

## **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 2003**

PAR

**Philippe QUETIN et Jean-Marcel DORIOZ**

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRETEL), BP 511, FR - 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 onze affluents complémentaires. Le point de mesure du débit pour la Dranse a été déplacé à Seytroux. Les exportations du lac sont contrôlées sur le Rhône émissaire à Genève.*

*L'année 2003 est une année de faible pluviométrie au voisinage du Léman. A part le Rhône amont, les débits moyens annuels sont légèrement inférieurs à la moyenne de la période 1981-2000.*

*En 2003, les apports en phosphore total au lac par les quatre rivières principales ont été de 1'464 tonnes. Le Rhône amont représente 97.5 % de ces apports. Les onze rivières complémentaires apportent 23 tonnes de phosphore total au Léman.*

*Les apports en phosphore dissous des quatre rivières principales (46.7 tonnes) sont du même niveau que ceux de 1997-1998 (années où l'on a les plus faibles valeurs depuis le début des observations). Les concentrations moyennes annuelles dans les rivières complémentaires telles que la Chamberonne (57.2 µgP/L), le Nant de Braille (46.6 µgP/L) et la Morges (39 µgP/L) restent relativement élevées.*

*Les concentrations en azote minéral total varient de 0.71 mgN/L dans la Dranse à 6.7 mgN/L dans l'Eau Froide. La Venoge, ainsi qu'une rivière complémentaire, la Morges dépassent la concentration moyenne annuelle de 3 mgN/L.*

*Les apports en chlorure sont de 54'240 tonnes pour les quatre rivières principales et dix affluents complémentaires apportent 2'670 tonnes. Globalement il y a une augmentation de 845 tonnes (+ 1.5 %).*

*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 1.4, on constate que les nitrates sont multipliés par un facteur de 3.5, le phosphore total augmente d'un facteur 5.3 et le phosphore dissous d'un facteur 5.*

#### **ABSTRACT**

*The inputs into Lake Geneva from rivers are calculated from the results of analyses of continuous water sampling (proportional to the rate of flow) of the four main tributaries (the Rhône further upstream, the Dranse, the Aubonne and the Venoge) and samples from eleven other secondary tributaries. The measurement point for the Dranse was moved to Seytroux. The outputs from the lake were checked in the Rhone where it emerges in Geneva.*

*The year 2003 was a year with low rainfall in the area of Lake Geneva. Apart from the upstream section of the Rhône, the mean annual flow rates were slightly lower than the mean values for 1981-2000.*

*In 2003, the input of total phosphorus into the lake from the four main tributaries was 1,464 metric tonnes. The Rhône further upstream accounted for 91.5 % of this inflow. The eleven other tributaries brought 23 tons of total phosphorus into Lake Geneva.*

*The dissolved phosphorus inflow from the four main tributaries (46.5 tonnes) was the same as in 1997-1998 (the years with the lowest values recorded since observations began). The mean annual concentrations in some of the tributaries, such as the Chamberonne (57.2 µgP/L), the Nant de Braille (46.6 µgP/L) and the Morges (39 µgP/L), were still relatively high.*

*The concentrations of total inorganic nitrogen ranged from 0.71 mgN/L in the Dranse to 6.7 mgN/L in the Eau Froide. The Venoge, and a minor river, the Morges, were above the mean annual concentration of 3 mgN/L.*

*The chloride inflow was 54,240 tonnes from the four main tributaries, and ten secondary tributaries contributed 2'670 tonnes. There was an overall increase of 845 tonnes (+ 1.5%).*

*The determinations carried out in the various rivers downstream from the lake were used to assess the contribution of the catchment 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 the flow rates had increased by a factor of 1.4, the nitrates had increased by a factor of 3.5, the total phosphorus had increased by a factor of 5.3 and the dissolved phosphorus by a factor of 5.*

## 1. GÉNÉRALITÉS

En 2003, 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, 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.

Suite à l'arrêt des mesures au pont de Bioge (raison de sécurité émise par la DDAF de Haute-Savoie) les débits de la Dranse sont effectués au pont de Couvaloup à Seytroux. La corrélation établie entre les 2 points de mesure est de 0.94 sur 10'454 données journalières entre 1979 et 2002.

Plusieurs affluents complémentaires, tous situés sur la côte suisse, ont été suivis : la Versoix, le Stockalper, la Veveyse, la Promenthouse, la Chamberonne, la Morges, le Nant de Pry, le Brassu, la Dullive, le Nant de Braille 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, le Nant d'Avril ainsi que l'Allondon permettent de déterminer les bilans des apports de l'agglomération genevoise.

Les prélèvements et 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), 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, 2004).

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 x mois)
<b>Bassin du Léman</b>				
<b>Rhône - Porte du Scex</b>	x <sup>1</sup>			
<b>Dranse</b>	x <sup>1</sup>			
<b>Aubonne</b>	x <sup>1</sup>			
<b>Venoge</b>	x <sup>1</sup>			
Versoix				x
Stockalper			x	
Veveyse		x		
Promenthouse		x		
Chamberonne		x		
Morges		x		
Nant de Pry				x
Le Brassu				x
Dullive		x		
Nant de Braille				x
Eau Froide			x	
<b>Rhône émissaire</b>	x <sup>2</sup>			
<b>Bassin du Rhône aval</b>				
Arve				x
Nant d'Avril				x
Allondon				x
<b>Rhône à Chancy</b>	x <sup>2</sup>			

