prélevé (g/L)
 Qi = débit moyen de la période correspondante (m³/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.

La fraction dissoute est donc la plus importante au plan biologique : l'orthophosphate (PO₄) 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 en phosphore total par les quatre rivières principales sont de 1'010 tonnes pour l'année 2002, soit 110 tonnes de moins par rapport à 2001. Ils sont de 920 tonnes pour le Rhône-amont. Les valeurs pour l'année 2002 sont égales à la médiane de la période 1980-2002. La valeur du phosphore total dans le Rhône émissaire est depuis 1988 relativement stable, son évolution depuis 1980 suit une loi logarithmique avec un coefficient de corrélation r² = 0.83. La Dranse suit le même type d'évolution avec un coefficient de 0.72.

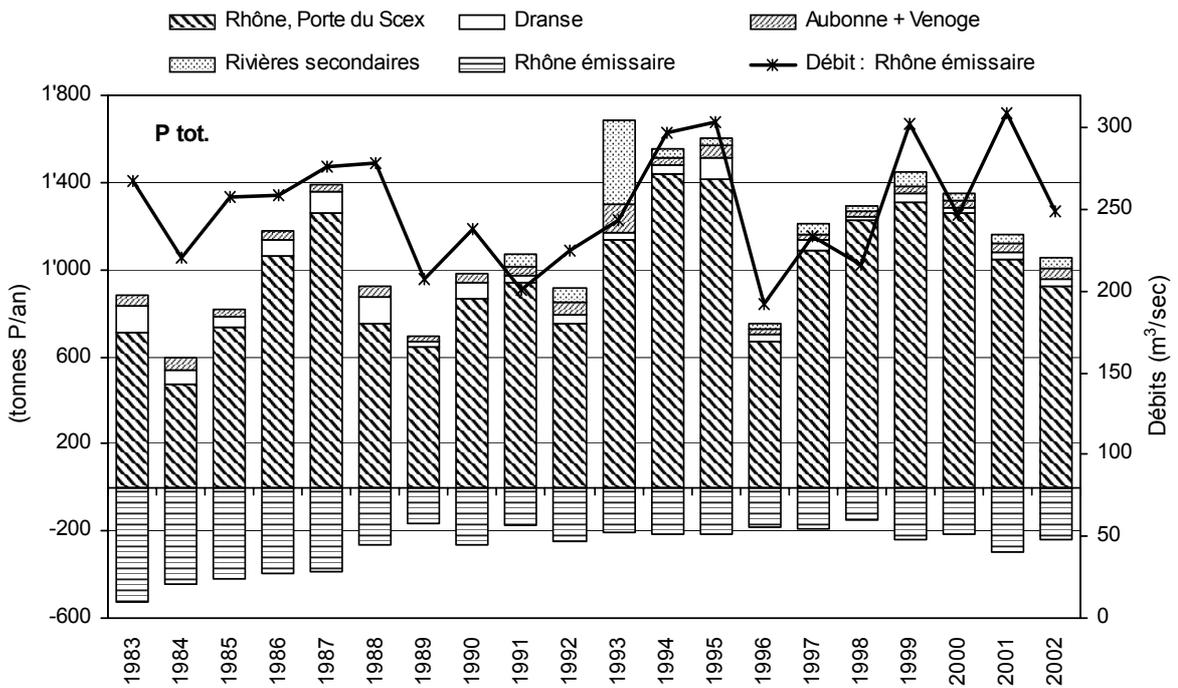


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 3 : Total phosphorus - Annual inflow from the main and secondary tributaries, and annual loss via the effluent river. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

