

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

Campagne 1997

PAR

Alain ORAND, Jean Marcel DORIOZ et Jean GAGNAIRE

INSTITUT DE LIMNOLOGIE (INRA), F - 74203 THONON-LES-BAINS

## 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 mensuels (sur 24 heures, proportionnels aux débits) 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 1997 est une année de pluviométrie moyenne sur le pourtour du Léman. Les débits moyens annuels sont voisins de la moyenne de la période 1982-1997.*

*En 1997, les apports en phosphore total au lac par les quatre rivières principales ont été de 1'209 tonnes. Le Rhône amont représente 90 % de ceux-ci et les rivières secondaires 3.9 %.*

*Les apports en phosphore dissous (47.1 t) sont les plus faibles depuis le début des années 60. Les concentrations moyennes en phosphore dissous sont en dessous de la barre des 30 µgP/l dans les rivières principales. Les concentrations sont plus élevées dans certaines des rivières secondaires telles que la Chamberonne (45 µgP/l), la Morges (44 µgP/l) et le Nant de Braille (51 µgP/l). Pour la Versoix, la situation sur le plan du phosphore dissous semble s'être améliorée dans une large mesure puisque la concentration moyenne de 62 µgP/l en 1996 a été ramenée à 32 µgP/l, toutefois pour cette rivière le suivi se fait seulement sur 12 prélèvements instantanés par année.*

*Les apports en azote minéral total par le Rhône amont représentent 65 % du total des apports répertoriés (quatre rivières principales et neuf rivières secondaires). Les concentrations en azote minéral total varient de 0.61 mgN/l dans la Dranse à 5.1 mgN/l dans la Morges. Une rivière principale, la Venoge, ainsi que trois rivières secondaires, la Chamberonne, la Morges et la Dullive dépassent la concentration moyenne de 3 mgN/l*

*La hausse des flux en chlorures est faible mais constante d'une année sur l'autre. Sur une période de quinze ans, l'augmentation des apports par les rivières principales est de 61 %. Ils sont, en 1997, très voisins de 56'000 tonnes. La concentration moyenne annuelle pondérée dans les rivières principales (8.3 mgCl/l) est sensiblement plus faible que celle des rivières secondaires (10.9 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 1.4, on constate que les nitrates sont multipliés par 2.2, le phosphore total augmente d'un facteur 4.2 et le phosphore dissous d'un facteur 5.2.*

## 1. GÉNÉRALITÉS

En 1997, 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 ont été suivis, tous situés sur la côte suisse : la Versoix, le Nant de Braille, le Brassu, le Nant du Pry, la Promenthouse, la Dullive, la Morges, la Chamberonne et la Veveyse. Les résultats des recherches 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 flux des rivières secondaires dans les graphiques.

Les analyses sur le Rhône émissaire, le Rhône à Chancy (programme NADUF), l'Arve et 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, Epalinges (Vaud),
- Laboratoire du Service de la protection de l'environnement du canton du Valais,
- Institut de Limnologie (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  $\mu\text{m}$ ). 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 CIPEL comprend le suivi du Rhône amont, de la Dranse, de la Venoge, de l'Aubonne, du Rhône émissaire et de deux affluents secondaires. Toutes les autres rivières sont suivies dans le cadre de programmes cantonaux ou propres aux laboratoires.

TABLEAU 1 - Type de prélèvement

	Proportionnel au débit intégré sur 1 semaine	Proportionnel au débit ou au temps sur 24 h (1 x mois)	Instantané (1 x mois)
<b>Bassin du Léman</b>			
Rhône, Porte du Scex	x		
Dranse	x		
Aubonne	x		
Venoge	x		
Chamberonne	x <sup>1</sup>		
Morges	x <sup>1</sup>		
Veveyse		x	
Promenthouse		x	
Dullive		x	
Eau Froide		x*	
Grand Canal		x*	
Versoix			x
Nant de Braille			x
Brassu			x
Nant de Pry			x
Rhône émissaire (GE)	x <sup>2</sup>		
<b>Bassin du Rhône aval</b>			
Arve			x
Allondon			x
Rhône-Chancy	x <sup>2</sup>		

<sup>1</sup> = intégré sur 1 semaine, proportionnel au temps<sup>2</sup> = intégré sur deux semaines

\* = pas de mesure de débit

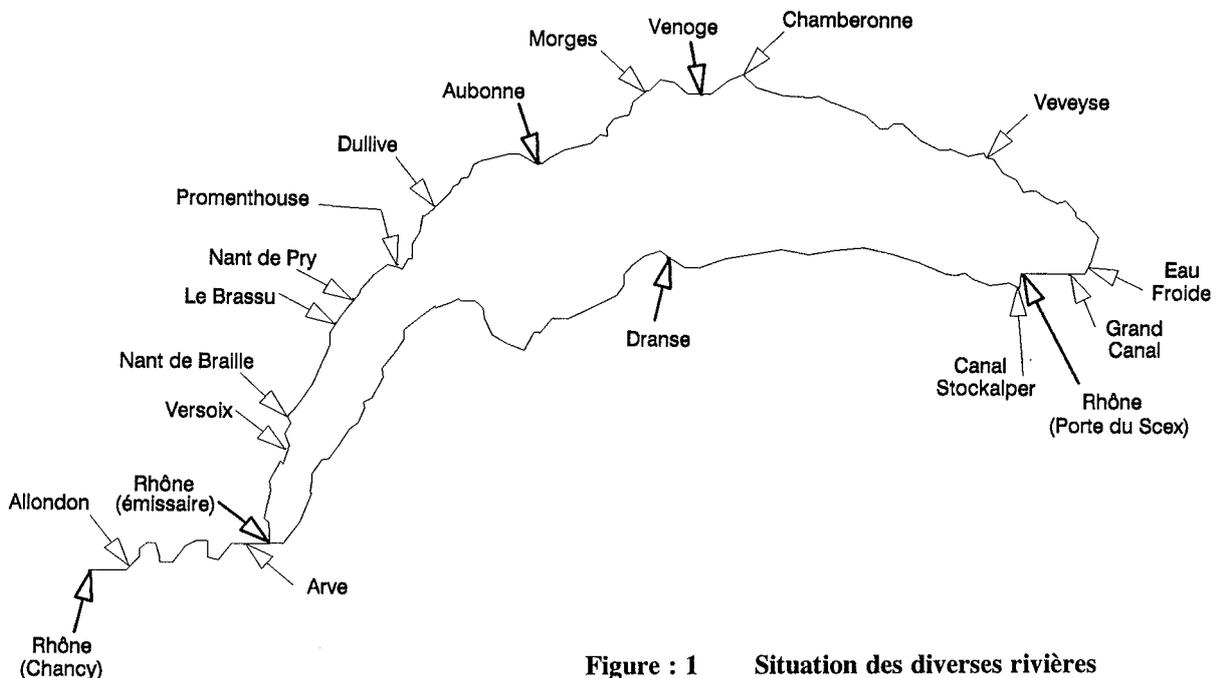


Figure : 1 Situation des diverses rivières

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

L'année 1997 est une année moyenne sur le plan de la pluviométrie avec une lame d'eau précipitée autour du Léman de l'ordre de 1'060 mm (ORAND et GAGNAIRE, 1998). Les débits moyens annuels des rivières principales et de l'émissaire sont très proches de la moyenne interannuelle de 1983 à 1997.