<sup>1</sup> = intégré sur une semaine

<sup>2</sup> = intégré sur deux semaines

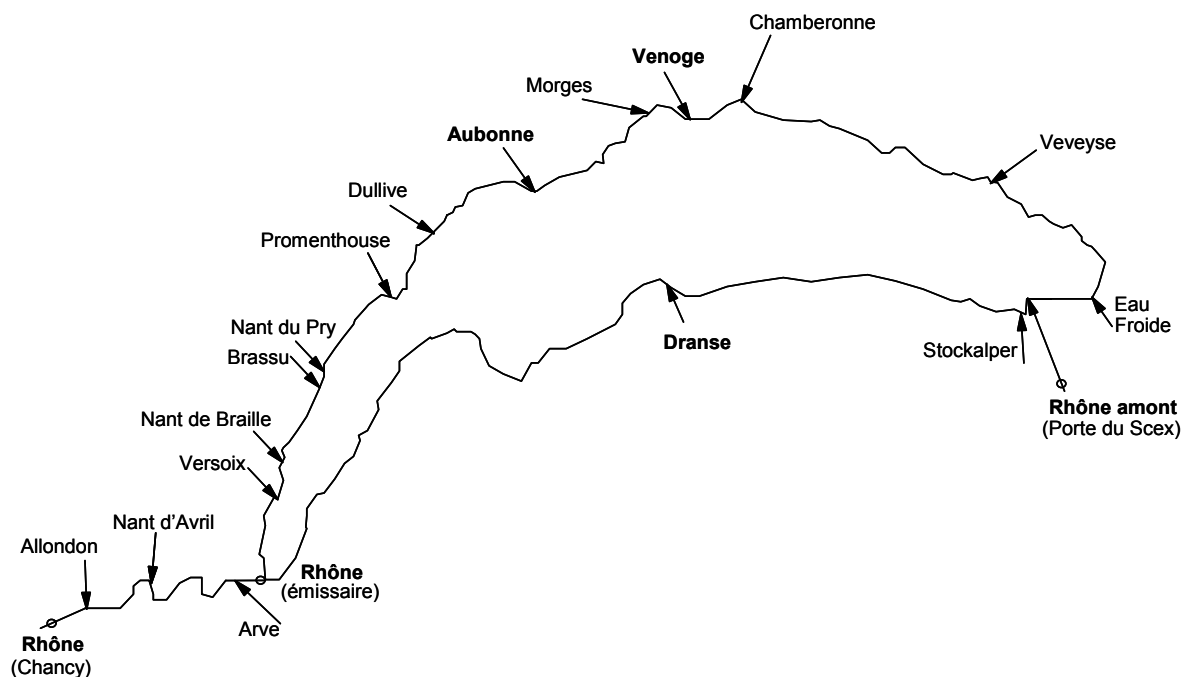


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées

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 2003 est une année à faible pluviométrie avec une lame d'eau précipitée au niveau des inter-stations du Léman de l'ordre de 790 mm (QUETIN, 2004). A part le Rhône amont, les débits moyens des rivières sont en baisse par rapport à 2002.

Tableau 2 : Débits des affluents principaux et de l'émissaire (m<sup>3</sup>/s )

Table 2 : Flow rates of the main tributaries and of the effluent river (in Geneva) (m<sup>3</sup>/s )

Année	Rhône amont	Dranse	Aubonne	Venoge	Rivières complémentaires	Rhône émissaire
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
2003	196.8	14.9	3.8	2.4	9.2	231.4
Moyenne	191.6	20.6	5.7	4.3	10.9	258.2

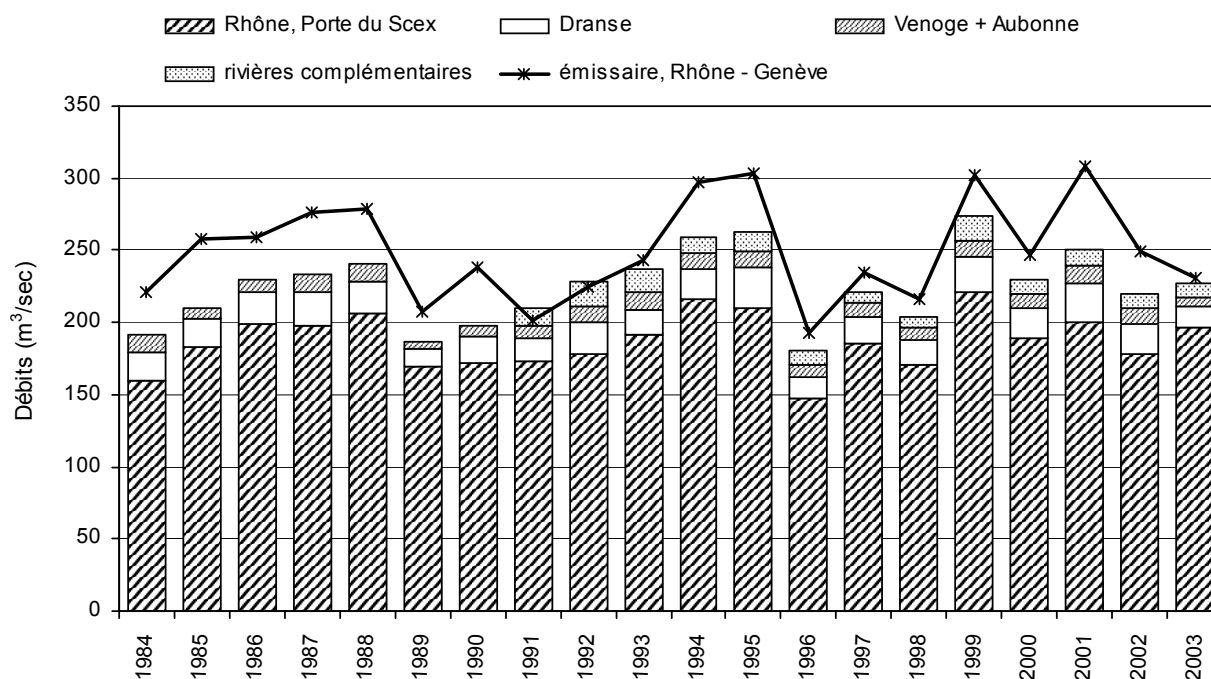


Figure 2 : Débits moyens annuels

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)

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

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)  
 C<sub>moy</sub> = concentration moyenne annuelle pondérée

- Pour les rivières à échantillonnage mensuel

$$F_{moy} = \frac{\sum_{1}^n Ci \cdot Qi}{n} \qquad C_{moy} = \frac{F_{moy}}{Q_{moy}}$$

avec F<sub>moy</sub> = flux moyen (g/s)  
 Ci = concentration dans l'échantillon prélevé (g/L)  
 Qi = débit moyen de la période correspondante (m<sup>3</sup>/s)  
 n = nombre d'échantillons  
 Q<sub>moy</sub> = débit moyen annuel

#### 3.1 Phosphore (tableau 3 et figures 3 et 4)

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 (PO<sub>4</sub>) 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 1'464 tonnes pour l'année 2003, soit 450 tonnes de plus par rapport à 2002, dont 1'427 tonnes pour le Rhône amont, proche du maximum (1'436 tonnes) relevé en 1994. La valeur du phosphore total dans le Rhône émissaire suit la même évolution depuis 1980 (loi logarithmique).