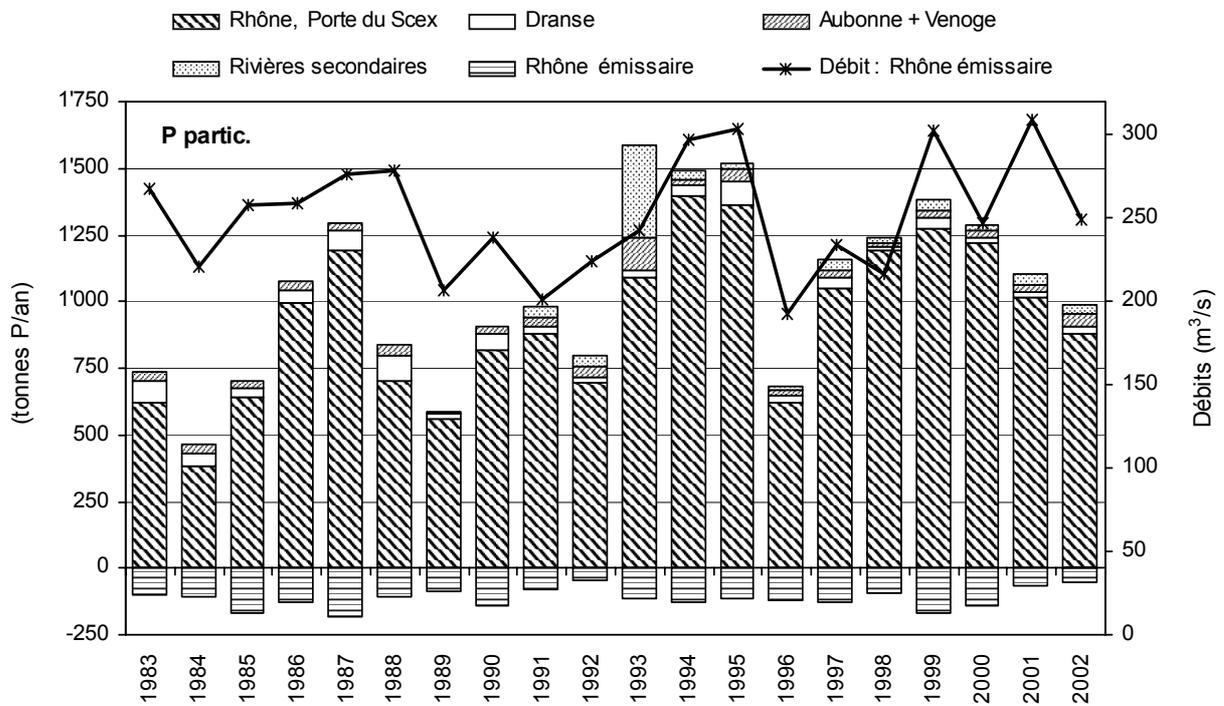


Figure 4 : Phosphore particulaire - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 4 : Particulate phosphorus - Annual inflow from the main and secondary tributaries, and annual loss via the effluent river. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

3.1.2 Phosphore dissous (orthophosphate)

Le total des apports en orthophosphate par les affluents principaux (53.1 tonnes, dont 40.2 pour le Rhône amont) est en légère augmentation (+ 4 tonnes) par rapport à 2001. Pour les rivières complémentaires (6.7 tonnes, cf. 4.1) il y a une légère diminution (- 1.2 tonnes). L'émissaire du lac à Genève est en augmentation (+ 6.5 tonnes). Mais globalement l'évolution des flux de phosphore dissous dans le Rhône émissaire depuis 1980 suit une loi logarithmique avec un coefficient de corrélation $r^2 = 0.90$. Pour le Rhône amont son évolution est du type exponentiel avec un coefficient de corrélation $r^2 = 0.73$.

Les concentrations moyennes annuelles pondérées par les débits se répartissent comme suit : 7.1 $\mu\text{gP/L}$ pour le Rhône amont, 8.0 $\mu\text{gP/L}$ pour la Dranse, 17.7 $\mu\text{gP/L}$ pour l' Aubonne et 29.2 $\mu\text{gP/L}$ pour la Venoge.

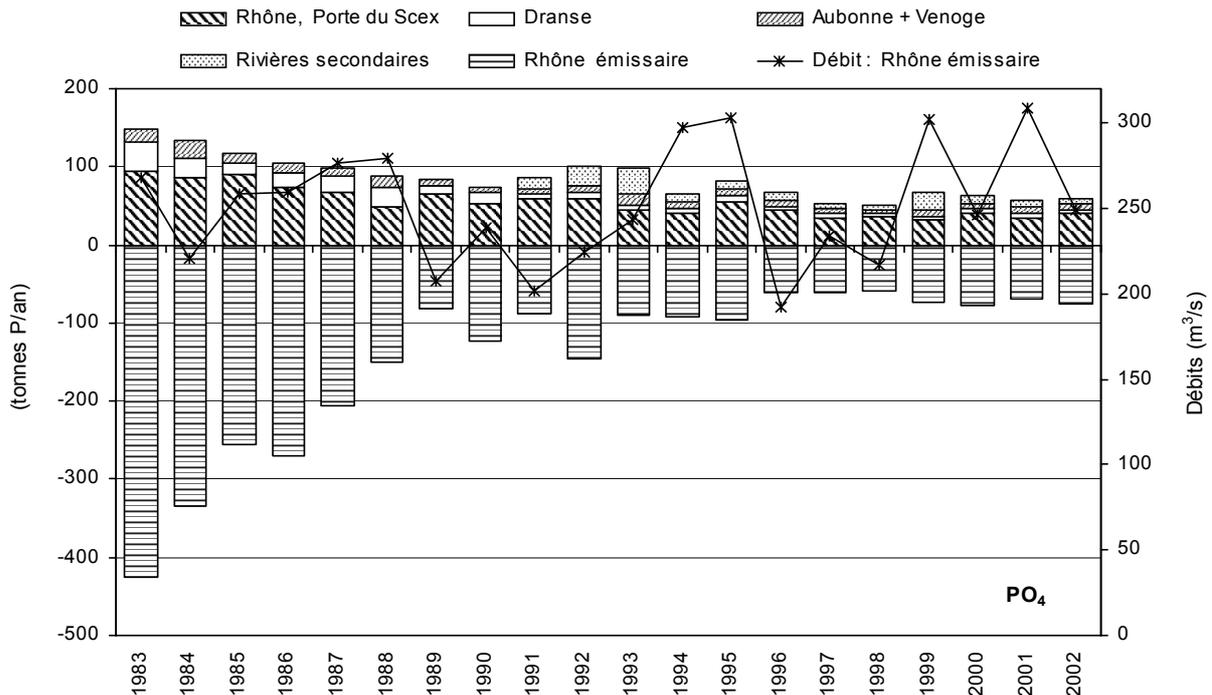


Figure 5 : Phosphore dissous (orthophosphate) - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 5 : Dissolved phosphorus (orthophosphate) - Annual inflow from the main and secondary tributaries, and annual loss via the effluent river. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

