

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

Campagne 2000

PAR

Alain ORAND, Jean-Paul MOILLE et Jean Marcel DORIOZ

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

François RAPIN

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 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 2000 est une année, en moyenne, de pluviométrie normale au voisinage du Léman. Les débits moyens annuels sont égaux à la moyenne de la période 1981-2000. Toutefois, par exemple à Thonon, après un premier semestre déficitaire (273.5 mm de pluviométrie), des épisodes pluvieux remarquables en juillet, octobre et novembre comblent partiellement ce déficit et situent l'année 2000 (885.6 mm) au 34^e rang des années les plus pluvieuses de la chronologie 1951-2000.

En 2000, les apports en phosphore total au lac par les quatre rivières principales ont été de 1'350 tonnes. Le Rhône amont représente 90 % de ces apports. Les neuf rivières secondaires apportent 32 tonnes de phosphore total au Léman.

Les apports en phosphore dissous des quatre rivières principales (53 tonnes) ont augmenté de près de 15 % par rapport à ceux de 1999 qui étaient les plus faibles enregistrés depuis le début des années 60. Les neuf rivières secondaires, quant à elles, ont apporté 10.6 tonnes, dont 4.25 tonnes par la seule Versoix, affluent dont la charge est la plus élevée après le Rhône et la Dranse.

Les concentrations moyennes annuelles en phosphore dissous sont relativement élevées dans certaines rivières secondaires telles que le Nant d'Aisy (233 µg P/l), l'Hermance (165 µg P/l), la Chamberonne (56 µg P/l), la Versoix (41 µg P/l) et la Morges (40 µg P/l).

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 0.58 mg N/l dans le Rhône amont à 9.63 mg N/l dans le Nant d'Aisy. Une rivière principale, la Venoge, ainsi que cinq rivières secondaires, la Chamberonne, la Morges, la Dullive, l'Eau froide et le Nant d'Aisy dépassent la concentration moyenne annuelle de 3 mg N/l.

Les apports en chlorure sont en augmentation avec 57'500 tonnes dans les rivières principales. Les neuf affluents secondaires apportent 3'500 tonnes. La concentration moyenne annuelle pondérée dans ces rivières secondaires (10 mg Cl/l) est plus élevée que celle des rivières principales (8.3 mg Cl/l).

Les analyses effectuées sur les différentes rivières en aval du lac permettent de faire la part apportée par le bassin versant du Rhône entre sa sortie du Léman et Chancy pour les éléments chimiques tels que les nitrates, le phosphore total et le phosphore dissous. Entre le Rhône émissaire et Chancy, pour des débits multipliés par 1.3, on constate que les nitrates le sont par un facteur de 2.2, le phosphore total augmente d'un facteur 4 et le phosphore dissous d'un facteur 4.2.

1. GÉNÉRALITÉS

En 2000, les apports au Léman ont été mesurés sur les quatre affluents principaux, le Rhône amont à la Porte du Scex, la Dranse au pont de Vongy pour les prélèvements d'eau et au pont de Bioge pour les débits, l'Aubonne et la Venoge. Les prélèvements de la Dranse sont effectués en amont du rejet de la STEP de Thonon et de la zone industrielle de Vongy. Les exportations sont déterminées sur le Rhône à Genève. Pour ces rivières, les prélèvements sont effectués en continu et les analyses réalisées sur des échantillons proportionnels au débit.

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

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

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

- ▶ Service cantonal d'hydrobiologie, 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/CARRTEL), Thonon-les-Bains,
- ▶ Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (IFAEPE), 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. En 2000, les résultats analytiques sont concordants (STRAWCZYNSKI, 2001).

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

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

TABLEAU 1 - Type de prélèvement

	Proport. au débit intégré sur 1 semaine	Proport. au débit sur 24 h. (1 x mois)	Instantané (1 x mois)
Bassin du Léman			
Rhône - Porte du Scex	x		
Dranse	x		
Aubonne	x		
Venoge	x		
Versoix			x
Veveyse	x ¹		
Promenthouse	x ¹		
Chamberonne	x ¹		
Hermance			x
Eau Froide		x	
Morges	x ¹		
Dullive		x	
Nant d'Aisy			x
Rhône émissaire	x ²		
Bassin du Rhône aval			
Arve			x
Allondon			x
Goy			x
Dronde			x
Rhône à Chancy	x ²		