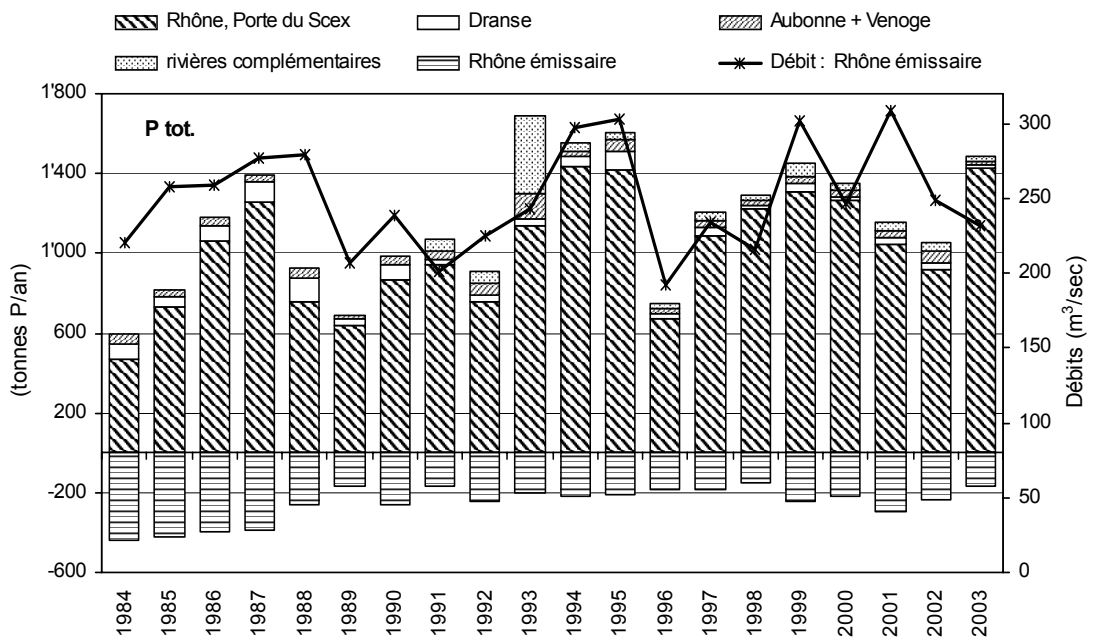


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

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)

### 3.1.2 Phosphore dissous (orthophosphate)

Le total des apports en orthophosphate par les affluents principaux (46.7 tonnes) est en baisse (- 6 tonnes) par rapport à 2002, il est de même niveau qu'en 1997 (47.1 tonnes). L'émissaire est lui aussi en baisse (- 19.2 tonnes). Les concentrations moyennes annuelles pondérées par les débits se répartissent comme suit : 6.4 µgP/L pour le Rhône amont, 6.5 µgP/L pour la Dranse, 14.1 µgP/L pour l'Aubonne et 26.3 µgP/L pour la Venoge. Elles sont toutes en baisse par rapport à 2002.

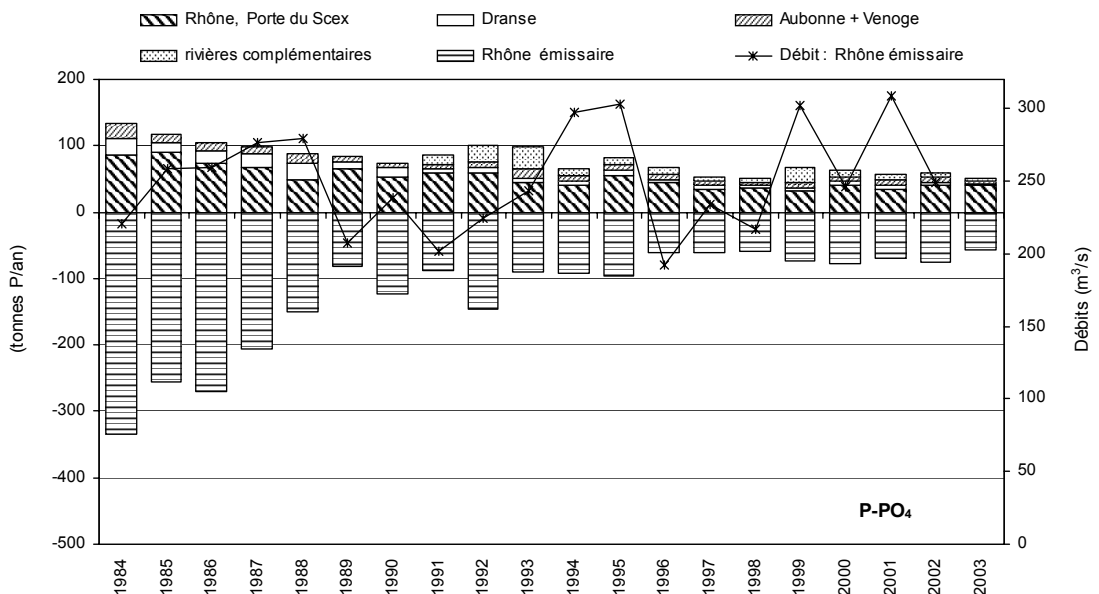


Figure 4 : Phosphore dissous (orthophosphate) - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 4 : 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)