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

Pour l'azote total (azote minéral et organique) dans le Rhône amont, les apports en 2002 (3'869 tonnes) sont plus faibles que la moyenne interannuelle 1980-2002 (5'502 tonnes). C'est la première fois depuis 1980 que l'azote total est inférieur à 4'000 tonnes. L'évolution de l'azote total pour la Dranse est stable au niveau de sa médiane 1980-2002 (539 tonnes).

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par les rivières principales s'élèvent à 4'150 tonnes. Le Rhône amont représente 71 % du total des apports des rivières principales. L'évolutions des apports depuis 1980 est toujours en relative stabilité.

Les exportations d'azote nitrique par l'émissaire en 2002 sont de 2'139 tonnes, total inférieur à la moyenne 1980 - 2002 (3'137 t).

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

Table 3 : Annual inflow of total nitrogen (tons N/year) and weighted mean annual concentrations - the Rhône Porte du Scex and the Dranse

Année	Rhône amont		Dranse	
	tonnes	mgN/L	tonnes	mgN/L
1983	5'685	0.880	531	0.740
1984	6'181	1.220	450	0.730
1985	5'592	0.970	525	0.850
1986	5'869	0.940	549	0.820
1987	7'362	1.160	567	0.770
1988	6'649	1.020	598	0.850
1989	4'929	0.920	322	0.850
1990	6'136	1.130	493	0.860
1991	5'790	1.060	412	0.880
1992	6'520	1.160	606	0.900
1993	5'672	0.940	438	0.800
1994	5'647	0.827	472	0.729
1995	5'949	0.896	627	0.730
1996	4'132	0.890	396	0.827
1997	4'871	0.835	493	0.833
1998	4'593	0.854	459	0.846
1999	5'705	0.830	599	0.763
2000	4'654	0.791	549	0.877
2001	4'561	0.720	613	0.742
2002	3'869	0.688	539	0.822
Moyenne	5'502	0.937	517	0.811

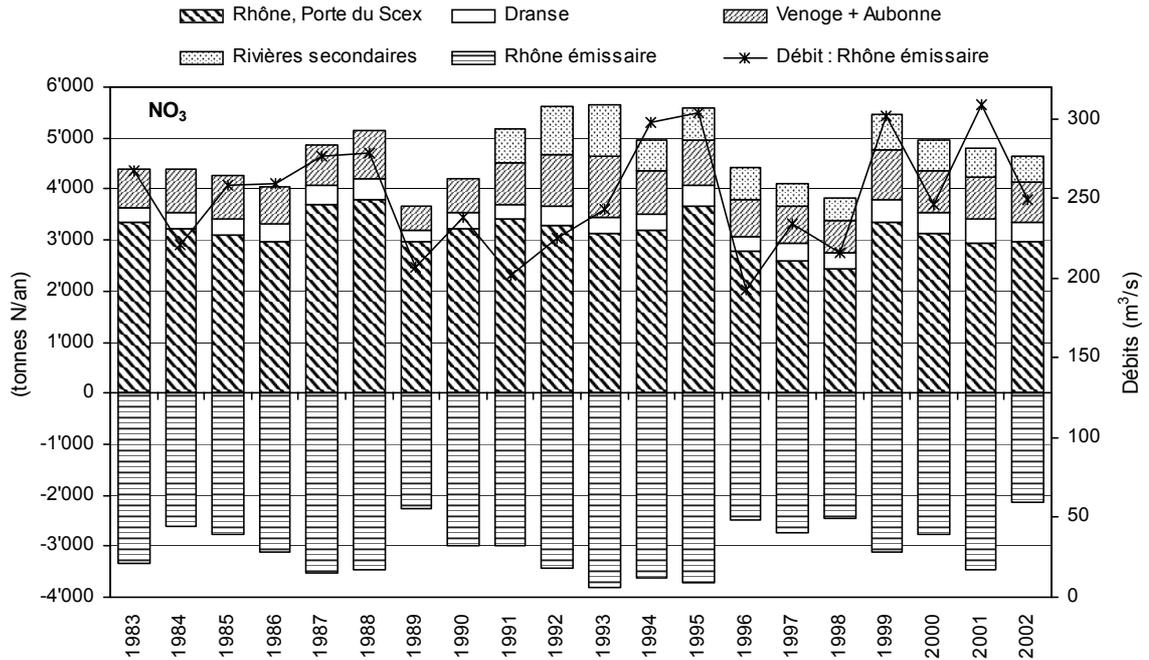


Figure 6 : Azote nitrique - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 6 : Nitric nitrogen - Annual inflow from the main and secondary tributaries, and annual loss via the effluent river. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