¹ = intégré sur une semaine, proportionnel au temps

² = intégré sur deux semaines

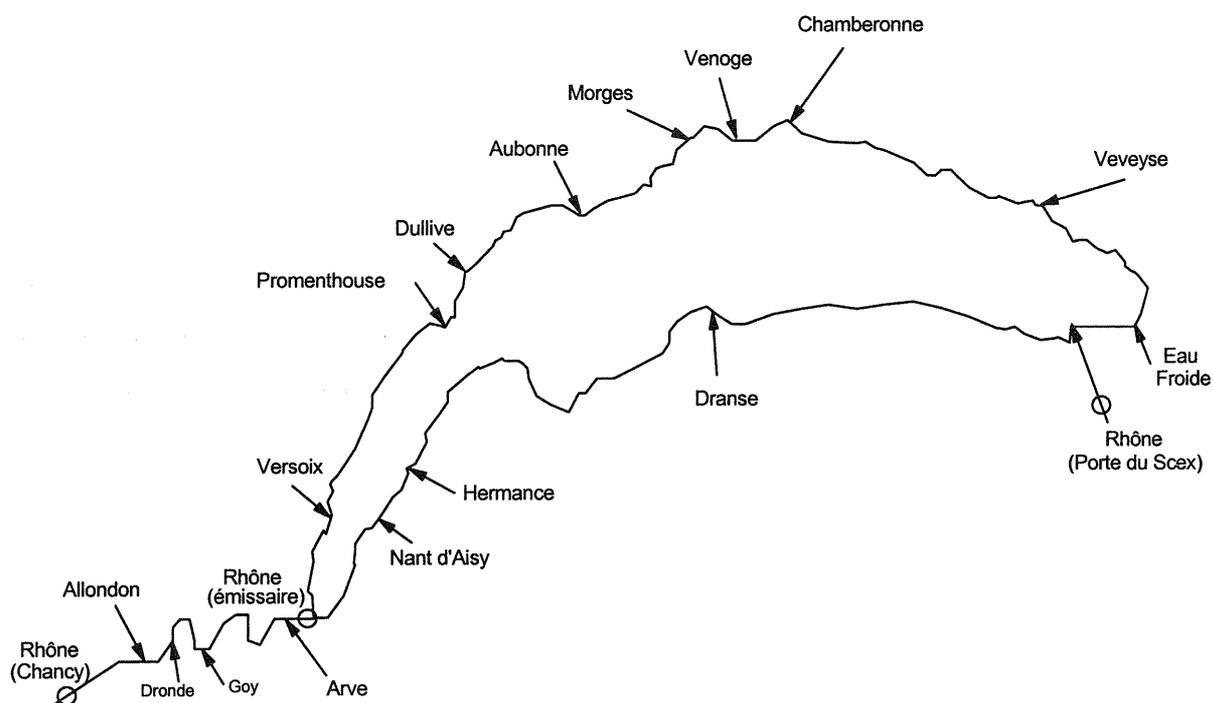


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées

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

L'année 2000 est une année de pluviométrie moyenne avec une lame d'eau précipitée au niveau du Léman de l'ordre de 1'031 mm (COLON, 2001). Les débits moyens annuels des rivières principales sont en baisse par rapport à 1999 mais restent dans la moyenne interannuelle de 1985 à 2000.

TABLEAU 2 - Débits des affluents principaux et de l'émissaire (m³/s)

Année	Rhône amont	Dranse	Aubonne	Venoge	Rivières secondaires	Rhône émissaire
1981	211.0	22.2	5.3	5.2		304
1982	219.0	22.7	7.0	6.1		304
1983	206.0	22.7	6.5	5.2		268
1984	160.2	19.6	5.9	5.3		221
1985	182.7	19.7	4.6	3.4		258
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
Moyenne	190,4	20,1	5,7	4,4	12,4	253,9

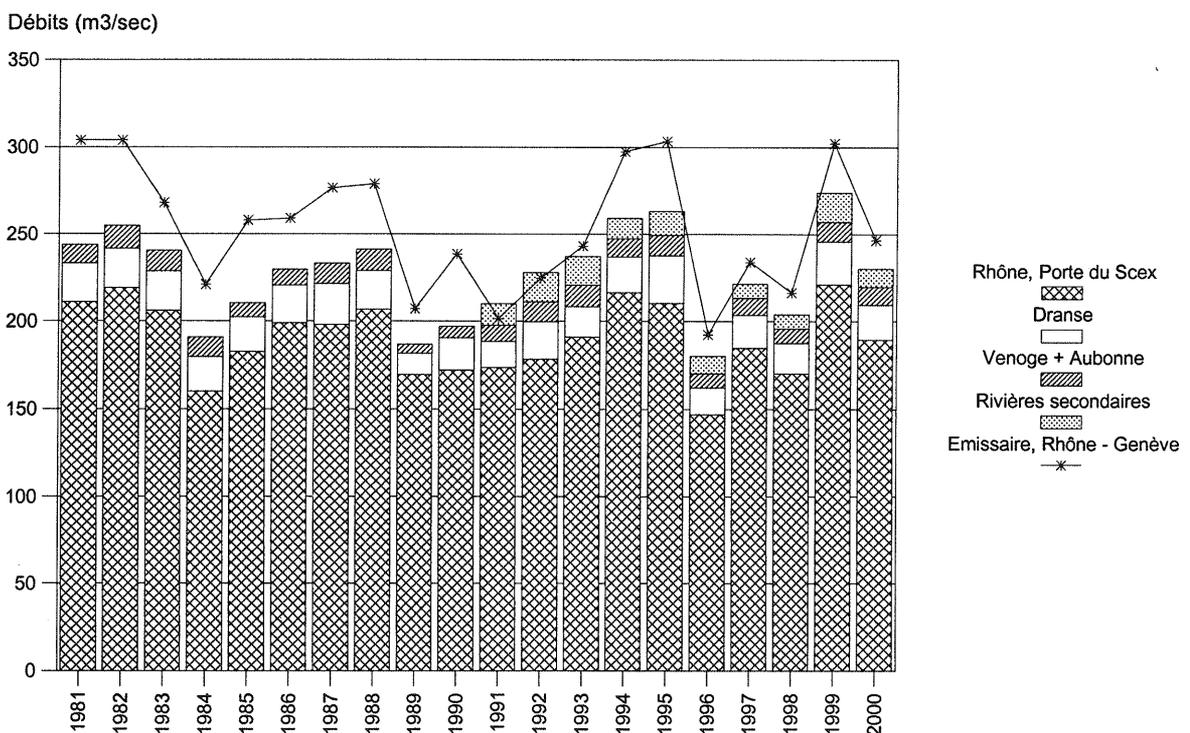


Figure 2 : Débits moyens annuels

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_{moy} = 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_{moy} = 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
 Q_{moy} = débit moyen annuel

3.1 Phosphore (figures 3 à 5)

Le phosphore apporté par les affluents peut être subdivisé en :

- *fraction dissoute* :
orthophosphate (forme prépondérante dans la fraction dissoute) et phosphore organique dissous.
- *fraction particulaire* :
phosphore organique particulaire et phosphore inorganique particulaire (apatitique ou non apatitique).

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

Fraction dissoute

La fraction dissoute est donc la plus importante au plan biologique : l'orthophosphate (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 moyens annuels en phosphore total par les quatre rivières principales sur la période 1980-2000 sont de 1'050 tonnes par an. Ils sont de 1'320 tonnes pour l'année 2000 dont 1'260 tonnes pour le Rhône amont.

