

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 2004

PAR

Philippe QUETIN

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARTEL), 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 d'eau en continu (proportionnels au temps) sur sept affluents complémentaires. Les exportations du lac sont contrôlées sur le Rhône émissaire à Genève. Enfin, les analyses sur le Rhône aval (à Chancy) et sur l'Arve et l'Allondon permettent de dégager l'importance respective des différents apports du bassin versant du Rhône entre sa sortie du Léman et son entrée sur le territoire français.

2004 est une année à pluviométrie moyenne. Les débits des différentes rivières sont légèrement inférieurs à leur moyenne sur 10 ans. La somme des débits moyens de l'ensemble des affluents contrôlés est de 195 m³/s. Le débit moyen à la sortie du lac (émissaire à Genève) est de 218 m³/s.

Les apports en phosphore total au lac par les onze rivières suivies ont été de 1'294 tonnes. Le Rhône amont représente 91 % de ces apports. Il sort du lac 109 tonnes. Pour le phosphore dissous les apports sont de 56 tonnes. A l'inverse du phosphore total, fortement lié aux matières solides et qui sédimente dans le lac, la plus grosse part (36 tonnes) est exportée par l'émissaire.

Pour le phosphore total, les flux apportés par le Rhône amont sont en constante augmentation depuis le début des mesures. Par contre, la Dranse, la Venoge et l'Aubonne montrent une évolution à la baisse. Il en est de même pour le Rhône aval à Chancy. L'Arve et l'Allondon ne montrent pas d'évolution nette.

Pour le phosphore dissous, l'ensemble des onze rivières suivies se déversant dans le lac, ainsi que le Rhône aval à Chancy, montrent une nette décroissance des apports depuis une vingtaine d'années. Il n'en est pas de même pour l'Arve et l'Allondon qui ne montrent pas d'évolution à la baisse. Dans ces derniers bassins versants la plupart des stations d'épuration ne pratiquent en effet pas la déphosphatation.

Pour l'azote minéral total, l'ensemble des rivières auscultées montre une stabilité des apports au cours des années.

Pour le chlorure et après une longue période d'augmentation des apports, mais aussi des exportations, on constate une relative stabilité depuis quelques années pour la plupart des rivières. L'augmentation reste toutefois encore sensible pour le Rhône amont (+ 5 % par an).

En ce qui concerne la qualité des eaux (évaluation basée sur les concentrations en éléments les plus pénalisants pour les rivières elles mêmes : N-NH₄, COD et P-PO₄), on constate très nettement l'effet de la mise en place de la déphosphatation dans les stations d'épuration et de l'interdiction en Suisse du phosphate dans les détergents textiles et la baisse des teneurs dans ces produits en France. Il y a en effet, une nette baisse des concentrations en phosphore dissous dans les eaux des diverses rivières, à l'exception toutefois de l'Arve et l'Allondon où l'évolution n'est pas nette.

Pour l'azote ammoniacal (N-NH₄), l'évolution est beaucoup moins significative. Pour quelques rivières on constate une légère diminution des valeurs moyennes, par contre pour presque toutes les rivières les valeurs maximales sont à la baisse.

Pour les concentrations moyennes annuelles en carbone organique dissous (COD), quelle que soit la rivière, elles sont stables. On notera toutefois une très légère diminution des valeurs maximales.

ABSTRACT

The inputs into Lake Geneva from rivers are calculated on the basis of continuous water sample analyses (proportional to flow rates) for the four main tributaries (upstream segment of the Rhône, the Dranse, the Aubonne and the Venoge) and continuous water samples (proportional to time) taken from another seven tributaries. The discharges from the Lake are checked in the Rhône as emerges from the Lake in Geneva. Finally, analyses of the downstream Rhône (at Chancy) and of the Arve and Allondon reveal the high level of inputs from the catchment basin of the Rhône between where it emerges from Lake Geneva and where it enters French territory.

2004 was a year with average rainfall. The flow rates in the various rivers were slightly below the ten year average value. The sum of the mean flow rates for all the tributaries checked was 195 m³/s. The mean flow rate where the Rhône leaves the Lake (outflow at Geneva) was 218 m³/s.

The total phosphorus input into the Lake from the eleven rivers monitored amounted to 1'294 tonnes. The Rhône further upstream accounts for 91% of this input. 109 metric tonnes is discharged from the Lake. With regard to the dissolved phosphorus, the inflows amount to 56 metric tonnes. In contrast to the total phosphorus, which is tightly bound to the solid matter and which sediments in the lake, most of the dissolved phosphorus (36 metric tonnes) is carried out in the effluents.

The amounts of total phosphorus carried in the segment of the Rhône further upstream have been increasingly steadily since measurements began. In contrast, in the Dranse, the Venoge and the Aubonne they have all tended to fall, as they have in the downstream segment of the Rhône at Chancy. The Arve and the Allondon do not show any definite trend.

In the case of the dissolved phosphorus, all eleven rivers that flow into the lake that have been monitored, plus the downstream segment of the Rhône at Chancy, show a definite fall in inputs over the past twenty years or so. The same is not true for the Arve or the Allondon, which do not display any downward trend.