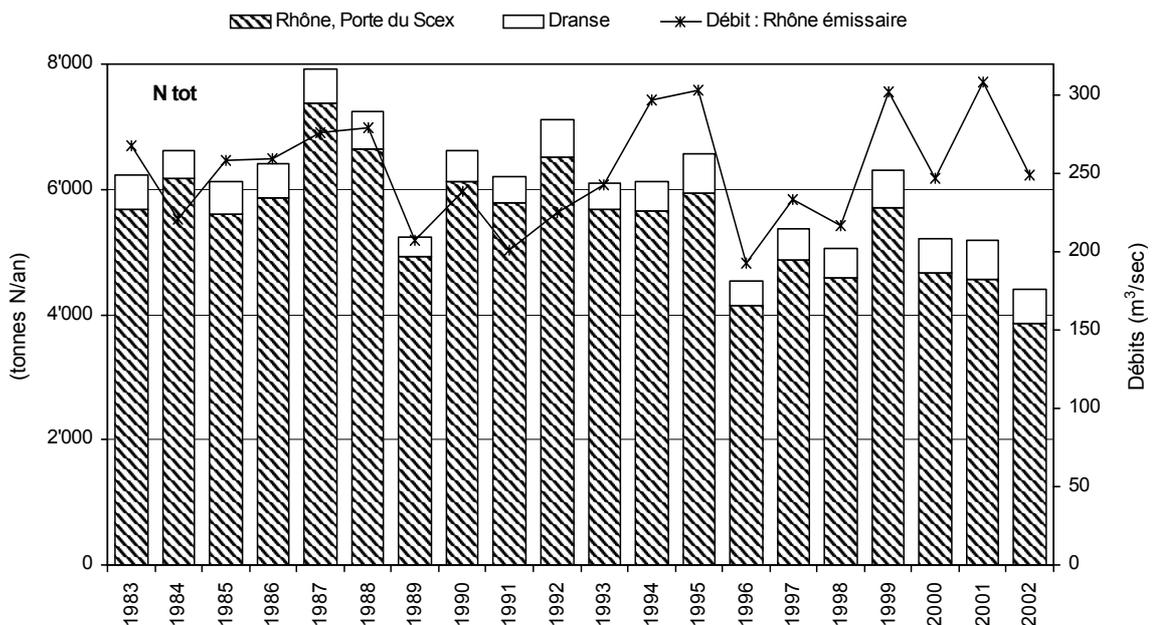


Figure 7 : Azote total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 7 : Total nitrogen - Annual inflow from the main and secondary tributaries. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

3.3 Chlorure (figure 9)

Pour 2002, la concentration moyenne, pondérée par le débit, en chlorure pour les 4 affluents principaux est de 8.1 mgCl/L et les apports totaux par les rivières principales atteignent 53'600 t.

La teneur moyenne dans les eaux du Rhône à l'émissaire atteint 7.3 mgCl/L (la même qu'en 2001), ce qui correspond en terme de bilan à une perte annuelle de 57'030 t.

L'évolution de la valeur du chlorure dans le Rhône amont depuis 1980 suit une loi linéaire avec un coefficient de corrélation $r^2 = 0.89$. L'évolution de l'émissaire est du même type avec un coefficient de corrélation $r^2 = 0.57$.