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

Année	Venoge	Aubonne	Dranse	Rhône amont	Rhône émissaire
1983	5.2	6.5	22.7	206.0	268.0
1984	5.3	5.9	19.6	160.2	221.0
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
Moyenne	4.3	5.6	19.6	186.5	246.9

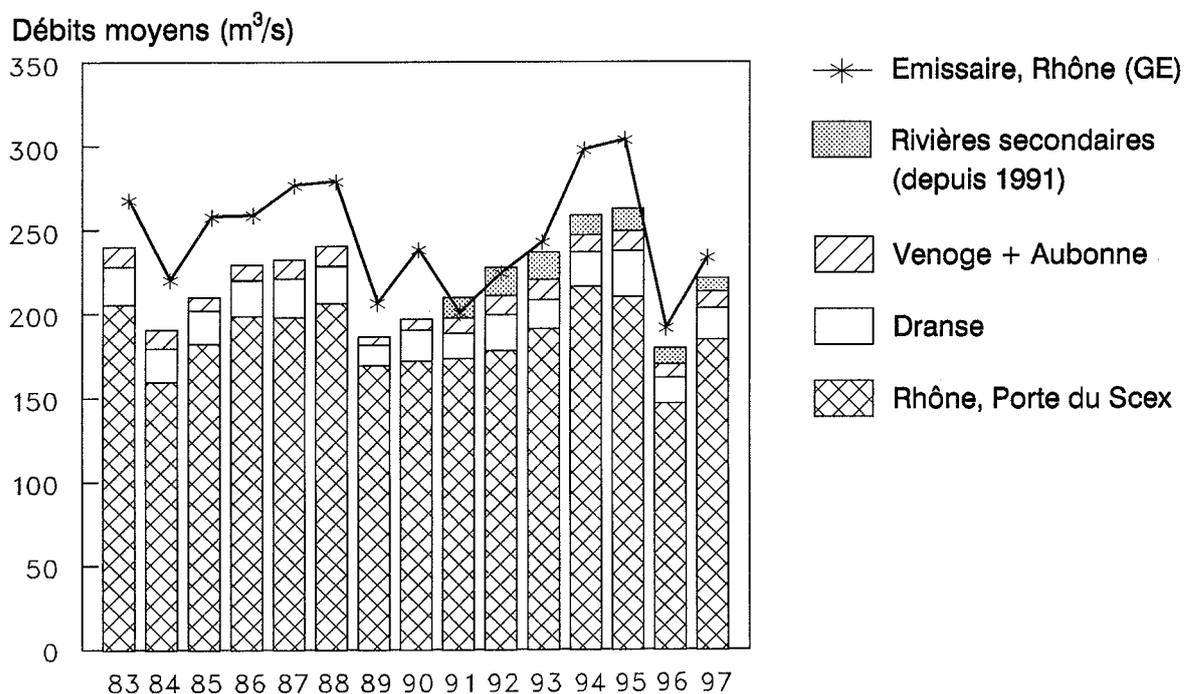


Figure 2 : Débits moyens annuels

### 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*

$$Fa = \sum_1^s Ch \cdot Qh \qquad C_{moy} = \frac{Fa}{\sum_1^s Qh}$$

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)
	C <sub>i</sub> =	concentration dans l'échantillon prélevé (g/l)
	Q <sub>i</sub> =	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 (figures 3 à 5)

Le phosphore apporté par les affluents peut être subdivisé en :

- *fraction dissoute* :  
orthophosphate (forme prépondérante dans la fraction dissoute), phosphore organique dissous.
- *fraction particulaire* :  
phosphore organique particulaire, 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).

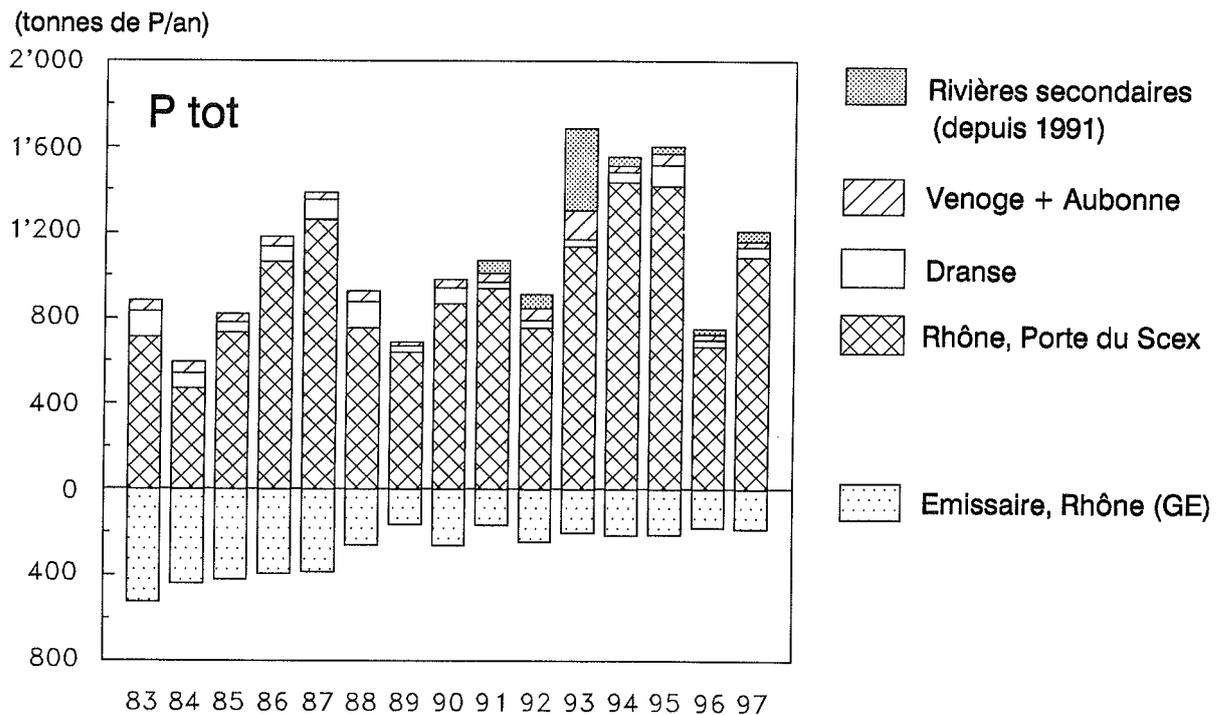
##### Fraction dissoute

La fraction dissoute est donc la plus importante au plan biologique : l'orthophosphate (PO<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 d'adsorption 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 90 % de phosphore particulaire et 10 % 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 (environ 90 % du phosphore total est du phosphore dissous).