Total inorganic nitrogen has remained constant over the years in all the rivers.

With regard to chloride, after a long period during which the inputs and also the outputs had been increasing, the situation has been relatively stable for several years for most of the rivers. A continuing increase has been registered for the upstream segment of the Rhône (+ 5% per year).

With regard to water quality (assessed on the basis of the most damaging substances for the rivers themselves: N-NH₄, DOC and P-PO₄), the impact of the introduction of dephosphatation into the water treatment plants, the banning of phosphates in washing powders in Switzerland, and the lowering of the levels of these compounds in France is very clear. There has been a very clear fall in the concentrations of dissolved phosphorus in the water of the various rivers, apart from the Arve and the Allondon, where the trend is not clear. In the draining basins of the Arve and the Allondon, most of the water treatment plants do not in fact carry out dephosphatation.

In the case of ammoniacal nitrogen (N-NH₄), the change has been much less significant. A slight reduction in the mean values has been reported for some rivers. In contrast, the maximum values have declined in virtually all the rivers.

The mean annual concentrations of dissolved organic carbon (DOC) have remained stable in all rivers, however, there has been a very slight reduction in the maximum values.

1. GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODES

En 2004, 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 du lac sont déterminées sur le Rhône émissaire à Genève. Pour ces rivières, les prélèvements sont effectués en continu et les analyses réalisées sur des échantillons proportionnels au débit (figure 1 et tableau 1).

Comme en 2003, les mesures de débits de la Dranse sont effectuées au pont de Couvaloup à Seytroux.

Plusieurs affluents complémentaires, tous situés sur la côte suisse, ont été suivis : la Versoix, la Promenthouse, la Dullive, la Morges, la Chamberonne, la Veveyse et l'Eau Froide.

Les analyses concernent aussi le Rhône émissaire, le Rhône à Chancy (programme NADUF), l'Arve ainsi que l'Allondon.

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, 2005).

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 (Chamberonne, Promenthouse et Versoix). Toutes les autres rivières sont suivies dans le cadre de programmes cantonaux ou propres aux laboratoires.

Le présent rapport est basé sur l'évolution temporelle des affluents. Il est rédigé en deux parties :

Dans la première partie nous analyserons les quantités (en terme de flux) de nutriments (phosphore total, orthophosphate et azote minéral total) et de chlorure arrivant par les 4 affluents principaux ou sortant du lac, ainsi que les quantités apportées par les rivières en aval du lac.

Dans la seconde partie nous analyserons la qualité de ces eaux en terme de concentrations de phosphore dissous (orthophosphate), d'azote ammoniacal et de carbone organique dissous. Dans cette partie nous nous intéresserons aux valeurs moyennes annuelles pondérées par le débit, ainsi qu'aux valeurs maximales et minimales relevées. Les mêmes affluents seront suivis, de même que la Versoix, affluent qui a généralement des concentrations assez élevées.