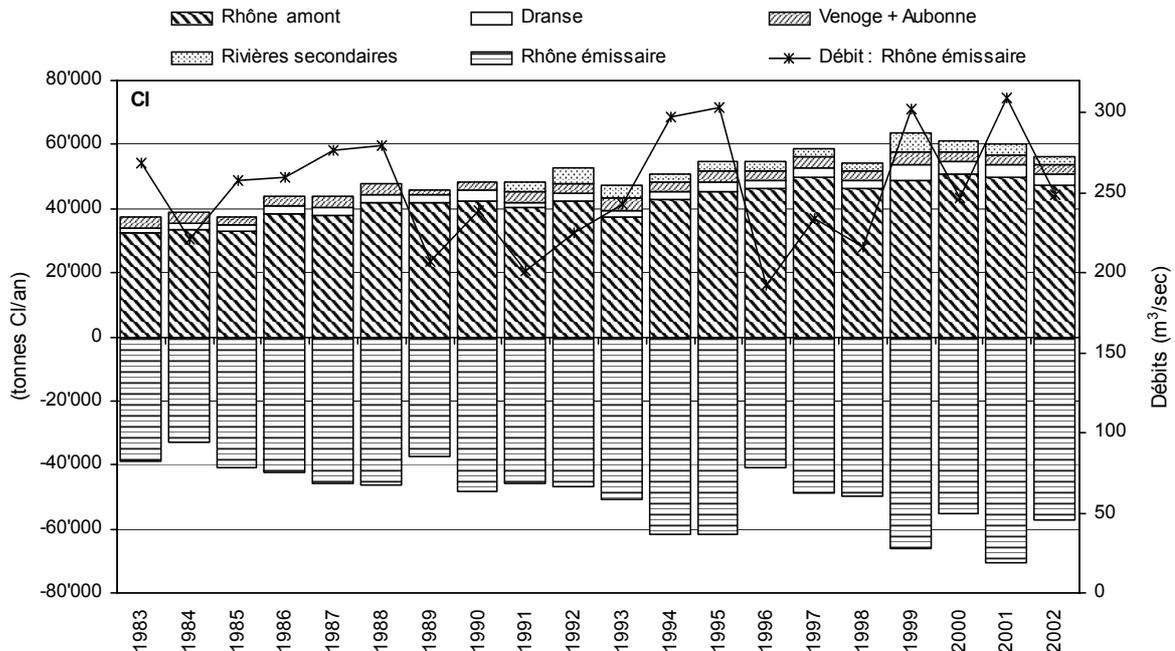


Figure 8 : Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 8 : Chloride - Annual inflow from the main and secondary tributaries, and annual loss via the effluent river. (Do not attempt a complete assessment, because no allowance is made for the direct WWTP input into the lake)

3.4 Carbone organique

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

Les concentrations moyennes pondérées par les débits évoluent entre 1.13 mgC/L pour le Rhône-amont à 4.00 mgC/L pour la Morges.

La concentration de COD dans les eaux du Rhône émissaire est de 1.28 mgC/L pour l'année 2002, alors que la concentration moyenne annuelle pondérée par les débits de l'ensemble des rivières principales et complémentaires considérées est de 1.33 mgC/L.

Les concentrations moyennes annuelles en carbone organique total dans les eaux sont de 3.09 mgC/L pour le Rhône amont et 2.34 mgC/L pour le Rhône à Chancy. Elles sont de nouveau en baisse pour le Rhône amont, tandis que pour le Rhône à Chancy elles sont en légère hausse.

4. ÉTUDE DES AFFLUENTS COMPLÉMENTAIRES

Les affluents complémentaires étudiés fournissent un débit total de 9.8 m³/s, soit 4.5 % des apports mesurés au lac (même pourcentage depuis 2000). Comme pour les affluents principaux, l'ensemble des résultats de la campagne 2002 sur les sept affluents complémentaires 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 complémentaires (+ Rhône à Chancy) : débits moyens annuels en m³/s

Table 4 : Secondary tributaries (+ Rhône at Chancy) : mean annual flow in m³/s

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Bassin versant du Léman											
Versoix	4.66	2.87	3.17	3.65	3.35	2.74	3.07	4.63	3.30	3.88	3.49
Stockalper	3.62	2.79	2.41	3.32	2.20			3.17		3.21	
Veveyse	2.58	1.87	2.40	1.88	1.16	1.63	1.84	3.10	3.17	2.89	2.57
Promenthouse	1.41	1.72	1.30	1.97	1.23	1.79	1.43	2.64	1.90	2.25	1.78
Chamberonne	0.68	0.68	1.07	1.06	0.77	0.75	0.68	1.05	0.88	1.08	0.86
Hermance									0.54		
Eau Froide	0.29	0.78	0.53	0.55	0.33		0.38	0.46	0.47	0.44	0.43
Morges	0.28	1.69	0.48	0.97	0.47	0.43	0.33	0.57	0.45	0.67	0.50
Dullive	0.25	0.98	0.28	0.19	0.21	0.21	0.26	0.34	0.24	0.24	0.18
Vengeron	0.32							0.92			
Nant d'Aisy									0.04		
Mercube			0.02								
Nant de Pry						0.17					
Le Brassu						0.17					
Nant de Brai						0.08					
Bassin versant du Rhône aval											
Arve	92.8	62.50	84.28	90.55	71.36	63.03	65.63	103.5	72.59	92.1	61.0
Allondon	6.17	3.78	3.96	3.80	4.45	3.01	3.00	0.48	3.73	5.12	3.43
Rhône Chancy	363.0	356.5	403.57	415.67	285.37	333.09	307.30	416.00	330.01	439.1	334.6

4.1 Phosphore dissous (orthophosphate) et phosphore total

En phosphore total, 48.2 tonnes sont amenées par les rivières complémentaires contrôlées.

La charge annuelle en phosphore dissous qui transite par les sept affluents est de 6.7 tonnes. Ce tonnage représente la moitié des apports des 3 rivières principales Dranse, Aubonne et Venoge (hors Rhône) qui s'élèvent à 13 tonnes. Il est à relever l'importance des apports de la Versoix, avec 3 tonnes.

En terme de concentration en orthophosphate, la Chamberonne (55.7 µgP/L), la Dullive (44.1 µgP/L) et la Morges (42.5 µgP/L) sont les rivières présentant les concentrations les plus élevées. Les concentrations sont en légère hausse par rapport à 2001.

4.2 Azote minéral total

Les concentrations moyennes annuelles en azote minéral total varient de 0.7 mgN/L pour la Veveyse à 5.2 mgN/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 (3.7 mgN/L) et la Dranse (0.65 mgN/L).