Les apports moyens annuels en phosphore total par les quatre rivières principales sur la période 1980-1997 sont de 1'018 tonnes par an. Ils sont de 1'162 tonnes pour l'année 1997 dont 1'085 tonnes pour le Rhône amont.



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

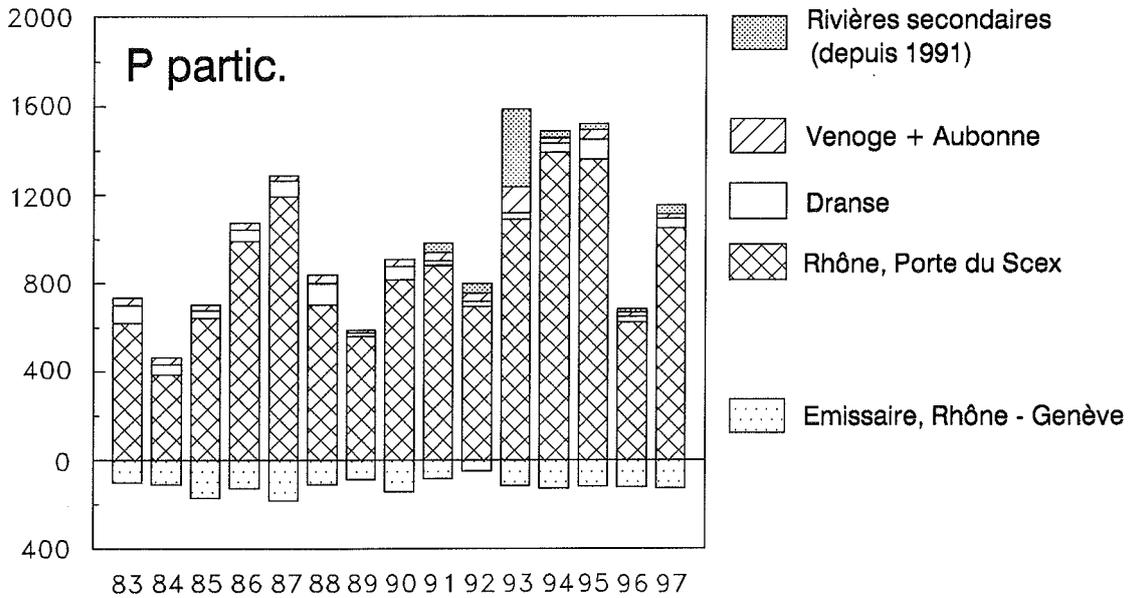
### 3.1.2 Phosphore dissous (orthophosphate)

Le total des apports en orthophosphate par les affluents principaux (47.1 t) est toujours largement inférieur à 100 tonnes, seuil atteint en 1987

Les apports par la Dranse représentent moins de 12.3 % des apports totaux des rivières principales. Le pourcentage moyen sur la période 1992-1997 est sensiblement le même.

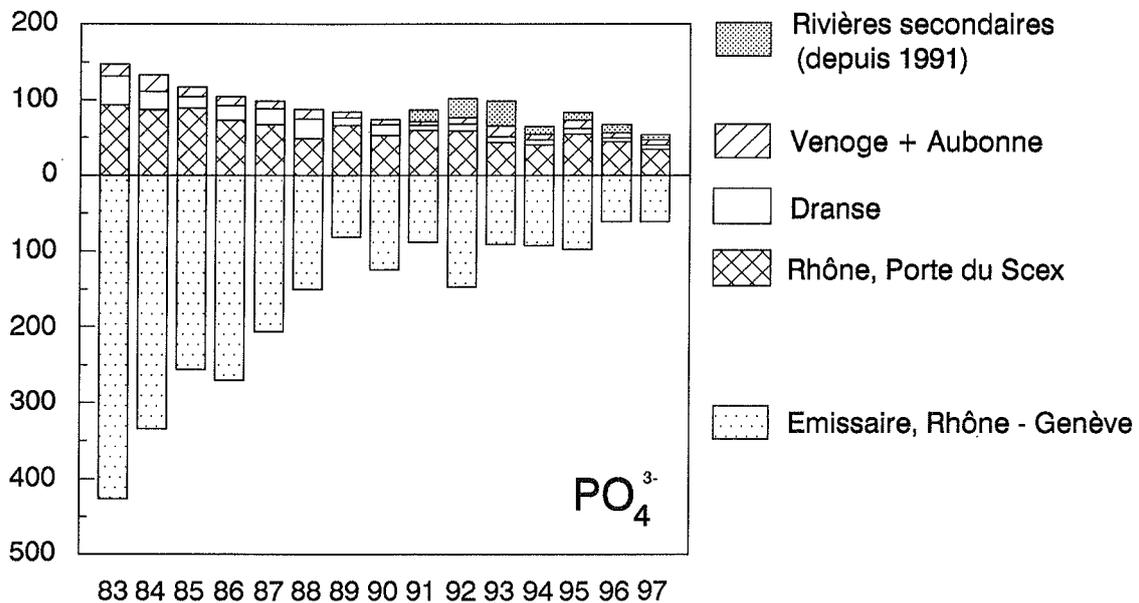
Les concentrations moyennes annuelles pondérées par les débits se répartissent comme suit : de 5.9  $\mu\text{gP/l}$  pour le Rhône amont, 9.8  $\mu\text{gP/l}$  pour la Dranse, 17.5  $\mu\text{gP/l}$  pour l'Aubonne et 29.9  $\mu\text{gP/l}$  pour la Venoge. Rappelons que l'objectif de la CIPEL est une concentration moyenne de 20 à 30  $\mu\text{gP/l}$  dans les eaux du lac pour l'an 2000 (exprimé en Ptot, mais dans le lac le Ptot est à plus de 90 % sous forme dissoute) (BLANC et al., 1994).

(tonnes de P/an)



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

(tonnes de P/an)



**Figure 5 :** Phosphore dissous (orthophosphate) - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle à 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)

Pour l'azote total (azote minéral et organique) dans le Rhône amont, les apports en 1997 (4'871 t) sont plus faibles que la moyenne interannuelle 1980-1997 (5'785 t). Il en est de même pour la Dranse (493 t et 516 t).