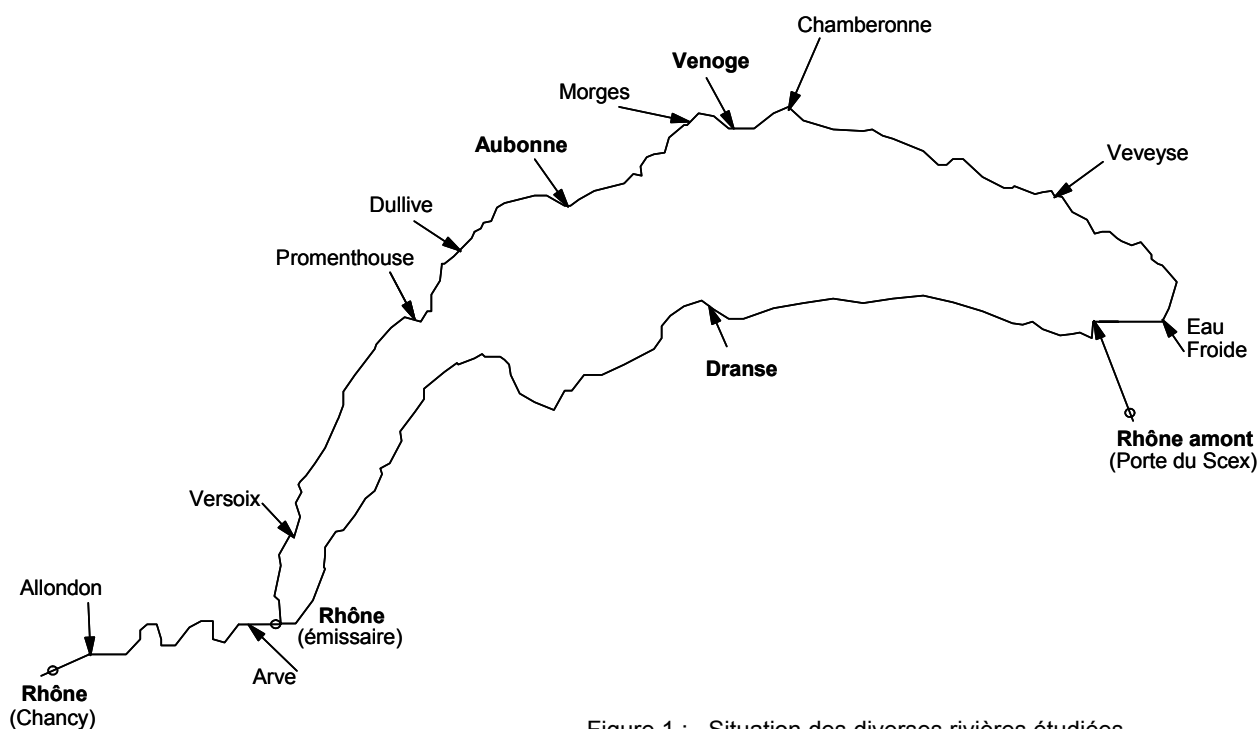


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées.

Figure 1 : Location of the various rivers investigated.

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)
Bassin du Léman				
Rhône - Porte du Scex	x ¹			
Dranse	x ¹			
Aubonne	x ¹			
Venoge	x ¹			
Versoix	x ²			
Veveyse		x		
Promenthouse		x		
Chamberonne		x		
Morges		x		
Dullive		x		
Eau Froide			x	
Rhône émissaire	x ²			
Bassin du Rhône aval				
Arve				x
Allondon				x
Rhône à Chancy	x ²			

¹ = intégré sur une semaine

² = intégré sur deux semaines

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

- **Pour les rivières échantillonnées en continu (proportionnel au débit ou au temps)**

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

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

- **Pour les rivières à échantillonnage mensuel**

$$Fmoy = \frac{\sum_1^n Ci \cdot Qi}{n} \qquad Cmoy = \frac{Fmoy}{Qmoy}$$

avec Fmoy = flux moyen (g/s)
 Ci = concentration dans l'échantillon prélevé (g/L)
 Qi = débit moyen de la période correspondante (m³/s)
 n = nombre d'échantillons
 Qmoy = débit moyen annuel

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

L'année 2004 est une année à pluviométrie moyenne avec une lame d'eau précipitée au niveau des inter-stations du Léman de l'ordre de 990 mm (QUETIN, 2005). Tous les débits moyens annuels sont légèrement inférieurs à leur moyenne décennale. C'est la 11^e fois depuis 1963 que le débit cumulé des 4 principales rivières est inférieur à 200 m³/s.

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

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

Année	Rhône amont	Dranse	Aubonne	Venoge	Rivières complémentaires	Rhône émissaire
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
2004	163.3	13.8	4.9	3.7	9.3	218.3
Moyenne	186.3	19.9	5.5	4.2	10.6	250.3

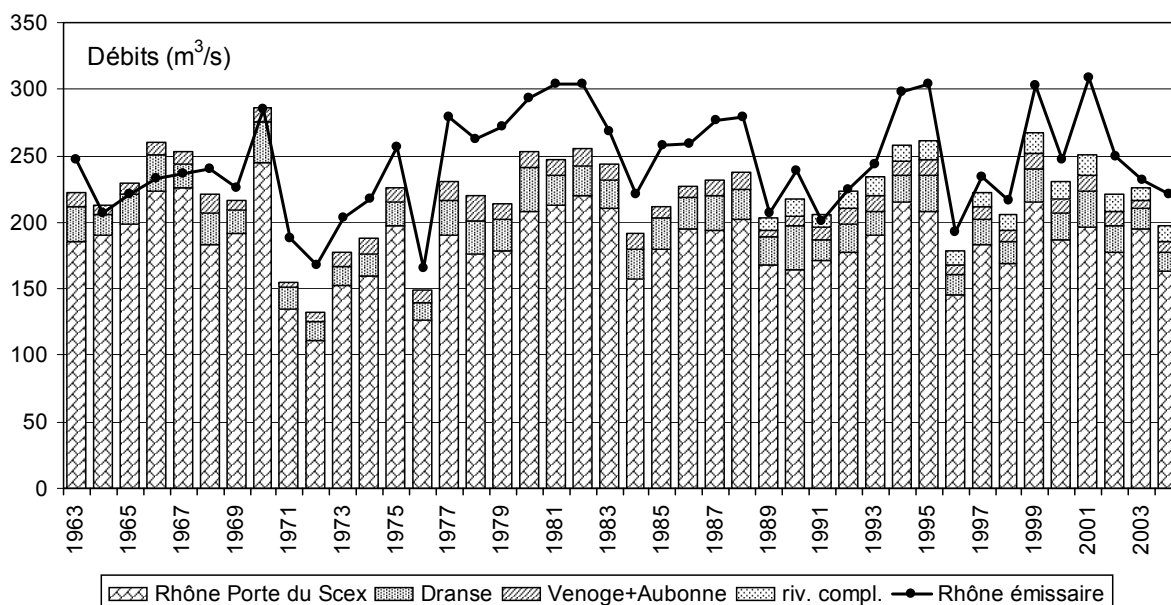


Figure 2 : Débits moyens annuels.
Figure 2 : Mean annual flow rates.