Les apports cumulés de l'ensemble des rivières complémentaires représentent 42 % des apports cumulés de la Venoge, de l'Aubonne et de la Dranse. Globalement, les rivières complémentaires examinées transfèrent 514 tonnes d'azote minéral total au Léman, en baisse par rapport à 2001 (603 tonnes).

4.3 Chlorure

Les apports en chlorure des rivières complémentaires atteignent 2'470 tonnes. La baisse par rapport à 2001 est du même ordre de grandeur que celle relevée sur la Dranse (20 %) Par rapport aux quatre rivières principales, les apports des rivières complémentaires représentent 4.6 %. La concentration moyenne annuelle pondérée par le débit dans les rivières complémentaires est de 7.97 mgCl/L. Les concentrations en chlorure varient entre 5.11 mgCl/L (l'Aubonne) et 16.5 mgCl/L (la Morges), et sont en légère augmentation par rapport à 2001.

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 plusieurs affluents, les deux principaux étant l'Arve (débit moyen 72.5 m³/s) et l'Allondon (débit moyen 3.73 m³/s). Les débits du Rhône émissaire et de l'Arve constituent 96.7 % 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 EH¹. 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 m³/s et flux en tonnes/an

Table 5 : Flow in m³/s and in tons/year

	Débits m ³ /s	Nitrate (NO ₃) t N/an	Ammonium (NH ₄) t N/an	Ortho- phosphate (PO ₄) t P/an	Phosphore total t P/an	Carb. org. dissous (DOC) t C/an	Chlorure t Cl/an	Sulfates t SO ₄ /an
Rhône émissaire	249.1	2'139	335.5	76.0	239	10'085	57'028	349'144
Arve	61.0	1'046	281.2	82.0	169	2'045	12'816	82'107
Allondon	3.4	187	7.6	7.7	10	215	699	8'700
Bassin versant "genevois" *	21.1	3'004	72.7	111.3	336	5'118	19'184	43'357
Rhône Chancy	334.60	6'376	697.0	277.1	755	17'464	89'726	475'435

* = valeur non mesurée, mais obtenue par soustraction

¹ EH = équivalent habitant à 60 g de DBO₅ par jour

Entre Chancy et le Rhône à l'émissaire le flux de nitrates est augmenté d'un rapport de 3. Le flux de phosphore dissous à Chancy provient à 40 % du bassin dit "genevois" et à 30% de l'Arve. Pour le phosphore total, 45 % proviennent du bassin dit "genevois" et pour le carbone organique dissous 30 %.

Alors que les débits du Rhône émissaire représentent 74.4 % du débit du Rhône à Chancy, la participation du Rhône émissaire dans la charge totale du Rhône à Chancy représente :

- 27.4 % de la charge en phosphore dissous (orthophosphate)
- 31.7 % de la charge en phosphore total
- 33.5 % de la charge en nitrates
- 48.1 % de la charge d'ammonium
- 57.7 % de la charge de carbone organique dissous
- 63.5 % de la charge en chlorure
- 73.4 % de la charge en sulfates.

Ces participations sont en légère baisse par rapport à 2001 sauf pour le phosphore dissous.