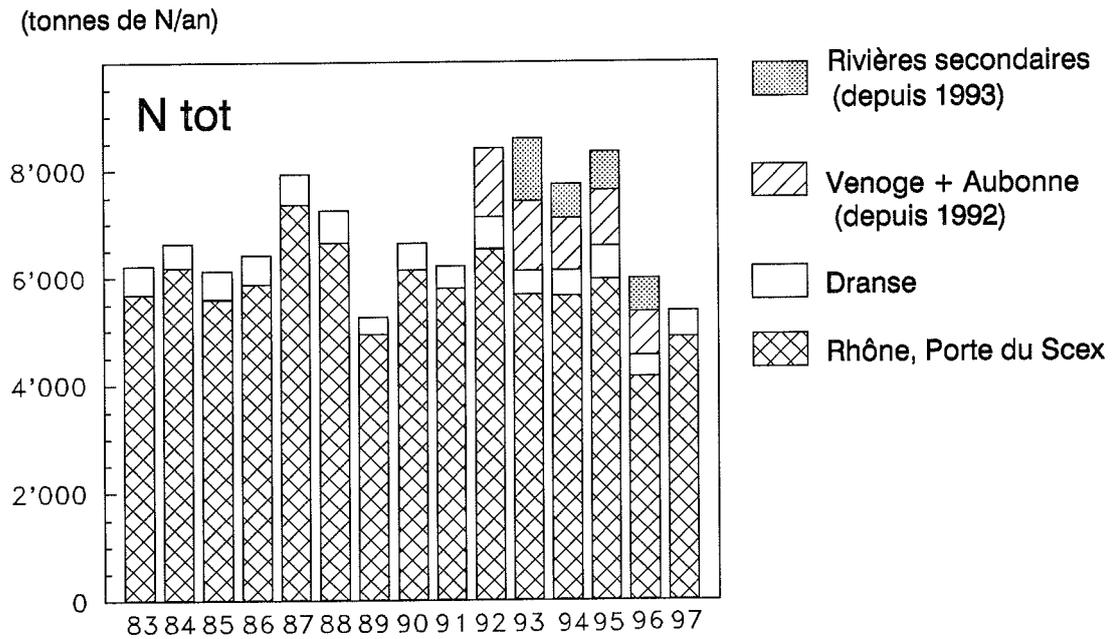
Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par les rivières principales s'élèvent à 3'735 tonnes. Le Rhône amont représente 70 % du total des apports des rivières principales. La concentration moyenne pondérée par le débit de l'ensemble des apports principaux est de 0.56 mgN/l alors qu'elle n'est que de 0.40 mgN/l dans l'émissaire. De fortes disparités existent au plan individuel, la fourchette des concentrations variant de 0.61 mgN/l pour la Dranse à 4.1 mgN/l pour la Venoge.

En 1997, les apports en azote nitrique par les quatre affluents principaux atteignent 3'673 tonnes (concentration moyenne pondérée par les débits : 0.55 mgN/l).

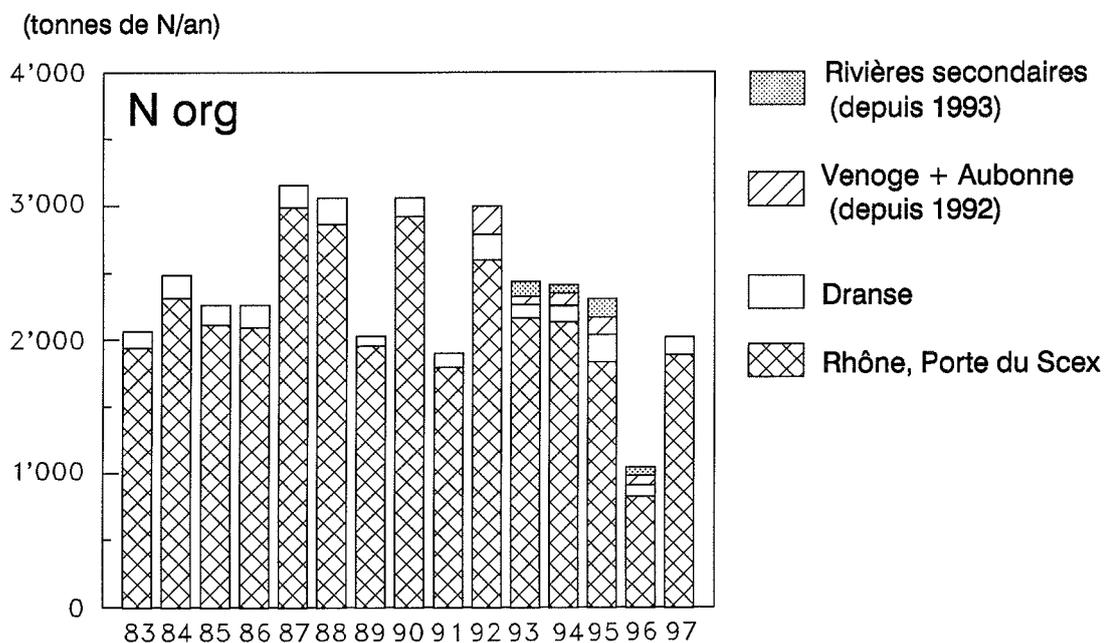
Les exportations d'azote nitrique par l'émissaire sont de 2'741 tonnes en 1997, au niveau de celles de l'année 1985. Les concentrations moyennes annuelles pondérées par les débits sont très proches des concentrations moyennes des 15 dernières années (0.37 contre 0.40 mgN/l).

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

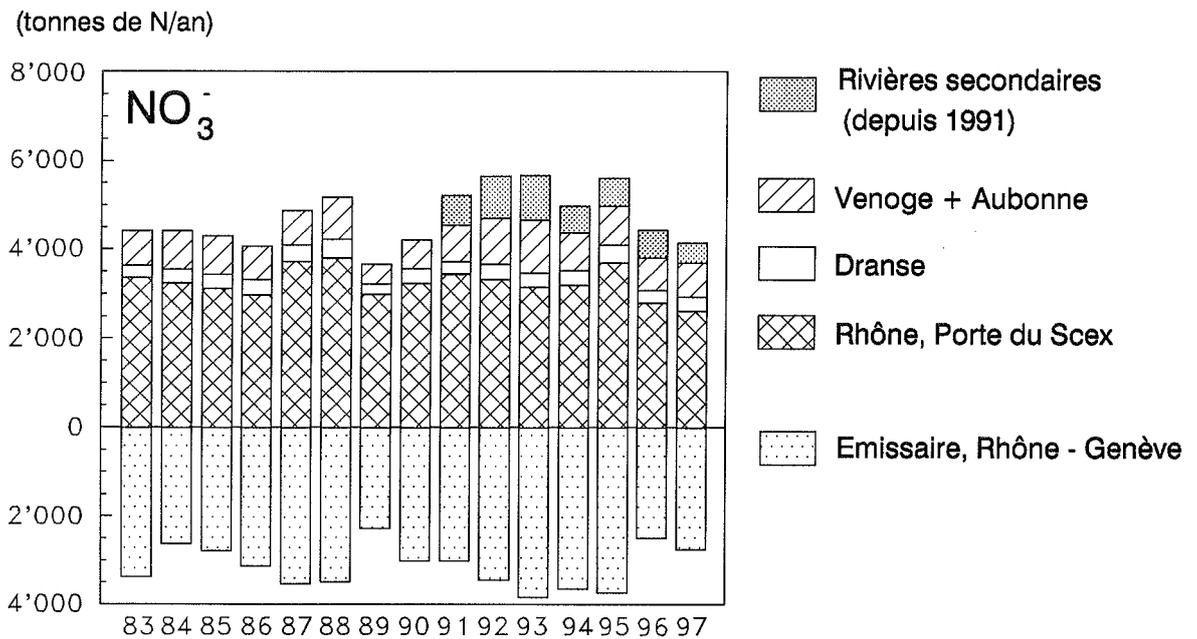
Année	Rhône		Dranse	
	tonnes	mgN/l	tonnes	mgN/l
1980	6'479	0.99	564	0.53
1981	5'499	0.83	619	0.88
1982	5'171	0.75	619	0.86
1983	5'685	0.88	531	0.74
1984	6'181	1.22	450	0.73
1985	5'592	0.97	525	0.85
1986	5'869	0.94	549	0.82
1987	7'362	1.16	567	0.77
1988	6'649	1.02	598	0.85
1989	4'929	0.92	322	0.85
1990	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
Moyenne	5'785	0.97	516	0.80