3. APPORTS ANNUELS DES AFFLUENTS

3.1 Phosphore (figures 3 à 8)

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_4) est directement biodisponible, de même que certains composés phosphorés provenant d'eaux usées; sous certaines conditions (faible teneur en orthophosphate), les algues peuvent métaboliser la forme organique dissoute du phosphore. En faisant abstraction du phénomène secondaire de fixation sur les particules qui sédimentent à travers l'hypolimnion, la majeure partie du phosphore dissous apporté par les affluents est à disposition des algues.

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.

► **Phosphore total**

Les apports en phosphore total par les quatre affluents principaux sont de 1'257 tonnes pour l'année 2004, dont 1'179 tonnes par le Rhône amont, soit 94 % des apports des quatre affluents (figure 3). 37 tonnes sont apportées par les rivières complémentaires, soit pour l'ensemble des rivières contrôlées 1294 tonnes. Cela fait 9 fois depuis 1985 que le cumul des 4 rivières principales dépasse les 1'200 tonnes P/an.

L'apport du Rhône amont montre une nette augmentation depuis le début des mesures, de 22 tonnes de P/an ($R^2 = 0.63$) (figure 5).

Le phosphore total dans le Rhône émissaire suit une augmentation annuelle jusqu'en 1980, puis une décroissance logarithmique ($R^2 = 0.85$). Depuis 1989 et alors que les entrées au lac sont en augmentation, sa valeur est relativement stable à un niveau très inférieur à celui des deux décades précédentes (figure 3).

La Dranse suit la même évolution que le Rhône émissaire jusqu'à la fin des années 80 (une augmentation annuelle jusqu'en 1980, puis décroissance, $R^2 = 0.77$) (figure 6). On retrouve actuellement les apports que l'on avait dans les années 1965-67 (25 tonnes).

La Venoge a eu son maximum en 1973 puis une décroissance exponentielle ($R^2 = 0.46$) avec cependant en 1993 une pointe d'apports de 91 tonnes de P (figure 7).

L'Aubonne a eu son maximum en 1965, depuis 1969 les apports sont relativement stables (figure 8).

► **Phosphore dissous (orthophosphate)**

En 2004, le total des apports en phosphore dissous (orthophosphate) par les affluents est de 56.9 tonnes avec 50.6 tonnes sur les 4 affluents principaux (figure 4). Globalement on voit bien l'effet de l'assainissement qui se marque dès 1975.

Le maximum relevé pour le Rhône amont est en 1966 avec 320 tonnes de P (figure 5), ensuite il a mis 10 ans, malgré de nouvelles augmentations épisodiques pour décroître à 150 tonnes. Il a fallu attendre 1990 pour qu'il atteigne 50 tonnes, depuis sa valeur moyenne se maintient à environ 43 tonnes de P/an.

La courbe d'évolution de la Dranse a été chaotique jusqu'en 1991 (figure 6) avec un maximum de 60 tonnes en 1975. Le régime hydraulique piloté par le barrage d'EDF de Bioge pourrait expliquer cette évolution (pics liés aux lâchers décennaux). Depuis 1991 sa valeur se maintient en moyenne à 3.6 tonnes de P.

Pour la Venoge, de 1965 à 1990 la forme de l'évolution ressemble à une courbe en cloche (figure 7) avec un maximum de 59 tonnes atteint en 1973-75. Sa valeur moyenne depuis 1989 est de 4.5 tonnes.

L'Aubonne atteint son maximum en 1968 avec 21 tonnes. C'est le premier affluent dont l'évolution s'est stabilisée, en 1985 à une valeur de 2.9 tonnes (figure 8).