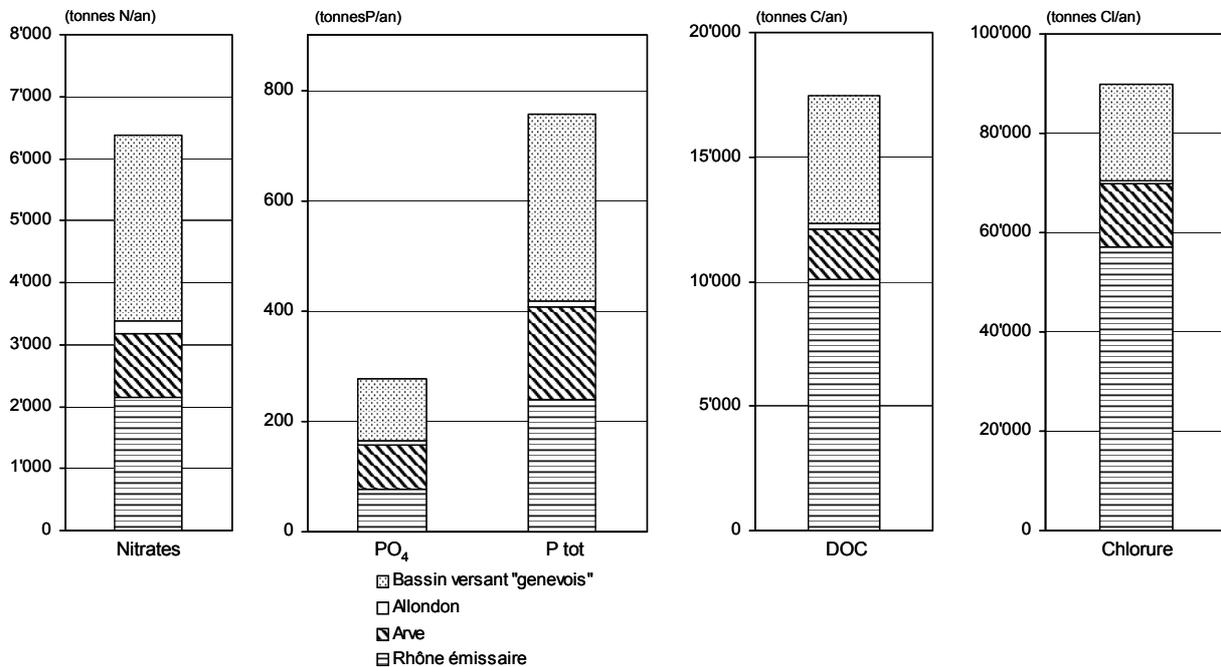


Figure 9 : Charges du Rhône à Chancy en 2002

Figure 9 : Levels in the Rhône at Chancy in 2002

6. CONCLUSIONS

6.1 Bassin versant du Léman

Avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 1'210 mm sur le bassin versant proche du Léman, 2002 est une année de pluviométrie relativement élevée surtout lors du dernier trimestre. Par contre, les débits des différentes rivières sont légèrement inférieurs à leur moyenne sur 10 ans. La somme des débits moyens de l'ensemble des quatre affluents principaux (Rhône, Dranse, Aubonne et Venoge) est de 210 m³/s.

Les apports en phosphore total sont de 1'010 tonnes pour les quatre rivières principales. Les apports par le Rhône amont représentent 92 % de ce total. Pour le phosphore dissous, élément directement assimilable par les algues, les apports par les rivières principales (53.1 tonnes) repassent en dessus de 50 tonnes. Les apports par les mêmes rivières complémentaires qu'en 2001 (6.7 tonnes) sont en légère baisse. Ce tonnage représente la moitié des apports des 3 rivières principales Dranse, Aubonne et Venoge (hors Rhône), qui est de 13 tonnes. Il est à relever l'importance des apports de la Versoix, avec 3 tonnes. En terme de concentration moyenne annuelle en phosphore dissous, la Chamberonne atteint le niveau de 56 µgP/L, la Dullive 44 µgP/L et la Morges 42 µgP/L, ces concentrations restent relativement élevées et en légère hausse par rapport à 2001. Depuis 1998, les flux dans le Rhône émissaire sont stables (environ 74 t/an).

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par l'ensemble des rivières principales et complémentaires contrôlées, s'élèvent à 4'643 tonnes. Les apports en azote minéral total par le Rhône amont représentent 64 % de l'ensemble des apports des quatre rivières principales et de sept rivières complémentaires. On constate que les 3 mêmes rivières qu'en 2001 ont des concentrations en azote minéral total supérieures à 3 mgN/L; c'est le cas pour la Morges (5.2 mgN/L), la Venoge (3.7 mgN/L), et l'Eau Froide (3.7 mgN/L).

Les apports en chlorure par l'ensemble des rivières contrôlées sont de 56'070 tonnes, soit légèrement moins qu'en 2001. La concentration moyenne pondérée par les débits pour les rivières principales atteint 8.1 mgCl/L.

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 1'046 tonnes de nitrates, 281 tonnes d'ammonium, 82 tonnes de phosphore dissous (orthophosphate) et 2'045 tonnes de carbone organique dissous. Le bassin dit "genevois" apporte, quant à lui, 3'004 tonnes de nitrates, 111 tonnes de phosphore dissous et 5'118 tonnes de carbone organique dissous.

La charge du Rhône en éléments fertilisants à la frontière franco-suisse (Chancy) est multipliée par 3 pour le nitrate, par 2 pour le carbone organique dissous et par 1.5 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 16 % pour le nitrate et 30 % pour le phosphore dissous (en légère baisse par rapport à 2001). Pour le bassin dit "genevois", les charges (obtenues par soustraction) représentent 47 % pour le nitrate et 40 % pour le phosphore dissous (le double par rapport à 2001 pour le nitrate, et de même ordre de grandeur pour le phosphore dissous).

BIBLIOGRAPHIE

QUETIN, P. (2003) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 19-30.

STRAWCZYNSKY, A. et PASQUINI, F. (2003) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 161-172.