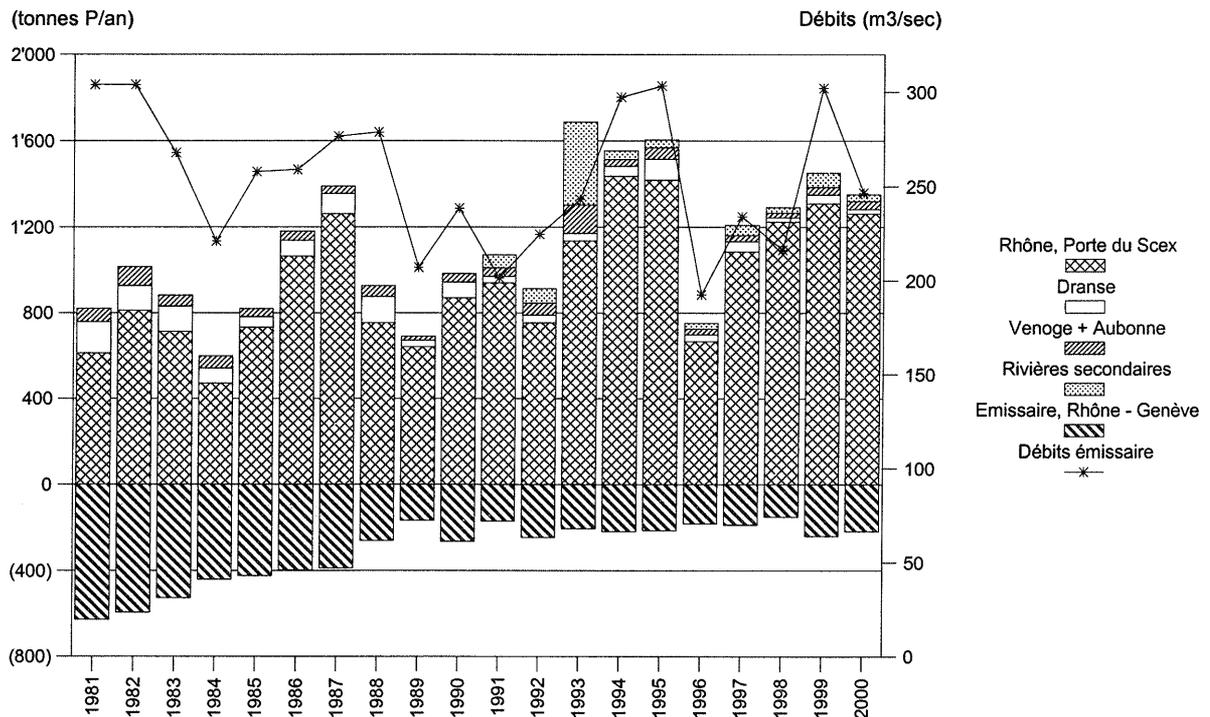


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

3.1.2 Phosphore dissous (orthophosphate)

Le total des apports en orthophosphate par les affluents principaux (53 tonnes) est toujours largement inférieur aux 100 tonnes, seuil atteint en 1987.

Les apports par la Dranse représentent 10.2 % des apports totaux des rivières principales. Le pourcentage moyen sur la période 1990-2000 est légèrement supérieur (11.7 %).

Les concentrations moyennes annuelles pondérées par les débits se répartissent comme suit : 6.7 µg P/l pour le Rhône amont, 8.6 µg P/l pour la Dranse, 15.6 µg P/l pour l'Aubonne et 28.6 µg P/l pour la Venoge.

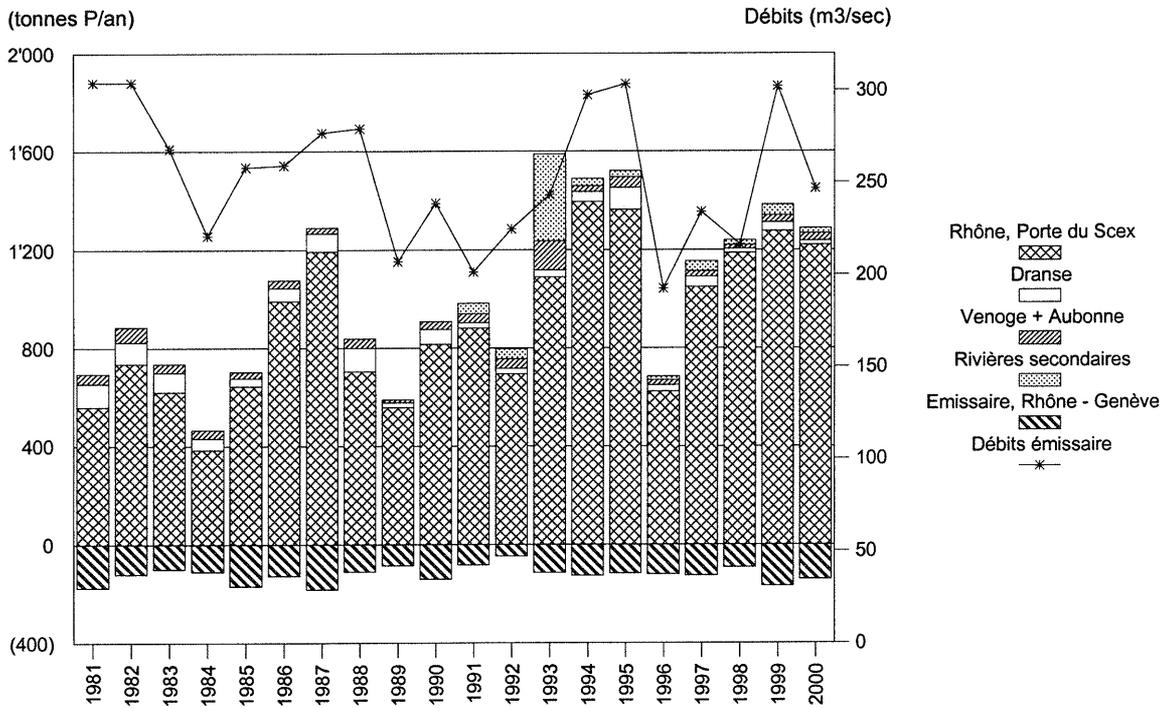


Figure 4 : Phosphore particulaire - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