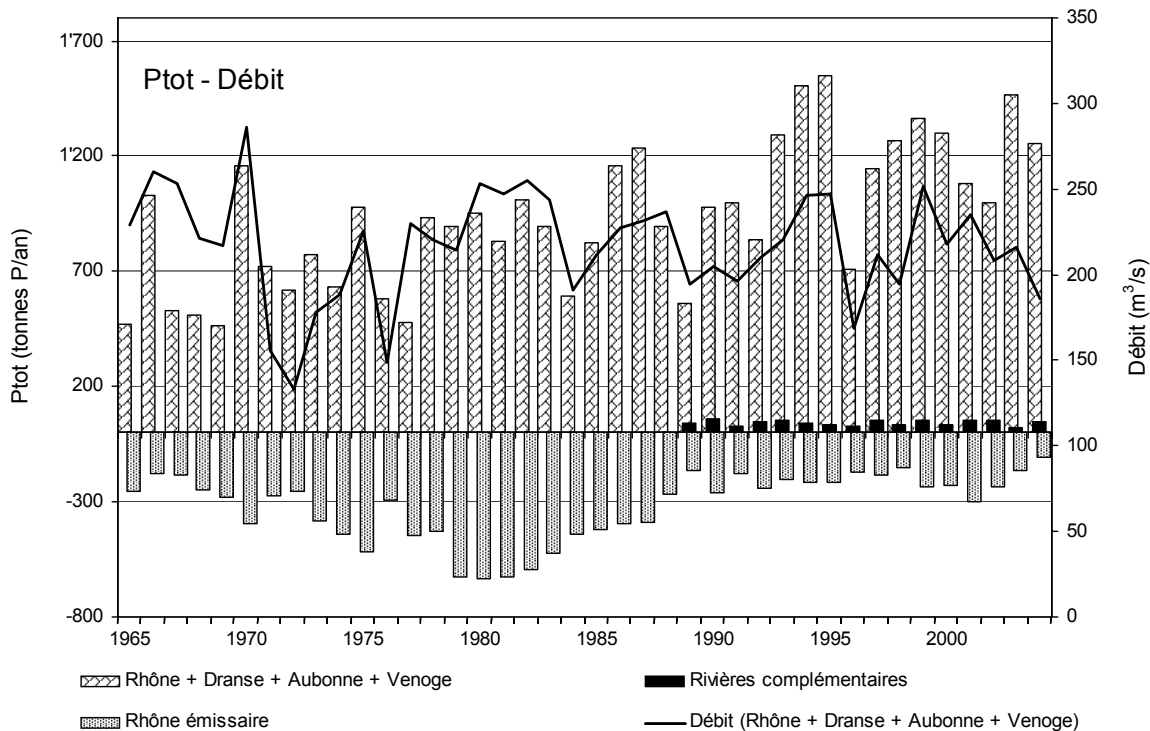


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

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

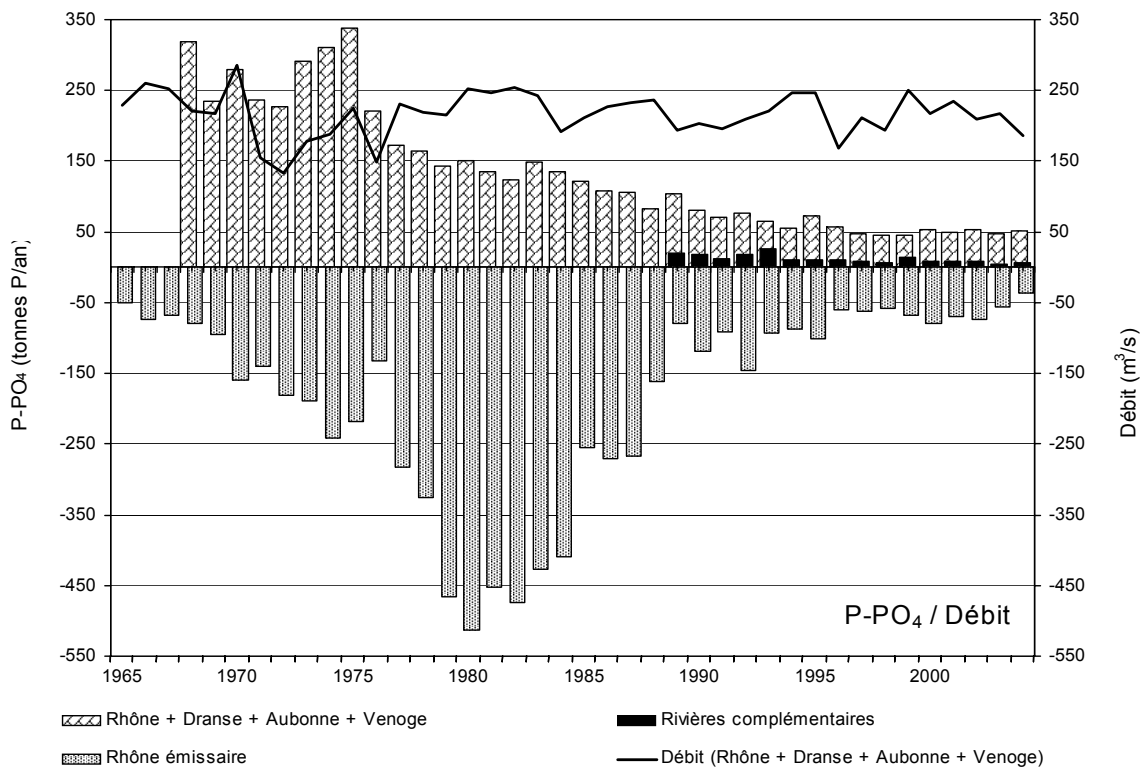


Figure 4 : Phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

Figure 4 : Dissolved phosphorus (P-PO₄) - 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).