Tableau 3 : Phosphore dissous - Flux moyens annuels

Table 3 : Dissolved phosphorus (orthophosphate) - Annual inflow

	Rhône	Dranse	Venoge + Aubonne	Rhône émissaire
1984	86.9	23.9	22.4	-333.6
1985	89.3	15.1	12.0	-255.3
1986	73.3	18.8	11.9	-269.9
1987	67.0	20.8	10.4	-205.5
1988	48.7	25.6	13.3	-150.2
1989	66.2	10.4	7.2	-81.5
1990	53.0	13.8	7.0	-123.8
1991	59.4	6.5	5.0	-88.1
1992	58.3	9.4	8.4	-146.9
1993	43.9	6.9	14.8	-90.8
1994	40.4	6.9	7.5	-91.8
1995	54.2	8.1	10.3	-96.9
1996	44.2	5.4	6.5	-61.0
1997	34.3	5.8	6.9	-61.3
1998	35.8	4.0	5.8	-58.7
1999	31.7	5.3	7.8	-72.8
2000	40.5	5.4	6.8	-77.2
2001	34.0	6.9	8.3	-69.5
2002	40.1	5.3	7.7	-76.0
2003	39.9	3.1	3.6	-56.2
Moyenne	52.1	10.4	9.2	123.3

### 3.2 Azote minéral et organique (tableau 4 et figures 5 et 6)

Pour l'azote total (azote minéral et organique) dans le Rhône amont, les apports en 2003 (3'140 tonnes) sont plus faibles qu'en 2002. L'évolution de l'azote total sur la Dranse est stable au niveau de sa concentration par rapport à 2002.

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par les rivières principales s'élèvent à 3'582 tonnes. Le Rhône amont représente 70 % du total des apports des rivières principales. Leurs évolutions sont en relative stabilité.

Les exportations d'azote nitrique par l'émissaire sont en 2003 de 1'775 tonnes. C'est la première fois, depuis 1976, que les exportations sont inférieures à 2'000 tonnes.

Tableau 4 : Apports annuels en azote total (t N/an) et concentrations moyennes annuelles pondérées - Rhône Porte du Scex et Dranse.

Table 4 : 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
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
2003	3'140	0.506	389	0.827
Moyenne	5'391	0.916	505	0.812

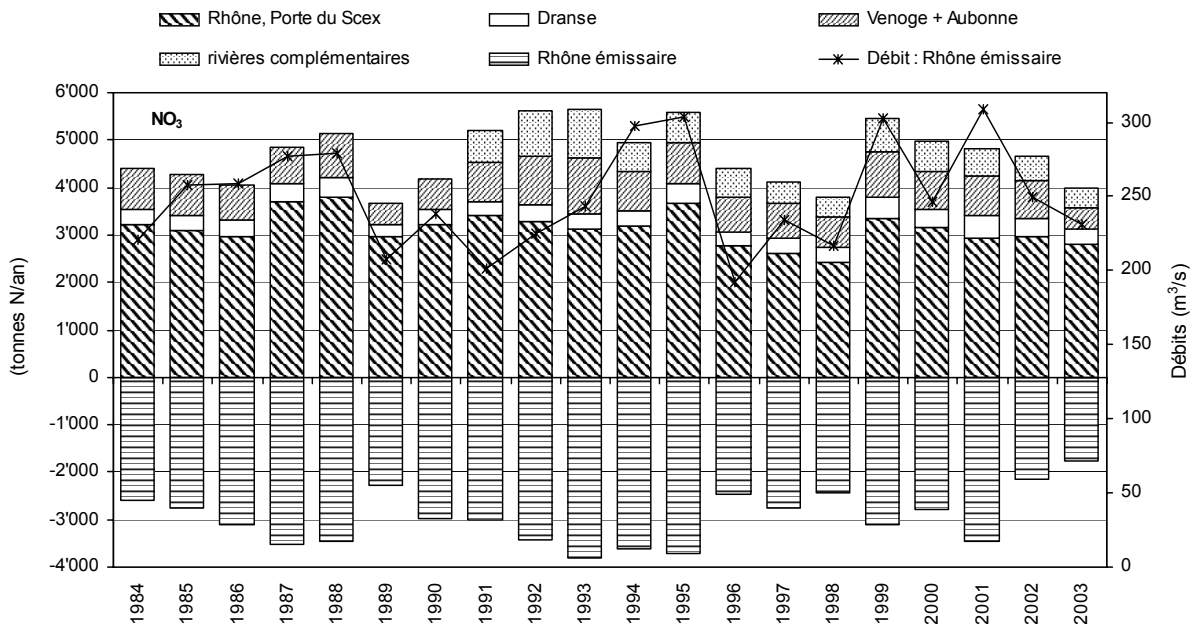


Figure 5 : Azote nitrique - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 5 : 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)



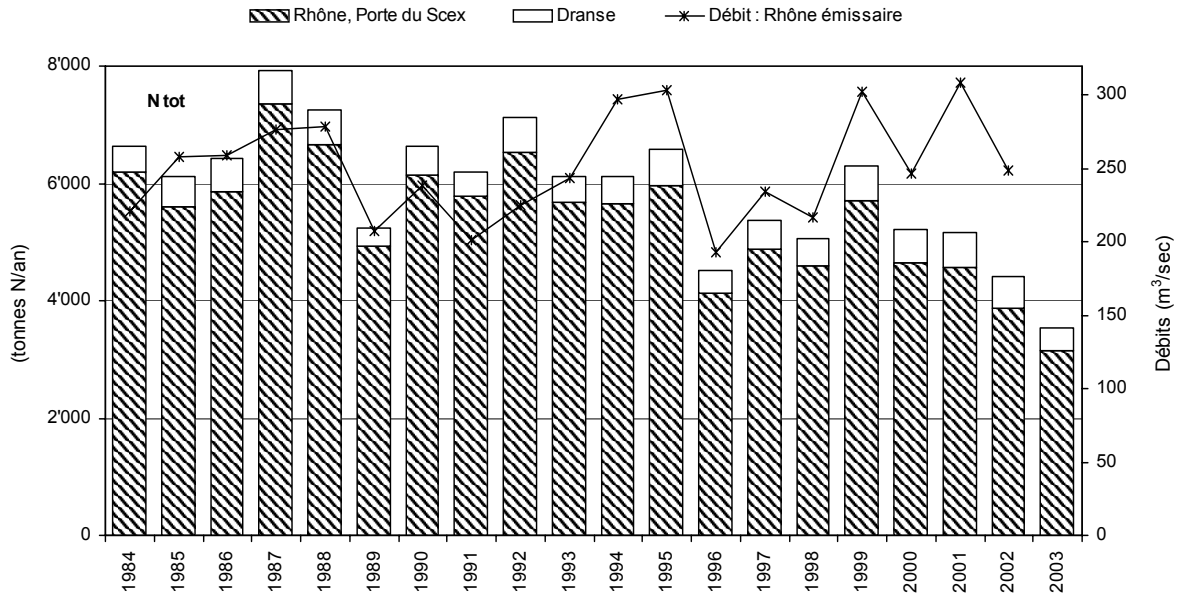


Figure 6 : Azote total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 6 : 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 7)