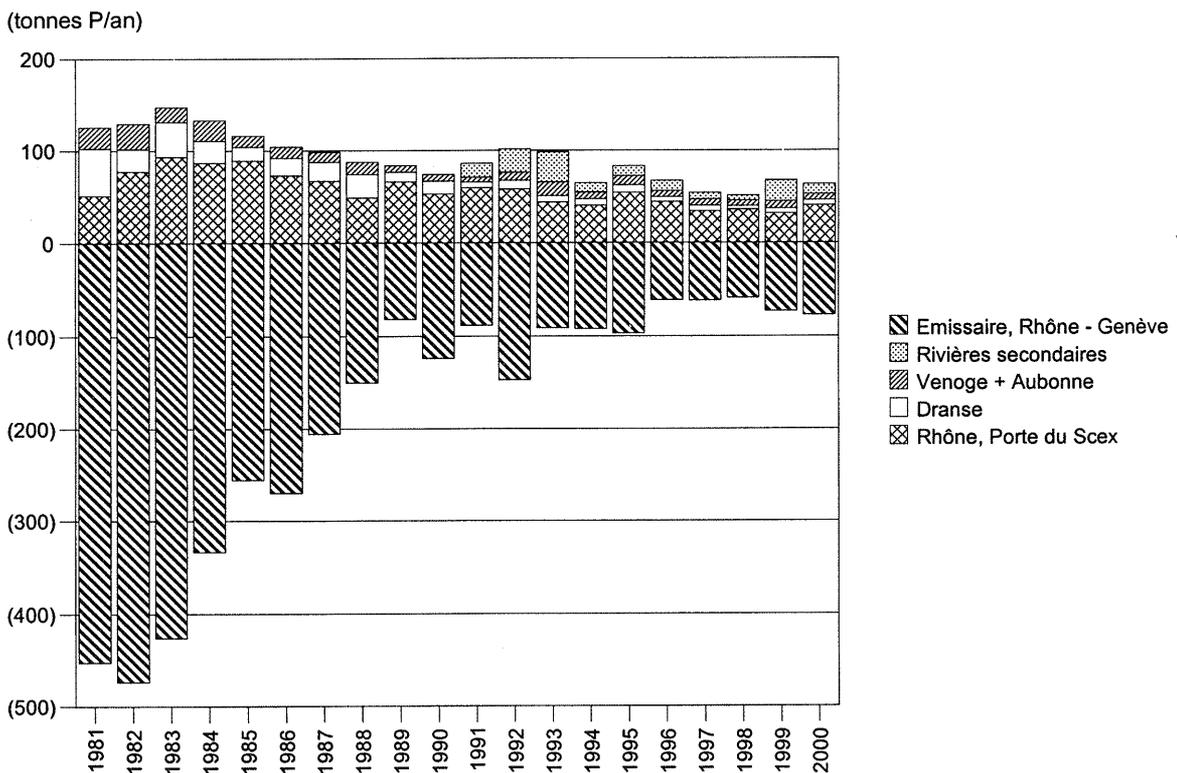


Figure 5 : Phosphore dissous (orthophosphate) - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

3.2 Azote minéral et total (tableau 3 et figures 6 et 7)

En 2000, les apports en azote nitrique par les quatre affluents principaux atteignent 4'345 tonnes (concentration moyenne pondérée par les débits : 0.71 mg N/l).

Les exportations d'azote nitrique par l'émissaire sont, en 2000, de 2'777 tonnes, total proche de la moyenne depuis 1980 (3'169 t).

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

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par les rivières principales s'élèvent à environ 4'700 tonnes. Le Rhône amont représente 74 % du total des apports des rivières principales. De fortes disparités existent entre les rivières, la fourchette des concentrations variant de 0.58 mg N/l pour le Rhône amont à 9.63 mg N/l pour le Nant d'Aisy.

Pour l'azote total (azote minéral et organique) dans le Rhône amont, les apports en 2000 (4'654 tonnes) sont plus faibles que la moyenne interannuelle 1980-2000 (5'630 tonnes). C'est le contraire pour la Dranse (550 tonnes et 516 tonnes).

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

Année	Rhône amont		Dranse	
	tonnes	mg N/l	tonnes	mg N/l
1981	5'499	0.830	619	0.880
1982	5'171	0.750	619	0.860
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
Moyenne	5'630	0.945	516	0.820