**Figure 6 :** 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)



**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)

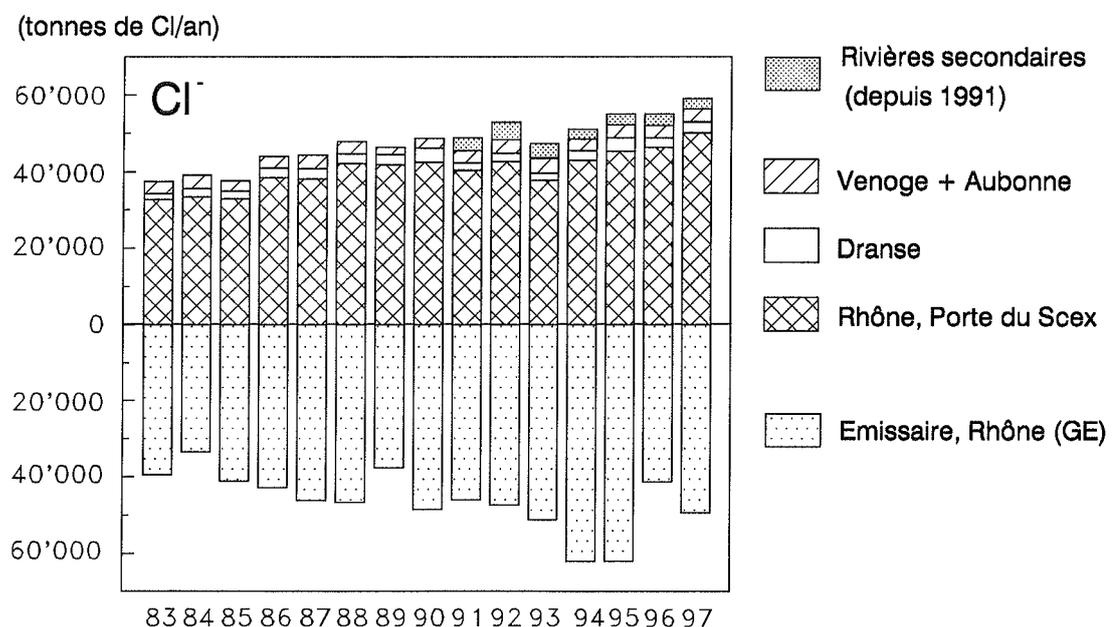


**Figure 8 :** Azote nitrique - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle à l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

### 3.3 Chlorure (figure 9)

En terme de concentrations moyennes annuelles, les chlorures présentent une relative stabilité depuis 1988. Pour 1997, la concentration moyenne pondérée pour les affluents principaux est de 8.3 mgCl/l et les apports totaux par les quatre rivières principales atteignent 56'000 tonnes.

La teneur moyenne dans les eaux du Rhône à l'émissaire atteint 6.6 mgCl/l, ce qui correspond, en termes de bilan, à une perte annuelle de 49'000 tonnes. Par rapport aux apports totaux par les rivières principales, ce sont environ 7'000 tonnes de chlorures qui se sont accumulées dans le Léman en 1997.



**Figure 9 :** Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle à 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 l'affluent de la rive française, la Dranse. Le carbone organique total (COT) est analysé dans les eaux du Rhône amont et du Rhône à Chancy.

Les concentrations en carbone organique dissous des eaux du Rhône amont (0.97 mgC/l) sont trois fois plus faibles que dans les autres rivières principales. Les concentrations moyennes pondérées par les débits évoluent entre 2.17 mgC/l pour la Versoix à 3.88 mgC/l pour la Morges.

La concentration de COD dans les eaux du Rhône émissaire est de 1.47 mgC/l pour l'année 1997, alors que la concentration moyenne annuelle pondérée par les débits de l'ensemble des rivières principales et secondaires considérées est de 2.7 mgC/l).

Les concentrations moyennes annuelles en carbone organique total dans les eaux des deux rivières considérées sont très voisines : 2.8 mgC/l pour le Rhône amont et 2.9 mgC/l pour le Rhône à Chancy.

### 3.5 Silice dissoute

Exprimées en mgSiO<sub>2</sub>/l, les concentrations moyennes pondérées de silice sont stables et les variations interannuelles faibles.

### 3.6 Cuivre, zinc, plomb et cadmium

Les polluants métalliques ne sont dosés systématiquement que dans les eaux du Rhône amont.

TABLEAU 4 - Apports annuels (Rhône amont) en cuivre, zinc, plomb et cadmium (t/an) et concentrations moyennes pondérées (µg/l)

Année	Cuivre	Zinc	Plomb	Cadmium
	tonnes/an	tonnes/an	tonnes/an	tonnes/an
1980	23.6	126.1	23.4	-
1981	28.6	85.0	22.8	-
1982	39.5	142.3	19.0	1.06
1983	24.5	182.5	14.6	-
1984	20.2	217.3	10.0	-
1985	22.4	141.9	20.6	-
1986	24.7	181.8	31.6	-
1987	44.9	226.7	49.2	-
1988	26.0	262.8	43.6	-
1989	14.8	108.6	37.6	0.78
1990	22.6	71.7	-	0.74
1991	17.3	72.5	20.5	0.65
1992	17.0	113.5	32.8	0.48
1993	19.9	157.7	32.5	0.45
1994	21.4	211.4	37.1	0.63
1995	20.2	66.2	24.9	0.39
1996	16.5	50.6	14.4	0.31
1997	20.8	75.7	26.5	0.38
Année	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1991	3.2	13.0	3.7	0.12
1992	3.0	20.0	5.8	0.09
1993	3.3	26.0	5.3	0.07
1994	3.1	32.0	5.4	0.09
1995	3.0	10.0	3.7	0.06
1996	3.5	10.9	3.1	0.07
1997	2.9	10.0	3.4	0.05

Les concentrations moyennes pondérées par les débits en cuivre, plomb et cadmium sont stables et les variations interannuelles pour le cuivre et le cadmium de faible amplitude. Pour le zinc, les concentrations sont revenues aux valeurs de l'année 1991 après les augmentations des années 1992, 1993 et 1994. En termes de bilan, les apports 1997 sont largement inférieurs aux moyennes de la période 1980-1997, cela étant dû à la faiblesse des débits de l'année 1997. Par ailleurs, les concentrations demeurent sans grande variation, exception faite de celles du zinc.