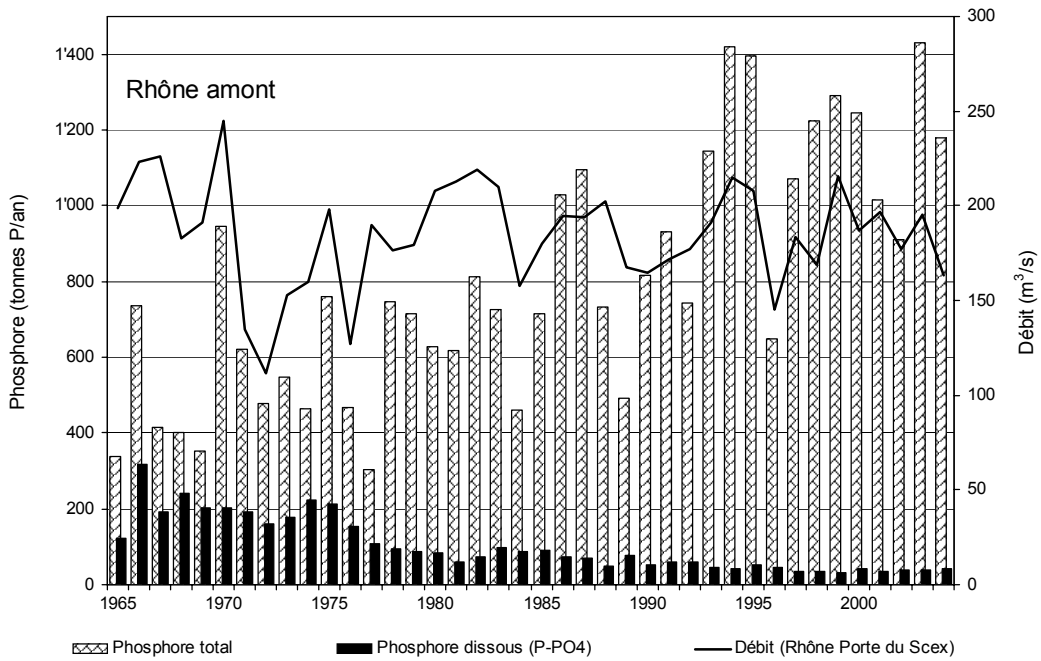


Figure 5 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex).
Figure 5 : Total phosphorus and Dissolved phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the upstream segment of the Rhône (Porte du Scex).

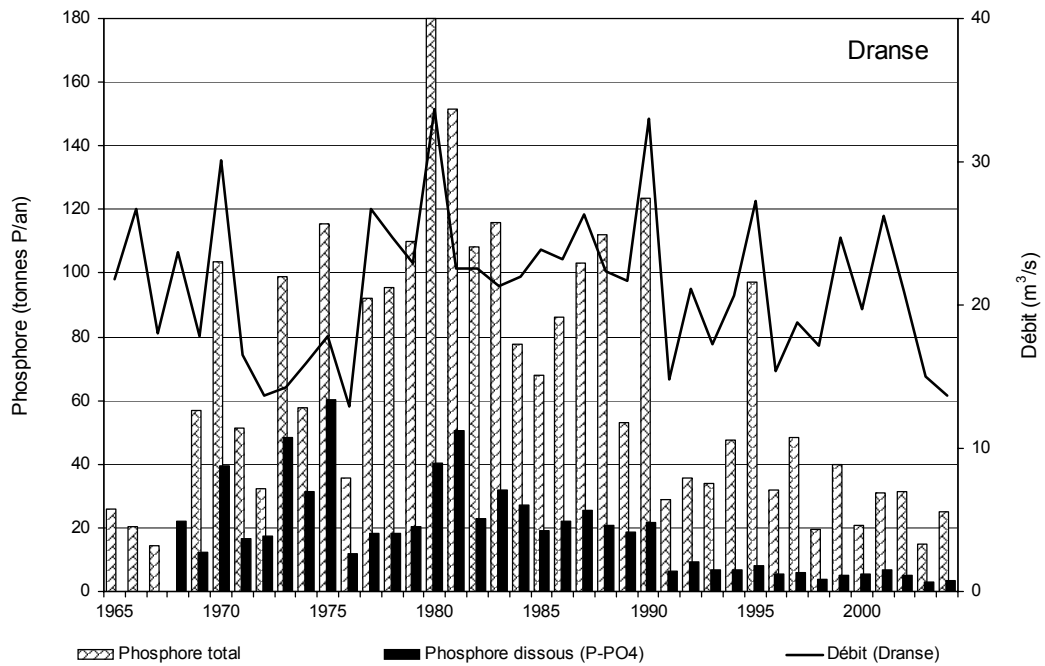


Figure 6 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par la Dranse.
Figure 6 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the Dranse.