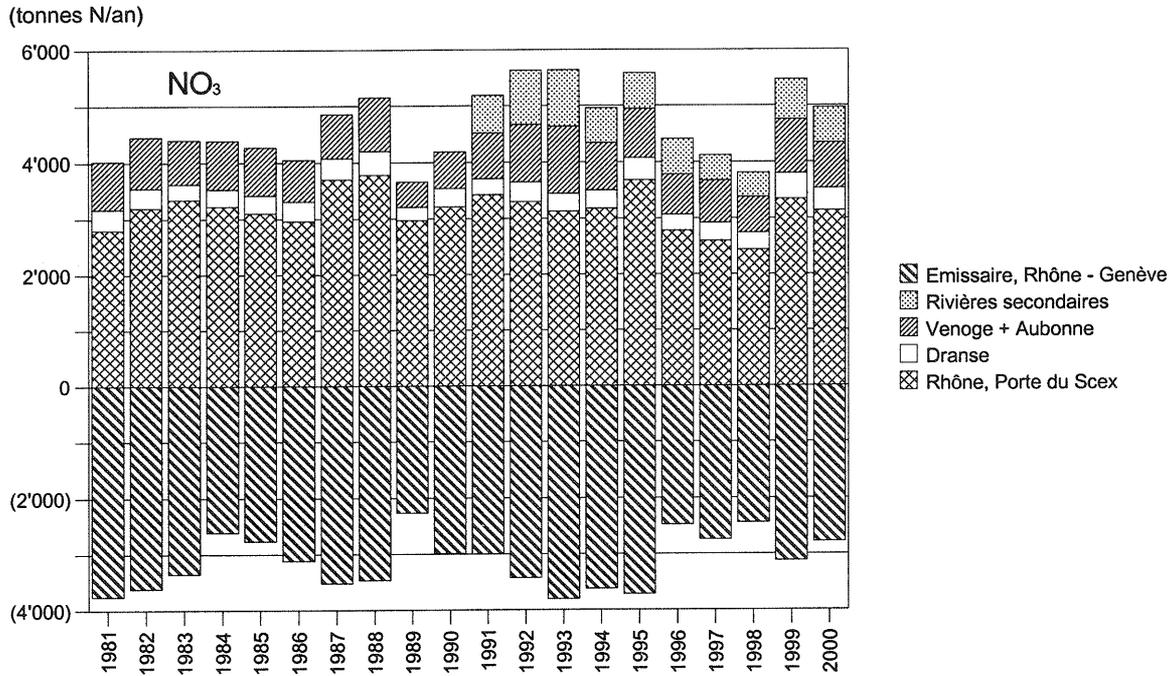


Figure 6 : Azote nitrique - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

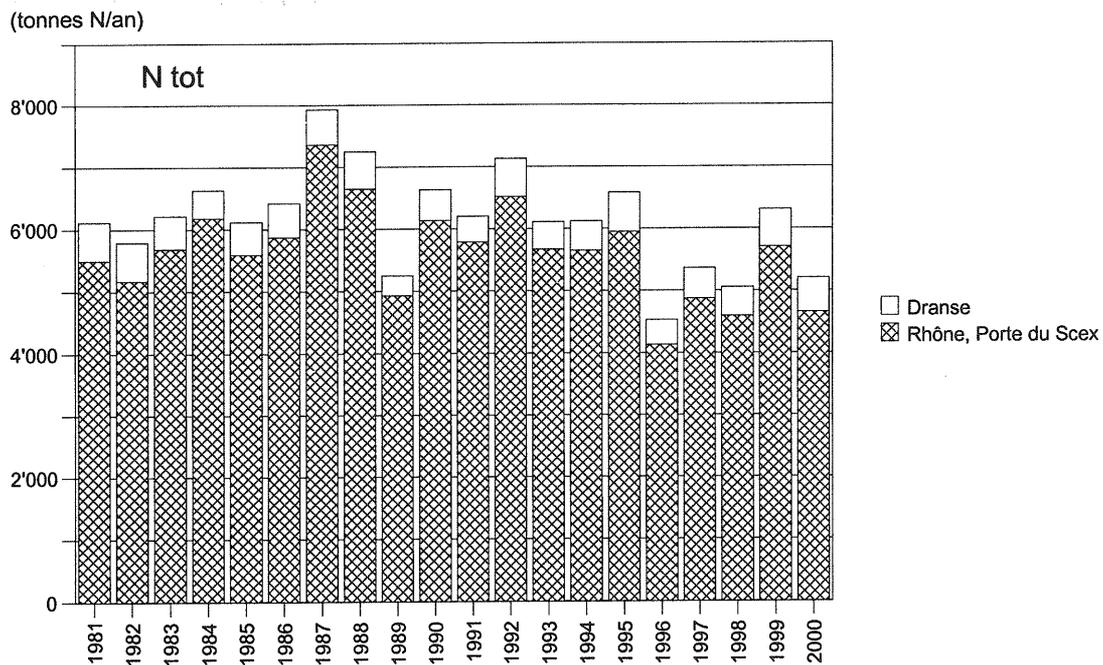


Figure 7 : Azote total - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

3.3 Chlorure (figure 8)

En terme d'apports annuels, le chlorure présente une tendance à l'augmentation. Pour 2000, la concentration moyenne pondérée pour les affluents principaux est de 8.3 mg Cl/l et les apports totaux par les rivières principales atteignent 57'500 tonnes.

La teneur moyenne dans les eaux du Rhône à l'émissaire atteint 7.1 mg Cl/l, ce qui correspond en terme de bilan à une perte annuelle de 55'200 tonnes.

Les résultats de l'étude de GUMY et de ALENCASTRO (2001) montrent que les deux sources principales du chlorure sont l'industrie, avec plus de 50 % des apports, et les sels de déneigement, avec environ 20 % des apports. Par contre, les apports provenant de la déphosphatation dans les stations d'épuration sont négligeables (environ 3 %).

(tonnes Cl/an)

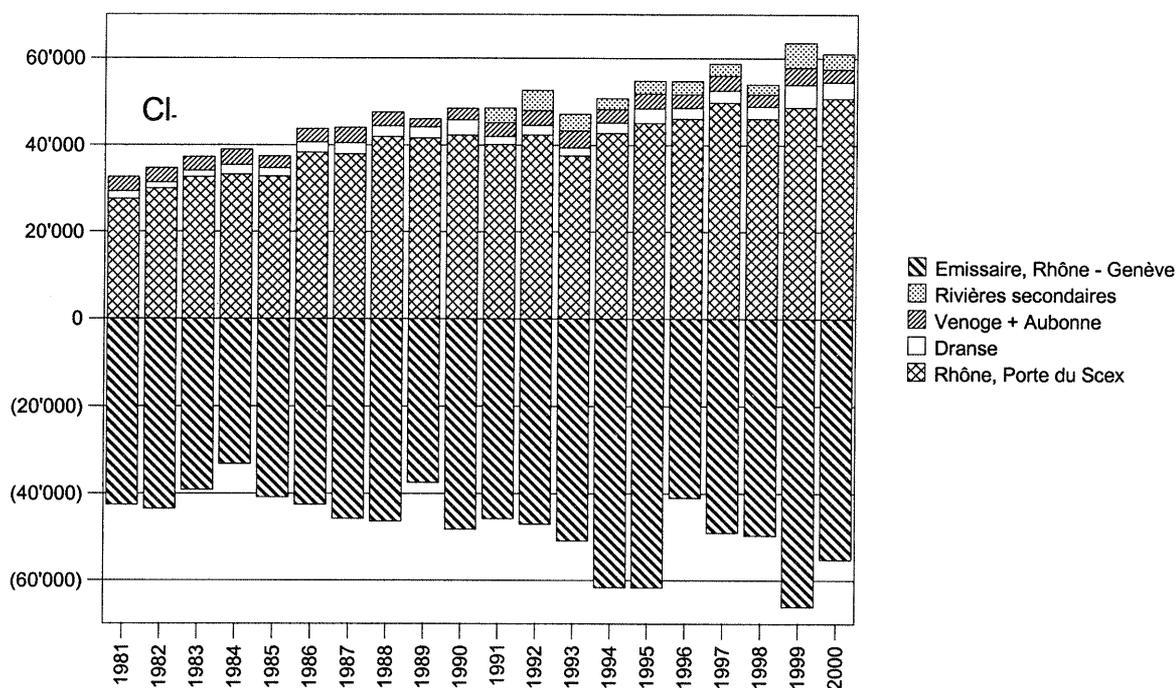


Figure 8 : Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et secondaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac)

3.4 Carbone organique

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

Les concentrations en carbone organique dissous des eaux du Rhône amont (1.5 mg C/l) sont plus faibles que dans les autres rivières principales. Les concentrations moyennes pondérées par les débits évoluent entre 1.5 mg/l pour le Rhône-amont à 7.2 mg/l pour l'Hermance.

La concentration de COD dans les eaux du Rhône émissaire est de 1.14 mg C/l pour l'année 2000, alors que la concentration moyenne annuelle pondérée par les débits de l'ensemble des rivières principales et secondaires considérées est de 1.46 mg C/l.

Les concentrations moyennes annuelles en carbone organique total dans les eaux sont très voisines : 3.3 mg C/l pour le Rhône amont et 2.9 mg C/l pour le Rhône à Chancy.

4. ÉTUDE DES AFFLUENTS SECONDAIRES

Les affluents secondaires étudiés fournissent un débit total de 10.4 m³/s, soit 4.5 % des apports mesurés au lac. Comme pour les affluents principaux, l'ensemble des résultats de la campagne 2000 sur les neuf affluents secondaires du Léman est consigné dans les tableaux 6 et 7.