#### 4. ÉTUDE DES AFFLUENTS SECONDAIRES

TABLEAU 5 - Affluents secondaires : débits moyens annuels en m<sup>3</sup>/s

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
<b>Bassin versant du Léman</b>							
Versoix	2.90	4.66	2.87	3.17	3.65	3.35	2.74
Stockalper	2.87	3.62	2.79	2.41	3.32	2.20	
Veveyse	1.52	2.58	1.87	2.40	1.88	1.16	1.63
Promenthouse	1.51	1.41	1.72	1.30	1.97	1.23	1.79
Chamberonne	0.57	0.68	0.68	1.07	1.06	0.77	0.75
Eau froide	0.30	0.29	0.78	0.53	0.55	0.33	
Morges	0.25	0.28	1.69	0.48	0.97	0.47	0.43
Dullive	0.15	0.25	0.98	0.28	0.19	0.21	0.21
Nant de Pry							0.17
Le Brassu							0.17
Nant de Braille							0.08
<b>Bassin versant du Rhône aval</b>							
Allondon	2.36	6.17	3.78	3.96	3.80	4.45	3.01
Arve	78.80	92.80	62.50	84.28	90.55	71.36	63.03
Rhône Chancy	316.00	363.00	356.50	403.57	415.67	285.37	333.09

Les affluents secondaires étudiés fournissent un débit total de 8 m<sup>3</sup>/s soit 3.6 % des apports contrôlés au lac. Comme pour les affluents principaux, l'ensemble des résultats de la campagne 1997 sur les neuf affluents secondaires du Léman est consigné dans les tableaux 7 et 8.

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 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.

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

La charge annuelle en phosphore dissous qui transite par les neuf affluents est de 6.8 tonnes. Ce total correspond à 54 % de celui apporté par la Dranse, l'Aubonne et la Venoge réunies (12.7 t). En 1997, la Versoix apporte 2.8 tonnes d'orthophosphate, c'est la rivière la plus chargée en cet élément, bien que le total annuel soit en forte diminution par rapport à 1996 (- 57 %). Pour les mêmes rivières mesurées en 1996, au nombre de six, le total des apports en orthophosphate est en forte diminution (6.3 t contre 10.3 t), bien que les débits soient sensiblement les mêmes. Les apports en orthophosphate ont également diminué entre 1996 et 1997 dans la Morges.

En phosphore total, 47 tonnes sont amenées par les rivières secondaires contrôlées. Par rapport aux trois rivières principales (hors Rhône amont), les apports des rivières secondaires en représentent plus de la moitié (61 %). En termes de concentration en orthophosphate, le Nant de Braille (50.6 µgP/l), la Chamberonne (44.7 µgP/l) et la Morges (44 µgP/l) sont les rivières présentant les concentrations les plus élevées.

## 4.2 Azote minéral total

Les concentrations moyennes annuelles en azote minéral total varient de 0.7 mgN/l pour la Veveyse à 5.1 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 (4.1 mgN/l) et la Dranse (0.6 mgN/l).

Les apports cumulés de l'ensemble des rivières secondaires représentent 40 % des apports cumulés de la Venoge, de l'Aubonne et de la Dranse. Globalement, les rivières secondaires examinées transfèrent 456.3 tonnes d'azote minéral total au Léman.

## 4.3 Chlorure

Les apports en chlorures des rivières secondaires atteignent 2'740 tonnes. Ce total est du même ordre de grandeur que celui des apports par la Dranse ou par la Venoge. Par rapport aux quatre rivières principales, les apports des rivières secondaires représentent 4.9 %. Les concentrations en chlorures dans les rivières secondaires varient entre 6.3 mgCl/l (la Versoix) et 24.1 mgCl/l (la Chamberonne).

## 4.4 Silice dissoute

Les concentrations moyennes annuelles pondérées en silice des eaux des affluents secondaires varient de 3.8 mg/l dans les eaux de la Versoix à 8.6 mg/l dans la Morges. Dans les rivières principales, cet éventail est plus serré et les valeurs atteintes sont plus faibles : 2.8 mg/l (Aubonne) à 4.9 mg/l (Venoge). Les apports totaux enregistrés dans les rivières secondaires représentent 5.3 % de ceux des rivières principales.

## 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 63 m<sup>3</sup>/s) et l'Allondon (débit moyen 3 m<sup>3</sup>/s). Les débits du Rhône émissaire et de l'Arve constituent 89 % 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 provient de huit stations d'épuration (STEP) françaises et de onze STEP suisses dont celle de Genève-Aire (533'000 EH), totalisant 701'700 EH<sup>1</sup>. 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.

---

<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

	Débit m <sup>3</sup> /s	Nitrates t N/an	Ortho- phosphate t P/an	Phosphore total t P/an	Chlorure t Cl/an	Sulfates t SO <sub>4</sub> /an
Rhône émissaire	234.0	2'741	61.3	186.7	48'996	328'923
Arve	63.0	1'062	112.5	147.7	11'128	88'445
Allondon	3.0	202	10.1	15.1	706	845
Rhône Chancy	333.1	5'962	316.4	790.9	84'418	471'116
B. V. "genevois" <sup>2</sup>	33.1	1'956	132.4	441.3	23'588	52'904

<sup>2</sup> = valeurs non mesurées, mais obtenues par soustraction

L'augmentation du flux de nitrates entre le Rhône à l'émissaire et à Chancy est de 118 %. Le flux de phosphore dissous à Chancy provient à 42 % du bassin dit "genevois" et à 36 % de l'Arve. Pour le phosphore total, 56 % trouvent leur origine dans le bassin dit "genevois".

Alors que les débits du Rhône émissaire représentent 70 % du débit du Rhône à Chancy, la participation du Rhône émissaire dans la charge totale du Rhône à Chancy représente :

- 19 % de la charge en phosphore soluble,
- 24 % de la charge en phosphore total,
- 46 % de la charge en nitrates,
- 58 % de la charge en chlorures,
- 70 % de la charge en sulfates.