Pour 2003, les apports totaux par les rivières principales atteignent 54'241 tonnes. L'ensemble des rivières contrôlées apportent 56'913 tonnes. La concentration moyenne en chlorure, pondérée par le débit, est de 7.95 mgCl/L (8.09 mgCl/L en 2002).

La teneur moyenne dans les eaux du Rhône à l'émissaire atteint 7.4 mgCl/L (relativement stable depuis 2001), ce qui correspond en terme de bilan à une perte annuelle de 54'021 tonnes.

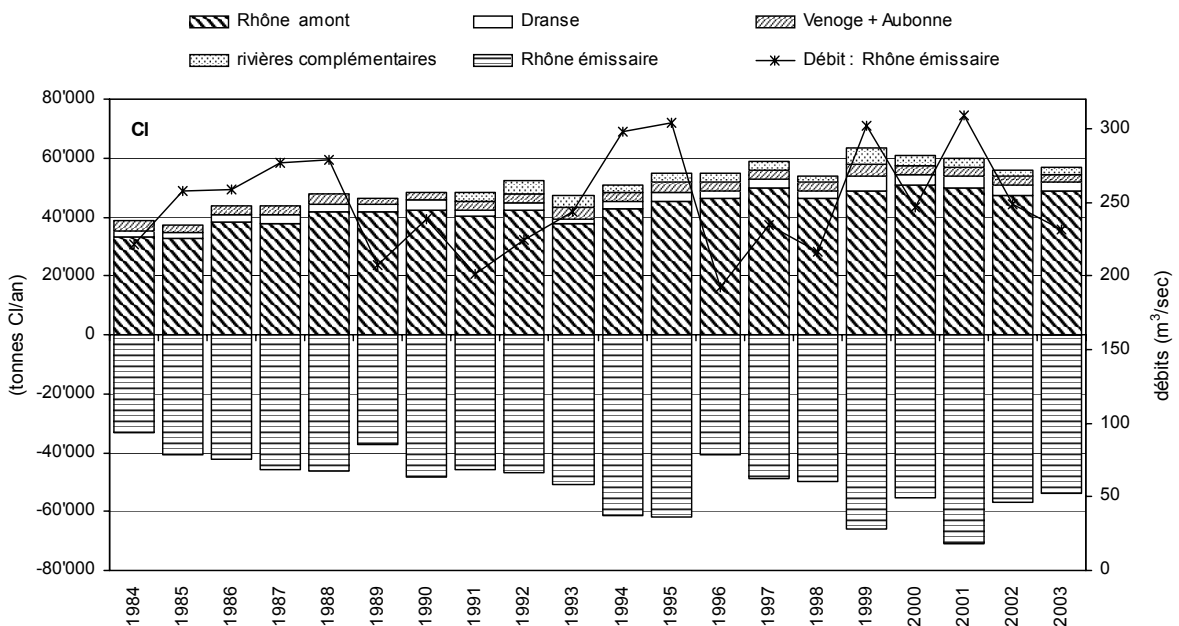


Figure 7 : Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

Figure 7 : 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 0.91 mgC/L pour le Rhône amont et 3.34 mgC/L pour la Morges.

La concentration de COD dans les eaux du Rhône émissaire est de 1.25 mgC/L pour l'année 2003, alors que la concentration moyenne annuelle pondérée par les débits de l'ensemble des rivières principales et complémentaires considérées est de 1.36 mgC/L (en très légère hausse par rapport à 2002).

Les concentrations moyennes annuelles en carbone organique total dans les eaux sont de 2.56 mgC/L pour le Rhône amont et 2.51 mgC/L pour le Rhône à Chancy. Elles sont 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 9.2 m<sup>3</sup>/s, dont 2.41 m<sup>3</sup>/s apportés par le Stockalper. Ces affluents représentent 4.1 % des apports mesurés au lac (même pourcentage depuis 2000). Comme pour les affluents principaux, l'ensemble des résultats de la campagne 2003 sur les onze affluents complémentaires du Léman est consigné dans les tableaux 7 et 8.

Les apports de l'Allondon, du Nant d'Avril 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 5 : Affluents complémentaires ( + Rhône à Chancy) : débits moyens annuels en m<sup>3</sup>/s

Table 5 : Secondary tributaries ( + Rhône at Chancy) : mean annual flow in m<sup>3</sup>/s

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
<b>Bassin versant du Léman</b>											
Versoix	2.87	3.17	3.65	3.35	2.74	3.07	4.63	3.30	3.88	3.49	2.62
Stockalper	2.79	2.41	3.32	2.20			3.17		3.21		2.41
Veveysse	1.87	2.40	1.88	1.16	1.63	1.84	3.10	3.17	2.89	2.57	1.33
Promenthouse	1.72	1.30	1.97	1.23	1.79	1.43	2.64	1.90	2.25	1.78	1.22
Chamberonne	0.68	1.07	1.06	0.77	0.75	0.68	1.05	0.88	1.08	0.86	0.89
Eau Froide	0.78	0.53	0.55	0.33		0.38	0.46	0.47	0.44	0.43	0.02
Morges	1.69	0.48	0.97	0.47	0.43	0.33	0.57	0.45	0.67	0.50	0.31
Dullive	0.98	0.28	0.19	0.21	0.21	0.26	0.34	0.24	0.24	0.18	0.12
Nant de Pry					0.17						0.15
Le Brassu					0.17						0.13
Nant de Braille					0.08						0.05
<b>Bassin versant du Rhône aval</b>											
Arve	62.50	84.28	90.55	71.36	63.03	65.63	103.5	72.59	92.1	61.0	60.6
Nant d'Avril											0.53
Allondon	3.78	3.96	3.80	4.45	3.01	3.00	0.48	3.73	5.12	3.43	2.57
Rhône Chancy	356.5	403.57	415.67	285.37	333.09	307.30	416.00	330.01	439.1	334.6	322.9