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

TABLEAU 4 - Affluents secondaires (+ Rhône à Chancy) : débits moyens annuels en m³/s

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Bassin versant du Léman										
Versoix	290	4.66	2.87	3.17	3.65	3.35	2.74	3.07	4.63	330
Stockalper	287	3.62	2.79	2.41	3.32	2.20			3.17	
Veveyse	152	2.58	1.87	2.40	1.88	1.16	1.63	1.84	3.10	3.17
Promenthouse	1,51	1.41	1.72	1.30	1.97	1.23	1.79	1.43	2.64	1.90
Chamberonne	0,57	0.68	0.68	1.07	1.06	0.77	0.75	0.68	1.05	0,88
Hermance										0.54
Eau Froide	0,3	0.29	0.78	0.53	0.55	0.33		0.38	0.46	0,47
Morges	0,25	0.28	1.69	0.48	0.97	0.47	0.43	0.33	0.57	0,45
Dullive	0,15	0.25	0.98	0.28	0.19	0.21	0.21	0.26	0.34	0.24
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	78,8	92.8	62.50	84.28	90.55	71.36	63.03	65.63	103.5	72,5
Allondon	2,36	6.17	3.78	3.96	3.80	4.45	3.01	3.00	6.48	3,73
Goy										0,04
Dronde										0,01
Rhône Chancy	316	363	356.50	403.57	415.67	285,37	333.09	307.30	416.00	330,01

4.1 Phosphore dissous (orthophosphate) et phosphore total

La charge annuelle en phosphore dissous qui transite par les neuf affluents est de 10.6 tonnes. Ce tonnage correspond à celui apporté par la Dranse, l'Aubonne et la Venoge réunies (12.2 tonnes).

Pour les mêmes rivières mesurées en 1999, au nombre de sept, le total des apports en orthophosphate est en diminution (7.6 tonnes contre 14.4 tonnes). Les apports en orthophosphate ont fortement diminué entre 1999 et 2000 pour la plupart de ces rivières.

En terme de concentration en orthophosphate, le Nant d'Aisy (233 µg P/l), l'Hermance (165 µg P/l), la Chamberonne (56 µg P/l), la Versoix (41 µg P/l) et la Morges (40 µg P/l) sont les rivières présentant les concentrations les plus élevées.

En phosphore total, 32 tonnes sont amenées par les rivières secondaires contrôlées.

4.2 Azote minéral total

Les concentrations moyennes annuelles en azote minéral total varient de 0.78 mg N/l pour la Veveyse à 9.6 mg N/l pour le Nant d'Aisy. Les concentrations sont du même ordre de grandeur que les concentrations moyennes annuelles atteintes dans les eaux des rivières principales, notamment la Venoge (4.3 mg N/l) et la Dranse (0.67 mg N/l).

Les apports cumulés de l'ensemble des rivières secondaires représentent 52 % des apports cumulés de la Venoge, de l'Aubonne et de la Dranse. Globalement, les rivières secondaires examinées transfèrent 647 tonnes d'azote minéral total au Léman.

4.3 Chlorure

Les apports en chlorure des rivières secondaires atteignent 3'461 tonnes. Ce total est du même ordre de grandeur que celui des apports par la Dranse. Par rapport aux quatre rivières principales, les apports des rivières secondaires représentent 6 %. Les concentrations en chlorure dans les rivières secondaires varient entre 5.4 mg Cl/l pour l'Eau Froide et plus de 20 mg Cl/l pour la Chamberonne (20.1) et le Nant d'Aisy (22.8).

5. BASSIN VERSANT DU RHÔNE DE GENÈVE À CHANCY (figure 9)

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 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, principalement 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 flux pour la Drone et le Goy sont extrêmement faibles et dans la marge d'erreur de ces bilans globaux. 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 dernières 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-Aire (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. Les résultats sont indiqués au tableau 5.

La figure 9 montre le détail des charges qui transitent par Chancy.

L'augmentation du flux de nitrates entre le Rhône à l'émissaire et Chancy est de 120 %. Le flux de phosphore dissous à Chancy provient à 33 % du bassin dit "genevois" et à 43 % de l'Arve. Pour le phosphore total, 52 % proviennent du bassin dit "genevois".

Alors que les débits du Rhône émissaire représentent 74.7 % du débit du Rhône à Chancy, la participation du Rhône émissaire dans la charge totale du Rhône à Chancy représente :

- 23.7 % de la charge en phosphore dissous (orthophosphate)
- 24.7 % de la charge en phosphore total
- 45.4 % de la charge en nitrates
- 62.4 % de la charge en chlorure
- 76.5 % de la charge en sulfates.

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

TABLEAU 5 - Débits en m³/s et flux en tonnes/an

	Débit m ³ /s	Nitrates t N/an	Ortho- phosphate 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	246.6	2'777	77	217	8'887	55'155	360'040
Arve	72.5	1'448	140	204	2'786	14'274	93'555
Allondon	3.73	237	13	17	201	913	983
Bassin versant "genevois" *	7.17	1'654	95	438	8'796	18'038	16'162
Rhône Chancy	330	6'116	325	876	20'670	88'380	470'740

* = valeur non mesurée, mais obtenue par soustraction.