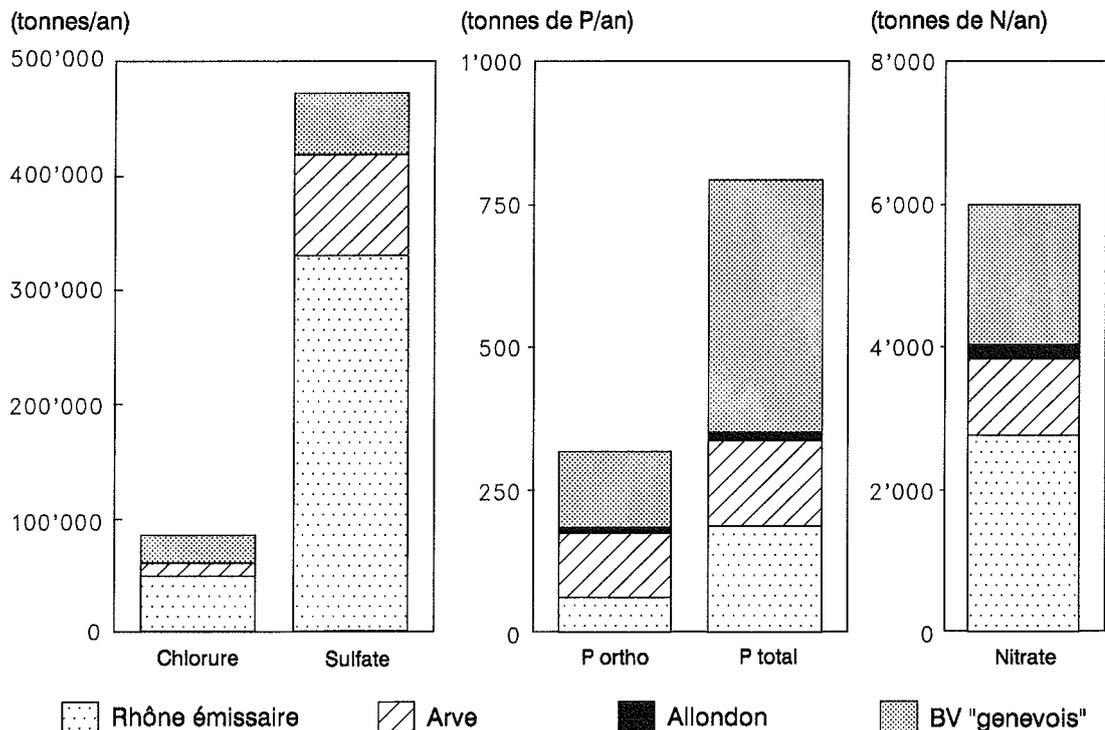


Figure 10 : Charges du Rhône à Chancy en 1997

## 6. CONCLUSIONS

### *Bassin versant Léman*

Avec une lame d'eau précipitée de 1'057 mm sur le bassin versant proche du Léman, 1997 est une année moyenne et les débits correspondent 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 213.4 m<sup>3</sup>/s.

Les apports en phosphore total sont de 1'162 tonnes pour les quatre rivières principales. Les apports par le Rhône amont représentent 93 % de ce total. Pour le phosphore dissous, élément directement assimilable par les algues, les apports par les rivières principales (47.1 t) sont pour la première fois inférieurs à 50 tonnes. Les apports par les rivières secondaires (6.8 t) ne peuvent être comparés aux apports des années précédentes compte tenu des changements qui interviennent dans la liste des rivières contrôlées. En termes de concentration moyenne annuelle en phosphore dissous, seul le Nant de Braille dépasse le seuil de 50 µgP/l. Néanmoins, les concentrations sont encore trop élevées dans les eaux de la Chamberonne (44.7 µgP/l) et de la Morges (44.0 µg /l). Par contre, on enregistre une amélioration spectaculaire de la situation pour la Versoix (32.1 µg P/l contre 61.9 µgP/l en 1996).

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 4'576 tonnes. Les apports en azote minéral total par le Rhône amont représentent 65 % 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 mgN/l. C'est le cas pour la Morges (5.1 mgN/l), la Venoge (4.1 mgN/l), la Dullive (3.4 mgN/l) et la Chamberonne (3.2 mgN/l).

Les apports en chlorures par l'ensemble des rivières contrôlées dépassent pour la première fois le total de 58'000 tonnes. Si l'on regarde l'évolution des apports par les seules rivières principales depuis 1982, on constate une augmentation faible mais régulière de ceux-ci et ils représentent 61.2 % en 1997. La concentration moyenne pondérée par les débits pour les rivières principales atteint 8.3 mgCl/l. Elle est de 10.9 mgCl/l pour les neuf rivières secondaires contrôlées.

Les métaux (cuivre, zinc, plomb, cadmium) ne sont dosés que dans les eaux du Rhône amont. Pour le cuivre et le cadmium les flux et les concentrations sont stables. Par contre, pour le zinc et le plomb, les variations annuelles varient dans un rapport de 1 à 3.

### *Bassin 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 1'062 tonnes de nitrates et 112 tonnes de phosphore dissous. Le bassin dit "genevois" apporte, quant à lui, 1'956 tonnes de nitrates et 132 tonnes de phosphore dissous.

La charge du Rhône en éléments fertilisants à la frontière franco-suisse (Chancy) est multipliée par 2.2 pour les nitrates et par 5.2 pour le phosphore dissous par rapport à celle mesurée à la sortie du lac (Rhône émissaire).

Par rapport à la charge à Chancy, celle due à l'Arve représente 18 % pour les nitrates et 36 % pour le phosphore dissous. Pour le bassin dit "genevois", les charges (obtenues par soustraction) représentent 33 % pour les nitrates et 42 % pour le phosphore dissous.

## BIBLIOGRAPHIE

- BLANC, P., CORVI, C., et RAPIN, F. (1994) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1993, 37-64.
- ORAND, A. et GAGNAIRE, J. (1998) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1997.
- DORIOZ, J.M. et ORAND, A. (1997) : Evaluation des rejets de pollution ponctuelle de phosphore à l'échelle des bassins versants. Portée générale d'une approche par les relations concentration-débit lors des tarissements. Environnement et technique, N°153, 61-64, janvier-février 1997.