#### 4.1 Phosphore dissous (orthophosphate) et phosphore total

La charge annuelle en phosphore dissous qui transite par les onze affluents est de 4.8 tonnes. Ce tonnage est du même ordre de grandeur que celui apporté par l'Aubonne et la Venoge réunies (3.65 tonnes).

En terme de concentration en orthophosphate, la Chamberonne (57.2 µgP/L), le Nant de Braille (46.6 µgP/L) et la Morges (39 µgP/L) sont les rivières présentant les concentrations les plus élevées, elles sont en légère hausse par rapport à 2002. Pour les flux ce sont la Versoix (débit élevé) et la Chamberonne (forte concentration) qui ont les valeurs les plus fortes.

En phosphore total, 22.5 tonnes sont amenées par les rivières complémentaires contrôlées.

#### 4.2 Azote minéral total

Les concentrations moyennes annuelles en azote minéral total varient de 0.74 mgN/L pour la Veveyse à 6.7 mgN/L pour l'Eau Froide. Les concentrations sont du même ordre de grandeur que les concentrations moyennes annuelles atteintes dans les eaux des rivières principales, notamment la Venoge (4.1 mgN/L) et la Dranse (0.71 mgN/L).

Les apports cumulés de l'ensemble des rivières complémentaires représentent 56 % des apports cumulés de la Venoge, de l'Aubonne et de la Dranse. Globalement, les rivières complémentaires examinées transfèrent 464 tonnes d'azote minéral total au Léman, en baisse par rapport à 2002 (514 tonnes).

#### 4.3 Chlorure

Les apports en chlorure des rivières complémentaires atteignent 2'673 tonnes, en légère hausse par rapport à 2002. Par rapport aux quatre rivières principales, les apports des rivières secondaires représentent 5 %. Les concentrations en chlorure, qui varient entre 8.3 mgCl/L (la Veveyse) et 19.2 mgCl/L (la Morges), sont en augmentation par rapport à 2002.

### 5. BASSIN VERSANT DU RHÔNE DE GENÈVE À CHANCY (tableau 6 et figure 8)

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 60.6 m<sup>3</sup>/s) et l'Allondon (débit moyen 2.57 m<sup>3</sup>/s). Les débits du Rhône émissaire et de l'Arve constituent 90.4 % 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 dix stations d'épuration (STEP) françaises et de douze STEP suisses dont celle de Genève-Aire (786'670 EH), totalisant 1'094'966 EH<sup>1</sup>. Onze de ces installations déversent directement dans le fleuve (1'041'883 EH), le reste dans les divers affluents. La STEP de Genève-Aire pratique maintenant une déphosphatation partielle et au moins quatre d'entre elles traitent des eaux d'origine industrielle. Le bassin de l'Arve, en amont du Rhône, compte trente-trois STEP qui totalisent 465'400 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 et du Nant d'Avril.

La figure 8 montre le détail des charges qui transitent par Chancy.

---

<sup>1</sup> EH = équivalent habitant à 60 g de DBO<sub>5</sub> par jour

Tableau 6 : Débits en m<sup>3</sup>/s et flux en tonnes/an

Table 6 : Flow in m<sup>3</sup>/s and in tons/year

	Débits m <sup>3</sup> /s	Nitrate (NO <sub>3</sub> ) t N/an	Ammonium (NH <sub>4</sub> ) t N/an	Ortho- phosphate (PO <sub>4</sub> ) t P/an	Phosphore total t P/an	Carb. org. dissous (DOC) t C/an	Chlorure t Cl/an	Sulfates t SO <sub>4</sub> /an
Rhône émissaire	231.4	1'775	253	56.8	164.8	9'136	54'021	329'866
Arve	60.6	1'033	417	141.9	249.5	1'632	13'295	88'476
Nant d'Avril	0.53	61	0.1	0.4	0.9	21	254	782
Allondon	2.6	190	16.8	7.6	9.6	126	676	715
Bassin versant "genevois" *	27.8	3'229	122	- 3.5 *	443.6	5'997	21'588	49'247
Rhône Chancy	322.9	6'288	809	203.2	868.4	16'912	89'834	469'086

\* Cette valeur négative est due à la précision des différentes mesures (intégration de valeurs instantanées de l'Arve de la Nant d'Avril et l'Allondon).

Entre Chancy et le Rhône à l'émissaire, le flux de nitrates est augmenté d'un rapport de 3.5. Le flux de phosphore dissous à Chancy provient à 27.5 % du bassin dit "genevois" (obtenu par soustraction) (en baisse notable par rapport à 2002, même part que le Rhône émissaire) et à 70 % de l'Arve. Pour le phosphore total, 51.2 % proviennent du bassin dit "genevois" (même rapport qu'en 2002) et pour le carbone organique dissous 35.6 %.

Alors les débits du Rhône émissaire représentent 71.7 % du débit du Rhône à Chancy, la participation du Rhône émissaire dans la charge totale du Rhône à Chancy représente :

- 28.0 % de la charge en phosphore dissous (stabilité par rapport à 2002)
- 19.0 % de la charge en phosphore total (en baisse sensible par rapport à 2002)
- 28.2 % de la charge en nitrates (en baisse par rapport à 2002)
- 31.3 % de la charge d'ammonium (en baisse sensible par rapport à 2002)
- 54.0 % de la charge en carbone organique dissous (en baisse par rapport à 2002)
- 60.1 % de la charge en chlorure (en baisse par rapport à 2002)
- 70.3 % de la charge en sulfates. (en baisse par rapport à 2002).