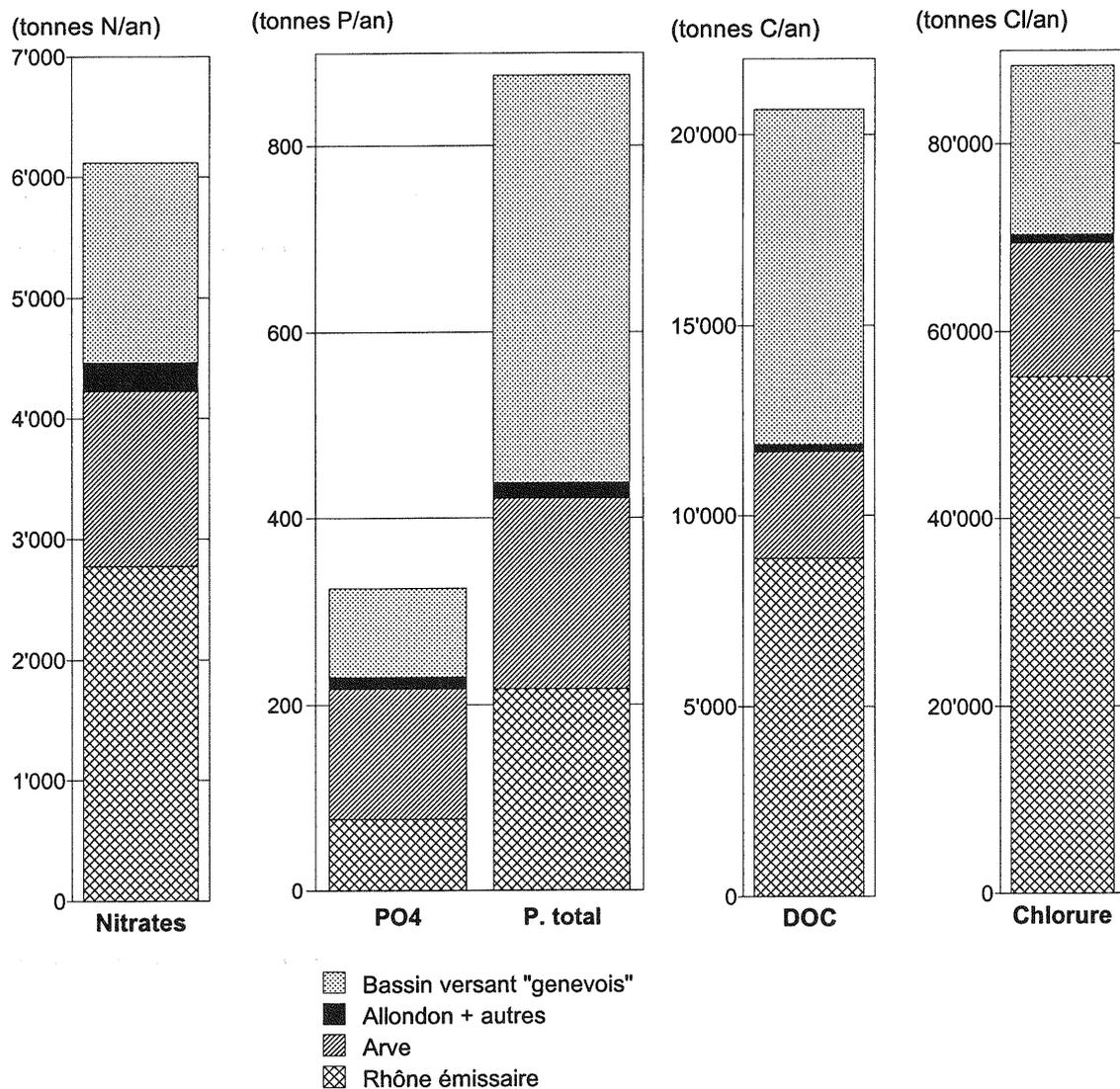


Figure 9 : Charges du Rhône à Chancy en 2000

6. CONCLUSIONS

6.1 Bassin versant du Léman

Avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 1'031 mm sur le bassin versant proche du Léman, 2000 est une année pluviométrie moyenne et les débits du Rhône à l'émissaire sont pratiquement égaux 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 220 m³/s.

Les apports en phosphore total sont de 1'320 tonnes pour les quatre rivières principales. Les apports par le Rhône amont représentent 95 % de ce total. Pour le phosphore dissous, élément directement assimilable par les algues, les apports par les rivières principales (53 tonnes) sont, pour la première fois depuis 1996 supérieurs à 50 tonnes. Les apports par les rivières secondaires (10.6 tonnes) ne peuvent être comparés aux apports des années précédentes compte tenu des changements qui interviennent dans la liste des rivières contrôlées. En terme de concentration moyenne annuelle en phosphore dissous, le Nant d'Aisy atteint le niveau record de 233 µg P/l. Les concentrations sont encore trop élevées dans les eaux du Nant d'Aisy (233 µg P/l), de l'Hermance (165 µg P/l), la Chamberonne (56 µg P/l), la Versoix (41 µg P/l) et la Morges (40 µg P/l).

Représentés à plus de 90 % par l'azote nitrique, les apports en azote minéral total par l'ensemble des rivières principales et secondaires contrôlées, s'élèvent à 5'341 tonnes. Les apports en azote minéral total par le Rhône amont représentent 64.6 % de l'ensemble des apports des quatre rivières principales et de neuf rivières secondaires. On constate que certaines rivières ont des concentrations en azote minéral total supérieures à 3 mg N/l. C'est le cas pour la Morges (5.7 mg N/l), la Venoge (4.3 mg N/l), la Chamberonne (3.1 mg N/l), la Dullive (3.3 mg N/l) et le Nant d'Aisy (9.6 mg N/l) et l'Eau Froide (3.7 mg N/l).

Les apports en chlorure par l'ensemble des rivières contrôlées atteignent le total de 61'000 tonnes. La concentration moyenne pondérée par les débits pour les rivières principales atteint 8.3 mg Cl/l. Elle est de 10 mg Cl/l pour les neuf rivières secondaires contrôlées.

6.2 Bassin versant du Rhône aval jusqu'à Chancy

Les analyses effectuées sur le Rhône émissaire, le Rhône à la sortie du territoire suisse à Chancy, l'Arve, le Goy, la Dronde 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 1'448 tonnes de nitrates et 140 tonnes de phosphore dissous (orthophosphate). Le bassin dit "genevois" apporte, quant à lui, 1'654 tonnes de nitrates et 95 tonnes de phosphore dissous.

La charge du Rhône en éléments fertilisants à la frontière franco-suisse (Chancy) est multipliée par 2.2 pour le nitrate et par 4.2 pour le phosphore dissous par rapport à celles mesurées à la sortie du lac (Rhône émissaire).

Par rapport aux charges à Chancy, celles dues à l'Arve représentent 23.7 % pour le nitrate et 43.2 % pour le phosphore dissous. Pour le bassin dit "genevois", les charges (obtenues par soustraction) représentent 26.9 % pour le nitrate et 29.2 % pour le phosphore dissous.

BIBLIOGRAPHIE

COLON, M. (2001) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000.

GUMY, D. et de ALENCASTRO, L.F. (2001) : Origine de la pollution du Léman par le chlorure. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000.

STRAWCZYNSKI, A. (2001) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000.