Tableau 6 : Concentrations moyennes en 2002

Table 6 : Mean concentrations in 2002

2002	Débit	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Nmintot	Ntot	P-PO ₄	Ptot	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	COD	COT	MES
	m ³ /s	µgN/L	µgN/L	µgN/L	µgN/L	µgN/L	µgP/L	µgP/L	mg/L	mg/L	még/L	még/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Concentrations moyennes Bassin versant du Léman																		
Rhône amont	178.3	42.6		527		688	7.1	164.0	8.39	50.81	2.03	0.46	5.96	1.46	3.12	1.13	3.09	158.1
Dranse	20.8	31.1	8.1	608	647	822	8.0	47.9	5.25	51.37	3.47	0.74	3.53	0.88	3.84			34.7
Aubonne	6.0	18.1	7.4	1'253	1'276		17.7	87.8	5.11	4.72	3.44	0.44	3.02	0.78	2.66	3.21		52.2
Venoge	4.8	53.8	23.4	3'665	3'742		29.2	253.6	13.52	16.89	4.20	0.61	6.58	2.17	4.91	3.71		180.5
Versoix	3.5	79.1	20.6	1'013	1'113	1'431	27.3	59.3	7.37	5.96	3.46	0.46	4.41	1.14		2.19		
Veveyse	2.6	25.0	7.6	663	696		5.8	292.0	5.92	13.12	3.07	0.50	5.05	1.39	4.26	3.16		349.7
Promenthouse	1.8	21.0	5.4	1'998	2'025		12.7	125.6	6.45	6.22	3.87	0.56	3.53	1.28	3.98	2.73		107.8
Chamberonne	0.86	62.2	26.8	2'633	2'722		55.7	191.7	15.50	33.62	3.55	0.63	9.86	2.65	5.45	3.06		93.4
Morges	0.50	42.9	28.4	5'144	5'215		42.5	317.9	16.50	25.93	4.60	0.86	7.47	3.41	8.01	4.00		227.4
Eau Froide	0.43	107.0	8.9	3'588	3'704		4.6	18.8	5.50	31.81	3.27	0.52	7.55	1.83	3.86	2.20		3.2
Dullive	0.18	47.4	20.5	2'558	2'626		44.1	82.8	10.51	19.59	4.77	0.92	6.24	2.25	7.70	2.82		18.2
Bassin versant du Rhône aval																		
Rhône émissaire	249.1	42.7	11.7	272	327	575	9.7	30.5	7.26	44.45	2.10	0.49	5.26	1.45	0.74	1.28		
Arve	61.0	146.3	46.9	544	737	1'011	42.7	87.9	6.66	42.70	2.76	0.46	5.08	1.30		1.06		
Allondon	3.4	70.4	30.8	1'730	1'831	2'228	71.2	95.6	6.46	7.65	4.01	0.48	4.34	1.35		1.99		
Rhône Chancy	334.6	61.6	25.6	604	691	781	26.3	71.6	8.50	45.05	2.32	0.54	5.95	1.57	1.51	1.65	2.34	21.0

Tableau 7 : Flux en 2002

Table 7 : Flow in 2002

2002	Débit	N-NH4	N-NO2	N-NO3	Nmintot	NtotBrut	P-PO4	PtotBrut	Ppartic	Cl	SO4	Ca	Mg	Na	K	SiO2	DOC	TOC	MES
Flux en t/an	(m³/s)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)
Bassin versant du Léman																			
Rhône amont	178.3	239.5		2'965		3'869	40.15	922.5		47'158	285'731	229'038	31'290	33'490	8'120	17'521	6'348	17'357	889'273
Dranse	20.8	20.4	5.3	399	425	539	5.27	31.5	24.5	3'448	33'711	45'644	5'889	2'317	578	2'520			22'766
Aubonne	6.0	3.0	1.4	235	240		3.32	16.5	12.2	961	886	12'945	1'014	567	147	500	606		9'799
Venoge	4.8	8.1	3.5	551	563		4.38	38.1	32.6	2'032	2'540	12'655	1'122	989	326	738	557		27'148
Versoix	3.5	8.7	2.3	112	123	158	3.01	6.5		812	657	7'633	622	486	126		242		
Veveyse	2.6	2.0	0.62	53.8	56.4		0.47	23.7	22.8	480	1'063	4'990	496	409	113	346	256		28'350
Promenthouse	1.8	1.2	0.30	112	114		0.71	7.0	6.1	362	349	4'346	383	198	72	223	153		6'046
Chamberonne	0.86	1.7	0.73	71.5	73.9		1.51	5.2	3.4	420	913	1'931	207	268	72	148	83		2'535
Morges	0.50	0.67	0.45	80.8	81.9		0.67	5.0	4.2	259	407	1'447	164	117	54	126	63		3'573
Eau Froide	0.43	1.5	0.12	49.1	50.7		0.06	0.26	0.14	75	435	896	86	103	25	53	30		43
Dullive	0.19	0.28	0.12	14.9	15.3		0.26	0.48	0.19	61	114	558	66	36	13	45	16		106
Total de 11 affluents	219.7	287.0		4'644			59.82	1'057		56'068	326'807	322'084	41'339	38'981	9'724				
Bassin versant du Rhône aval																			
Rhône émissaire	249.1	335.5	91.9	2'139	2'567	4'513	76.04	239.4	56.0	57'028	349'144	330'134	46'403	41'313	11'364	5'819	10'086		
Arve	61.0	281.2	90.3	1'046	1'417	1'944	82.01	169.1		12'816	82'107	106'227	10'698	9'767	2'505		2'045		
Allondon	3.4	7.6	3.3	187.1	198.1	241	7.70	10.3		699	827	8'700	630	470	146		215		
Rhône Chancy	334.6	697	288.7	6'376	7'362	8'240	277.1	755.2		89'726	475'435	490'742	68'705	62'839	16'542	15'950	17'464	24'658	221'171