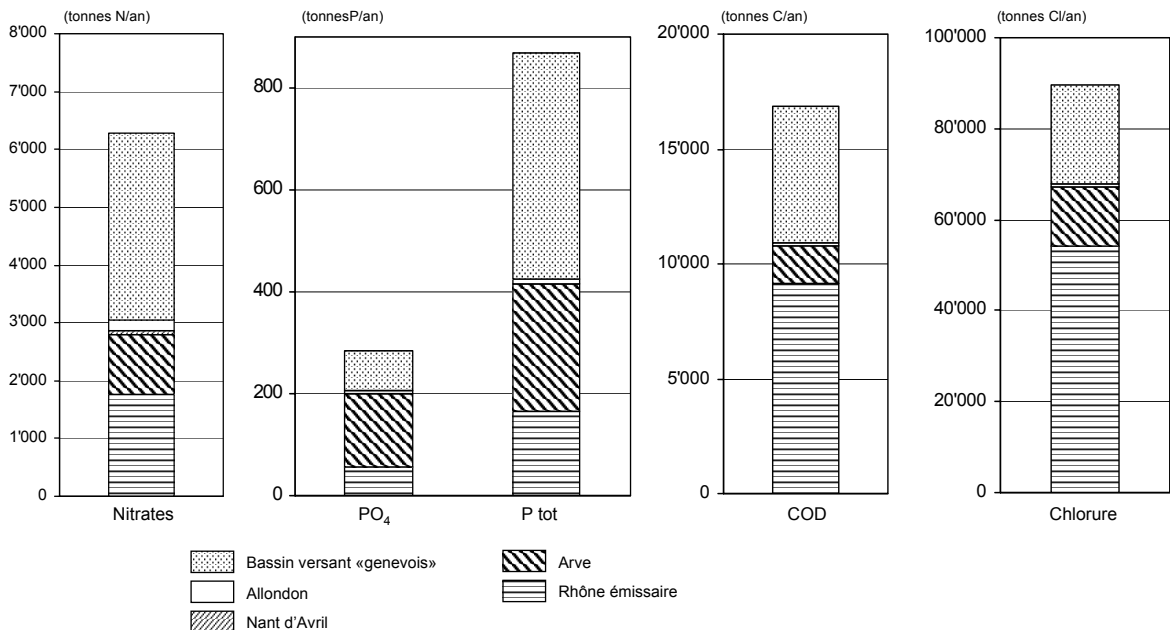


Figure 8 : Charges du Rhône à Chancy en 2003

Figure 8 : Levels in the Rhône at Chancy in 2003

## **6. CONCLUSIONS**

### **6.1 Bassin versant du Léman**

Avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 790 mm sur le bassin versant proche du Léman, 2003 est une année à faible pluviométrie. A part le Rhône amont, 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 218 m<sup>3</sup>/s.

Les apports en phosphore total sont de 1'464 tonnes pour les quatre rivières principales. Les apports par le Rhône amont représentent 97.5 % de ce total. Pour le phosphore dissous, élément directement assimilable par les algues, les apports par les rivières principales (46.7 tonnes) repassent en dessous de 50 tonnes. En terme de concentration moyenne annuelle en phosphore dissous, la Chamberonne atteint le niveau de 57.2 µgP/L et le Nant de Braille 46.6 µgP/L. Depuis 1998 les flux sur le Rhône émissaire sont relativement 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 secondaires contrôlées, s'élèvent à 3'996 tonnes. Les apports en azote minéral total par le Rhône amont représentent 70 % de l'ensemble des apports (des quatre rivières principales et des onze rivières secondaires). On constate que les trois mêmes rivières qu'en 2001 et 2002 ont des concentrations en azote minéral total supérieures à 3 mgN/L. Ce sont la Morges (5.2 mgN/L), la Venoge (4.2 mgN/L), et l'Eau Froide (6.7 mgN/L).

Les apports en chlorure par l'ensemble des rivières contrôlées sont de 56'913 tonnes, soit 845 tonnes de plus qu'en 2002 (+ 1.5 %), la hausse mesurée est régulière depuis 1980 ( $r^2 = 0.88$ ).

### **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, le Nant d'Aisy 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 1'033 tonnes de nitrates et 142 tonnes de phosphore dissous (orthophosphate). Le bassin dit "genevois" apporte, quant à lui, 3'230 tonnes de nitrates et 78 tonnes de phosphore dissous.

La charge du Rhône en éléments fertilisants à la frontière franco-suisse (Chancy) est multipliée par 3.5 pour le nitrate, par 5 pour le phosphore dissous et 5.3 pour le phosphore total par rapport à celle mesurée à la sortie du lac (Rhône émissaire).

Par rapport aux charges à Chancy, celles dues à l'Arve représentent 16.4 % pour le nitrate et 49.8 % pour le phosphore dissous. Pour le bassin dit "genevois", les charges (obtenues par soustraction) représentent 51.3 % pour le nitrate et 27.4 % pour le phosphore dissous.

## **BIBLIOGRAPHIE**

QUETIN, P. (2004) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 19-29.

STRAWCZYNSKY, A. (2004) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 161-172.