TABLEAU 7 - Concentrations moyennes en 1997

1997	Débit m <sup>3</sup> /s	NH <sub>4</sub> µgN/l	NO <sub>2</sub> µgN/l	NO <sub>3</sub> µgN/l	Niot µgN/l	Nmintot µgN/l	PO <sub>4</sub> µgP/l	Prot µgP/l	Cl mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Ca méq/l	Mg méq/l	Na mg/l	K mg/l	COD mg/l	COT mg/l	MES mg/l	
<b>Bassin versant Léman</b>																			
<b>Concentrations moyennes</b>																			
Rhône amont	184.87	66.4	*	446	835	*	5.9	186.1	8.55	2.89	48.55	1.94	0.46	6.79	1.52	0.97	2.75	188.9	
Dranse	18.75	53.9	9.9	547	833	610	9.8	81.9	4.79	3.58	53.00	3.48	0.73	3.45	0.89	*	*	53.6	
Aubonne	5.79	60.2	11.2	1'387	*	1'459	17.5	59.5	6.21	2.80	5.17	3.65	0.45	3.10	0.73	3.05	*	24.6	
Venoge	3.94	63.3	32.5	3'987	*	4'082	29.9	143.3	17.79	4.94	18.21	4.60	0.70	7.74	2.23	3.35	*	66.9	
Versoix	2.74	18.1	17.2	1'047	1'251	1'082	32.1	61.2	6.30	3.76	6.50	3.73	0.49	3.79	0.69	2.17	*	*	
Veveyse	1.63	38.8	13.7	690	*	743	9.3	611.8	12.18	3.90	15.38	3.02	0.51	9.45	1.01	3.69	*	951.9	
Promenthouse	1.79	33.0	7.8	2'450	*	2'491	21.2	62.6	9.38	4.16	7.18	3.97	0.59	4.21	1.21	2.76	*	29.5	
Chamberonne	0.75	49.6	32.5	3'094	*	3'176	44.7	131.5	24.07	5.66	34.30	4.02	0.68	13.32	2.55	2.86	*	44.9	
Morges	0.43	42.6	31.6	5'021	*	5'095	44.0	155.1	19.49	8.65	26.33	4.83	0.91	7.81	3.39	3.88	*	63.7	
Dullive	0.21	15.7	9.9	3'334	*	3'360	27.4	77.9	15.34	7.21	20.95	4.56	0.92	7.16	2.13	2.81	*	26.6	
Nant de Pry	0.17	21.8	14.1	1'152	1'292	1'188	31.8	62.4	7.86	*	6.23	3.39	0.48	4.35	0.81	2.201	*	*	
Le Brassu	0.17	53.5	30.2	1'339	1'551	1'422	37.9	72.1	6.99	*	6.74	3.41	0.50	3.78	0.87	2.258	*	*	
Nant de Braille	0.08	37.2	21.1	1'687	1'939	1'746	50.6	75.2	10.54	*	8.84	3.45	0.57	5.77	1.02	2.57	*	*	
<b>Bassin Rhône aval</b>																			
Rhône émissaire	234.00	25.6	6.9	372	712	404	8.3	25.3	6.64	0.61	44.57	1.99	0.46	4.89	1.22	1.47	*	*	
Arve	63.03	114.1	32.9	535	1'049	682	56.6	74.3	5.60	*	44.49	2.56	0.45	4.14	1.11	1.16	*	*	
					2'439	2'310	106.9	159.1	7.44	*	8.90	3.76	0.48	4.86	1.13	2.08	*	*	
					987	755	30.1	75.3	8.04	1.44	44.85	2.35	0.57	6.35	1.70	1.73	2.91	27.9	



TABLEAU 8 - Flux en 1997

1997	Débit m <sup>3</sup> /s	NH <sub>4</sub> t N	NO <sub>2</sub> t N	NO <sub>3</sub> t N	Ntot t N	Norg t N	Nmint t N	PO <sub>4</sub> t P	Ptot t P	Ppart t P	Cl t Cl	SiO <sub>2</sub> t SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> t SO <sub>4</sub>	Ca t Ca	Mg t Mg	Na t Na	K t K	COD t C	COT t C	MES t	
<b>Bassin versant Léman</b>																					
Rhône amont	185.87	384.0	*	2'602	4'871	1'885	2'986	34.32	1'085	1'050	49'820	16'824	283'031	226'091	32'956	39'600	8'834	5'640	16'032	1'101'115	
Dranse	18.75	31.9	5.9	323	493	132	361	5.82	48.4	42	2'833	2'117	31'334	41'196	5'215	2'040	529	*	*	31'672	
Aubonne	5.79	11.0	2.0	253	*	*	266	3.20	10.9	7.6	1'131	511.5	943	13'272	994	566	134	556	*	4'487	
Venoge	3.94	7.9	4.0	495	*	*	507	3.71	17.8	14	2'211	613.8	2'262	11'373	1'045	961	277	416	*	8'307	
Versoix	2.74	1.6	1.5	90.3	108	14.6	93.3	2.77	5.3	2.5	544	324.2	561	6'456	516	327	60	187	*	*	
Veveyse	1.63	2.0	0.7	35.6	*	*	38.3	0.48	31.5	31	627	201.0	792	3'115	318	487	52	190	*	49'038	
Promenthouse	1.79	1.9	0.4	138	*	*	141	1.19	3.5	2.3	529	234.8	405	4'492	407	238	68	156	*	1'665	
Chamberonne	0.75	1.2	0.8	73.3	*	*	75.3	1.06	3.1	2.1	571	134.2	813	1'912	195	316	61	68	*	1'065	
Morges	0.43	0.6	0.4	67.4	*	*	68.0	0.59	2.1	1.5	262	116.1	354	1'299	148	105	46	52	*	855	
Dullive	0.21	0.1	0.1	21.9	*	*	22.1	0.18	0.5	0.3	101	47.4	138	601	74	47	14	18	*	175	
Nant de Pry	0.17	0.1	0.1	6.3	7.0	0.6	6.5	0.17	0.3	0.2	42.8	*	34	370	32	24	4	12	*	*	
Le Brassu	0.17	0.3	0.2	7.2	8.4	0.7	7.7	0.21	0.4	0.2	37.8	*	37	370	33	21	5	12	*	*	
Nant de Braille	0.08	0.1	0.1	4.1	4.7	0.5	4.2	0.12	0.2	0.1	25.5	*	21	167	17	17	3	6	*	*	
Total rivières	221.30	443	16	4'118			4'576	53	1'209	1'154	58'736	21'124	32'724	310'713	41'948	44'743	10'085	7'313		1'198'378	
<b>Bassin Rhône aval</b>																					
Rhône émissaire	234.00	188.7	50.6	2'741	5'257	2'277	2'980	61.3	187	125	48'996	4'508	328'923	294'354	41'622	36'113	8'972	10'884	*	*	
Arve	63.03	226.8	65.4	1'063	2'086	730.8	1'355	112.5	148	35	11'128	*	88'445	101'886	10'819	8'233	2'210	2'313	*	*	
Allondon	3.01	12.0	4.6	202.5	231.4	12.2	219	10.1	15.1	5.0	706	*	845	7'144	558	461	107	198	*	*	
Rhône Chancy	333.09	1'764	254	5'962	10'362	2'382	7'980	316.4	791	475	84'418	15'136	471'117	494'268	72'604	66'711	17'901	18'150	30'541	292'525	

\* = absence de données