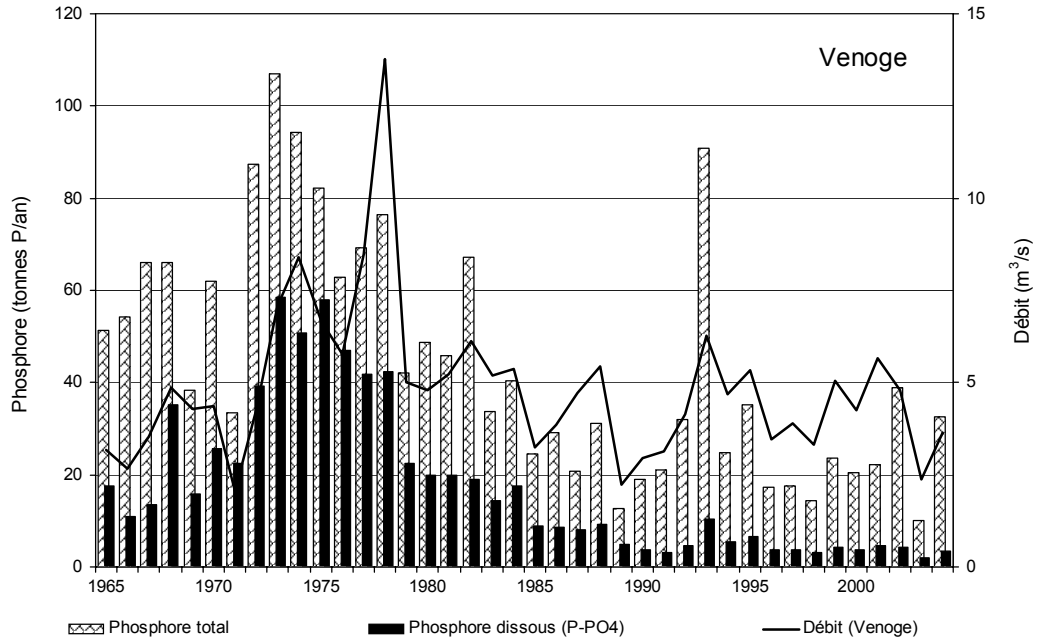


Figure 7 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par la Venoge.
Figure 7 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the Venoge.

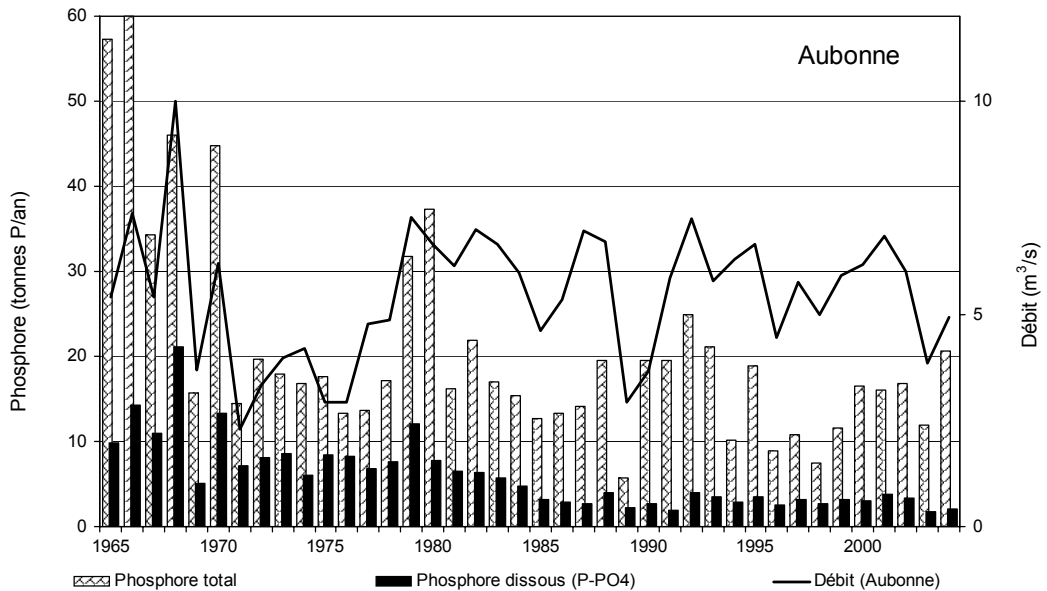


Figure 8 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par l'Aubonne.
Figure 8 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the Aubonne.

3.2 Azote minéral total (figures 9 à 13)

Pour l'azote minéral total, les apports par les affluents en 2004 sont de 5'150 tonnes.

L'évolution pour le Rhône amont est relativement stable depuis 1976. Les apports sont de l'ordre de 3'200 tonnes/an ces quatre dernières années. Il n'y a pas de relation nette avec le débit.

Le Rhône émissaire a une relation cyclique (relation azote – débit de 15.2 tonnes N/m³ avec un R² de 0.59). Les apports par la Dranse montrent une augmentation jusqu'en 1990 (+10 tonnes N/an avec un R² de 0.45), puis est stable avec environ 385 tonnes N/an. On constate également les effets des vidanges décennales. La relation azote – débit, avec un R² de 0.5, est de 14.8 tonnes N/m³.

Pour la Venoge, le maximum relevé fut en 1978 de 1'220 tonnes. Depuis 1979, les apports sont relativement stables avec une moyenne annuelle de 560 tonnes. La relation azote – débit, avec un R² de 0.65, est de 86 tonnes N/m³.

Les apports par l'Aubonne sont relativement stables depuis 1978 avec 260 tonnes/an. La relation azote-débit, avec un R² de 0.56, est de 33.2 tonnes N/m³.