TABLEAU 6 - Concentrations moyennes en 2000

2000	Débit m³/s	N-NH ₄ µgN/l	N-NO ₂ µgN/l	N-NO ₃ µgN/l	Nmintot µgN/l	Ntot µgN/l	P-PO ₄ µgP/l	Ptot µgP/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Ca méq/l	Mg méq/l	Na mg/l	K mg/l	SiO ₂ mg/l	COD mg/l	COT mg/l	MES mg/l	
Bassin versant du Léman																			
Concentrations moyennes																			
Rhône amont	189.71	52		534		791	7	214	8.63	50.53	1.94	0.46	6.31	1.69	3.07	1.49	3.29	306.4	
Dranse	19.81	32	7	628	666	877	9	33	5.95	54.54	3.51	0.75	3.85	0.90	3.50			14.8	
Aubonne	6.09	23	6	1'297	1'326		16	85	4.88	4.26	3.42	0.44	3.32	0.55	2.75	2.87		50.3	
Venoge	4.22	62	26	4'189	4'277		29	154	15.30	17.22	4.33	0.65	7.52	1.77	4.91	3.19		83.9	
Versoix	3.30	24	18	1'172	1'214	1'398	41	71	7.82	5.91	3.25	0.42	4.36	0.86		1.97			
Veveyse	3.17	32	7	745	784		4	109	9.75	11.75	3.23	0.50	7.22	1.06	3.94	2.69		110.8	
Promenthouse	1.90	13	5	2'274	2'291		9	39	7.40	6.05	3.77	0.61	4.38	1.01	4.06	2.49		25.8	
Chamberonne	0.88	47	25	3'047	3'119		56	135	20.07	34.87	3.82	0.69	12.10	2.25	5.63	2.76		42.3	
Hermance	0.54	79	88	2'465	2'631	3'259	165	220	12.37	17.97	3.35	0.59	6.48	2.88	0.00	7.18			
Eau Froide	0.47	376	47	3'230	3'653		10	45	5.44	33.74	3.10	0.52	4.94	1.77	3.83	2.55		6.6	
Morges	0.45	42	29	5'675	5'745		40	175	18.17	25.94	4.84	0.91	8.29	2.76	8.34	3.42		103.9	
Dullive	0.24	15	9	3'247	3'271		14	28	12.14	21.90	4.74	0.99	6.89	1.93	7.84	2.47		5.6	
Nant d'Aisy	0.04	1'075	189	8'368	9'633	10'410	233	266	22.81	45.53	4.59	0.79	17.53	5.84		4.05			
Bassin versant du Rhône aval																			
Rhône émissaire	246.60	30	9	356	395	566	10	28	7.07	46.17	2.08	0.47	4.89	1.29	1.56	1.14			
Arve	72.50	110	67	633	811	990	61	89	6.24	40.92	2.43	0.40	4.30	1.11		1.22			
Goy	0.04	75	63	4'992	5'130	5'497	82	117	16.81	31.99	4.25	1.18	7.65	2.78		3.44			
Dronde	0.01	11	5	1'700	1'716	1'802	3	20	8.58	20.56	3.71	0.63	5.21	1.63		0.82			
Allondon	3.73	116	26	2'013	2'154	2'336	108	142	7.76	8.36	3.74	0.47	4.76	1.04		1.71			
Rhône Chancy	330.01	157	25	586	768	907	31	84	8.47	45.11	2.32	0.55	6.18	1.76	1.67	1.98	2.92	40.1	

TABLEAU 7 - Flux en 2000

2000	Debit (m3/se)	N-NH4 (t/an)	N-NO2 (t/an)	N-NO3 (t/an)	Nmintot (t/an)	NtotBrut (t/an)	P-PO4 (t/an)	PtotBrut (t/an)	Ppartic (t/an)	Cl (t/an)	SO4 (t/an)	Ca (t/an)	Mg (t/an)	Na (t/an)	K (t/an)	SiO2 (t/an)	DOC (t/an)	TOC (t/an)	MES (t/an)
Bassin versant du Léman																			
Rhône amont	189.7	308.3		3'143		4'654	40.46	1'262	1'221	50'798	297'314	228'763	33'259	37'151	9'930	18'069	8'774	19'363	1'803'068
Dranse	19.81	19.7	4.3	393	417	550	5.38	20.9	15.5	3'726	34'168	44'021	5'701	2'412	567	2'192			9'255
Aubonne	6.09	4.4	1.3	250	256		3.01	16.5	13.4	941	821	13'204	1'027	640	107	530	553		9'702
Venoge	4.22	8.3	3.4	559	570		3.82	20.6	16.8	2'040	2'296	11'573	1'060	1'002	236	654	425		11'182
Versoix	3.30	2.5	1.8	122	126	145	4.25	7.4	3.2	813	614	6'772	532	454	89		205		
Veveyse	3.17	3.2	0.8	75	79		0.40	10.9	10.5	975	1'175	6'480	604	722	106	395	269		11'086
Promenthouse	1.90	0.8	0.3	137	138		0.52	2.3	1.8	445	364	4'542	449	263	61	244	150		1'554
Chamberonne	0.88	1.3	0.7	85	87		1.55	3.8	2.2	558	970	2'129	232	337	63	157	77		1'177
Hermance	0.54	1.3	1.5	42	45	5	2.80	3.7	0.9	210	305	1'138	122	110	49		122		
Eau Froide	0.47	5.6	0.7	48	54		0.16	0.7	0.5	81	502	923	94	74	26	57	38		98
Morges	0.45	0.6	0.4	82	83		0.58	2.5	1.9	261	373	1'395	159	119	40	120	49		1'493
Dullive	0.24	0.1	0.1	25	25		0.11	0.2	0.1	93	168	728	92	53	15	60	19		43
Nant d'Aisy	0.04	1.2	0.2	9	10	11	0.25	0.3	0.04	25	50	100	11	19	6.4		4.4		
Total de 13 affluents	230.8	357.3		4'968			63.29	1'351	1'288	60'966	339'119	321'768	43'341	43'356	11'293	22'477	10'684		1'848'658
Bassin versant du Rhône aval																			
Rhône émissaire	246.60	230.3	70.2	2'777	3'078	4'413	77.19	216.7	139.5	55'155	360'040	324'557	44'865	38'159	10'021	12'140	8'887		
Arve	72.50	252.2	153.8	1'448	1'854	2'264	140.43	204.2	63.8	14'274	93'555	111'310	11'218	9'842	2'532		2'786		
Dronde	0.04	0.004	0.002	1	1	0.7	0.001	0.01	0.01	3.3	7.8	28	3	2.0	0.6		0.3		
Goy	0.01	0.1	0.1	5	6	6.5	0.09	0.13	0.04	18.5	35.2	94	16	8.4	3.1		3.8		
Allondon	3.73	13.7	3.0	237	253	275	12.74	16.7	4.0	913	983	8'819	673	560	123		201		
Rhône Chancy	330.01	1'775.3	286.1	6'116	8'177	9'464	325.39	875.9	550.5	88'380	470'740	485'689	69'939	64'458	18'404	17'443	20'670	30'465	418'185