Tableau 7 : Concentrations moyennes en 2003

Table 7 : Mean concentrations in 2003

2003	Débit	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Nmintot	Ntot	P-PO <sub>4</sub>	Ptot	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	SiO <sub>2</sub>	COD	COT	MES
	m <sup>3</sup> /s	µgN/L	µgN/L	µgN/L	µgN/L	µgN/L	µgP/L	µgP/L	mg/L	mg/L	méq/L	méq/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<b>Concentrations moyennes Bassin versant du Léman</b>																		
Rhône amont	196.8	44.1		452		506	6.4	229.9	7.83	44.78	1.78	0.41	5.93	1.33	2.57	0.91	2.56	183.3
Dranse	14.92	49.8	8.2	655	713	827	6.5	31.1	7.23	78.06	3.90	0.87	4.47	0.90	3.31			17.4
Aubonne	3.80	23.9	10.5	1'441	1'475		14.1	97.6	6.92	5.64	3.44	0.49	4.19	0.79	2.90	2.80		50.1
Versoix	2.62	36.0	13.3	939	988	1'219	18.0	35.4	9.43	6.09	3.52	0.46	5.20	0.73		1.40		
Stockalper	2.41	487.5	28.4	1'038	1'554			75.0								2.42	3.77	24.4
Venoge	2.36	126.6	40.1	3'990	4'157		26.3	139.9	18.93	20.94	4.33	0.71	9.97	2.47	4.77	3.03		52.6
Veveysse	1.33	24.3	5.5	706	736		4.8	150.7	16.59	15.56	3.09	0.51	11.20	1.42	3.87	2.57		162.7
Promenthouse	1.22	18.7	6.5	2'307	2'332		7.5	34.0	8.30	7.38	3.86	0.64	4.61	1.27	3.98	2.27		16.6
Chamberonne	0.89	77.8	33.4	2'242	2'353		57.2	144.8	19.45	37.93	3.28	0.62	12.71	2.54	4.41	2.43		45.7
Morges	0.31	41.8	33.8	5'141	5'217		39.0	167.9	19.24	27.92	4.69	0.89	9.60	3.18	7.36	3.34		99.3
Nant du Pry	0.15	3.2	7.4	959	970	1'222	19.1	41.0	8.76	5.43	3.50	0.49	4.59	0.73		1.36		
Le Brassu	0.13	93.5	33.3	1'530	1'657	1'926	25.8	40.5	11.00	6.01	3.49	0.46	5.97	0.88		1.70		
Dullive	0.12	11.6	8.7	2'124	2'144		8.6	32.7	9.13	18.78	3.85	0.84	6.17	1.72	5.86	2.18		7.5
Nant de Braille	0.05	25.2	16.3	1'524	1'565	1'919	46.6	63.1	11.56	9.58	3.65	0.58	6.54	1.50		1.97		
Eau Froide	0.02	65.3	8.8	6'649	6'723		5.4	25.1	12.39	31.11	3.16	0.50	12.85	2.10	3.63	2.58		6.0
<b>Bassin versant du Rhône aval</b>																		
Rhône émissaire	231.4	34.7	9.3	243	287	551	7.8	22.6	7.40	45.20	2.15	0.47	5.35	1.37	0.64	1.25		
Arve	60.63	218.1	52.9	540	811	971	74.2	130.5	6.95	46.27	2.63	0.43	4.94	1.16		0.85		
Allondon	2.57	207.0	44.8	2'342	2'594	2'902	93.8	118.6	8.33	8.82	4.08	0.50	5.45	1.35		1.55		
Nant d'Avril	0.53	8.0	9.4	3'641	3'658	3'995	24.7	56.2	15.30	47.01	4.37	0.94	10.12	2.26		1.29		
Rhône Chancy	322.9	75.4	18.6	618	712	760	20.0	85.3	8.82	46.07	2.21	0.54	6.65	1.60	1.37	1.66	2.51	40.0

Tableau 8 : Flux en 2003

Table 8 : Flow in 2003

2003	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)
<b>Bassin versant du Léman</b>																			
Rhône amont	196.80	273.4		2'803		3'140	39.93	1'427		48'599	277'924	221'543	31'256	36'774	8'248	15'954	5'631	15'888	1'137'648
Dranse	14.92	23.4	3.88	308	335	389	3.07	14.65	10.39	3'401	36'735	36'763	5'002	2'103	422	1'556			8'182
Aubonne	3.80	2.87	1.25	173	177		1.69	11.70	9.32	830	676	8'274	710	502	95	348	335		6'004
Versoix	2.62	2.97	1.09	77.4	82	101	1.49	2.92		779	503	5'826	466	429	60		115		
Stockalper	2.41	40.0	2.16	78.7			0.54	5.69									184	286	1'847
Venoge	2.36	9.44	2.99	298	310		1.96	10.43	7.81	1'411	1'562	6'473	648	743	184	356	226		3'919
Veveyse	1.33	1.02	0.23	29.6	31		0.20	6.32	5.77	696	653	2'600	262	470	60	162	108		6'825
Promenthouse	1.22	0.72	0.25	88.7	90		0.29	1.31	0.80	319	284	2'972	298	177	49	153	87		640
Chamberonne	0.89	2.17	0.93	62.6	66		1.60	4.04	2.18	543	1'059	1'836	212	355	71	123	68		1'275
Morges	0.31	0.41	0.33	50.4	51		0.38	1.65	1.16	189	274	922	106	94	31	72	33		974
Nant du Pry	0.15	0.01	0.03	4.4	4	5.6	0.09	0.19		40	25	322	27	21	3			6	
Le Brassu	0.13	0.39	0.14	6.4	7	8.1	0.11	0.17		46	25	294	24	25	4			7	
Dullive	0.12	0.04	0.032	7.9	8		0.032	0.12	0.06	34	70	287	38	23	6	22	8		28
Nant de Braille	0.05	0.04	0.025	2.3	2	2.9	0.071	0.10		18	15	112	11	10	2			3	
Eau Froide	0.02	0.05	0.007	4.9	5		0.004	0.02	0.01	9	23	47	4	10	2	3	2		4
Total de 15 affluents	227.1	353.9		3'995			51.43	1'486		56'913	319'827	288'272	39'065	41'736	9'237		6'813		
<b>Bassin versant du Rhône aval</b>																			
Rhône émissaire	231.41	252.9	67.9	1'775		4'024	56.82	164.8	38.44	54'021	329'866	314'376	41'956	39'009	10'015	4'676	9'136		
Arve	60.63	417.1	101.2	1'033		1'856	141.93	249.5		13'295	88'476	100'656	9'919	9'450	2'210		1'632		
Allondon	2.57	16.8	3.63	190		235	7.61	9.6		676	715	6'637	495	442	110		126		
Nant d'Avril	0.53	0.13	0.16	60.6		66.4	0.41	0.93		254	782	1'455	189	168	38		21		
Rhône Chancy	322.87	808.6	199.5	6'288		7'74	203.20	868.4		89'834	469'086	450'825	67'139	67'752	16'301	13'919	16'912	25'583	406'947