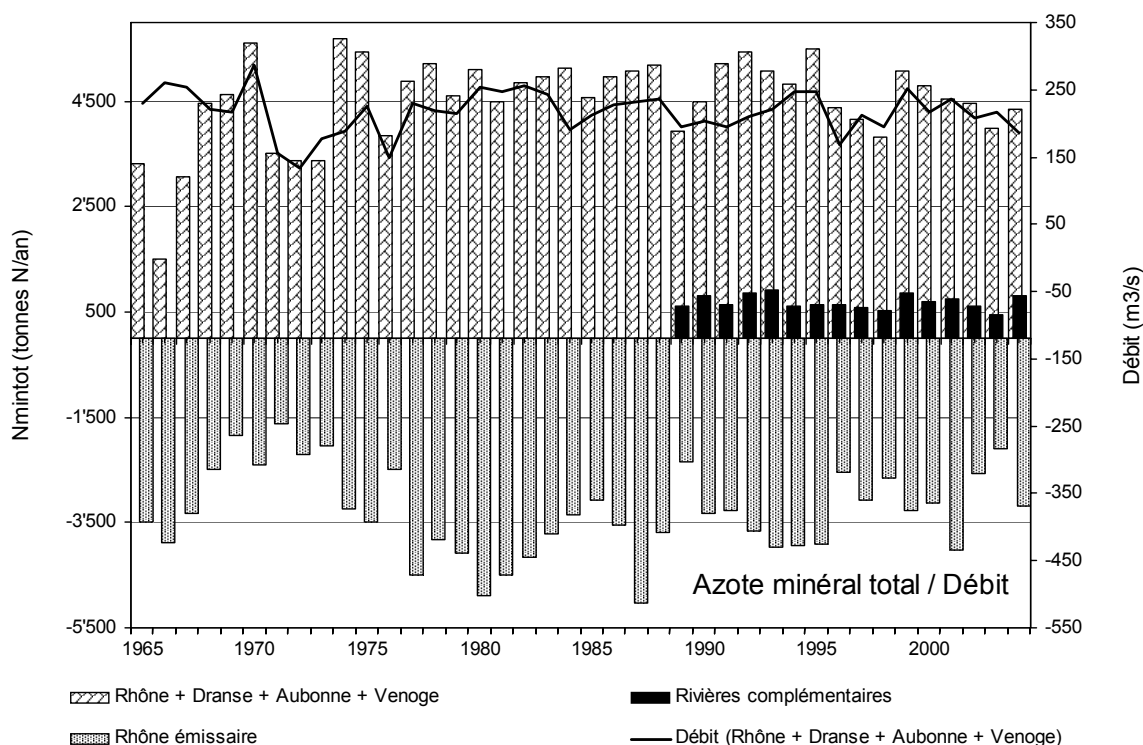


Figure 9 : Azote minéral total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

Figure 9 : Total inorganic 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).

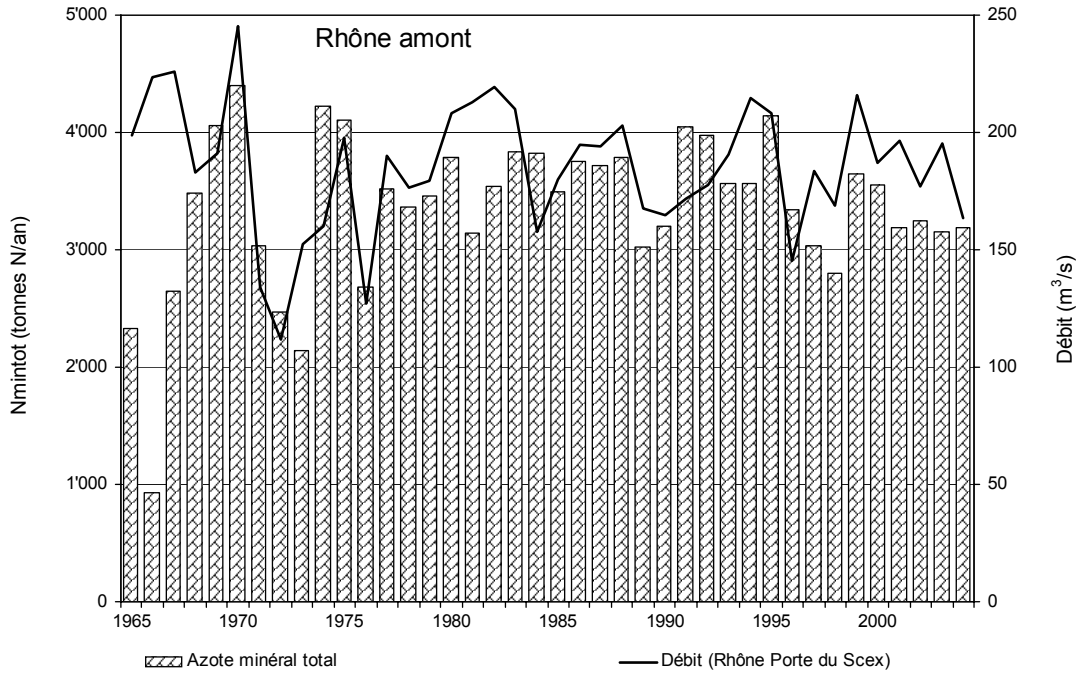


Figure 10 : Azote minéral total - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex).

Figure 10 : Total inorganic nitrogen - Annual inflow from the upstream segment of the Rhône (Porte du Scex).

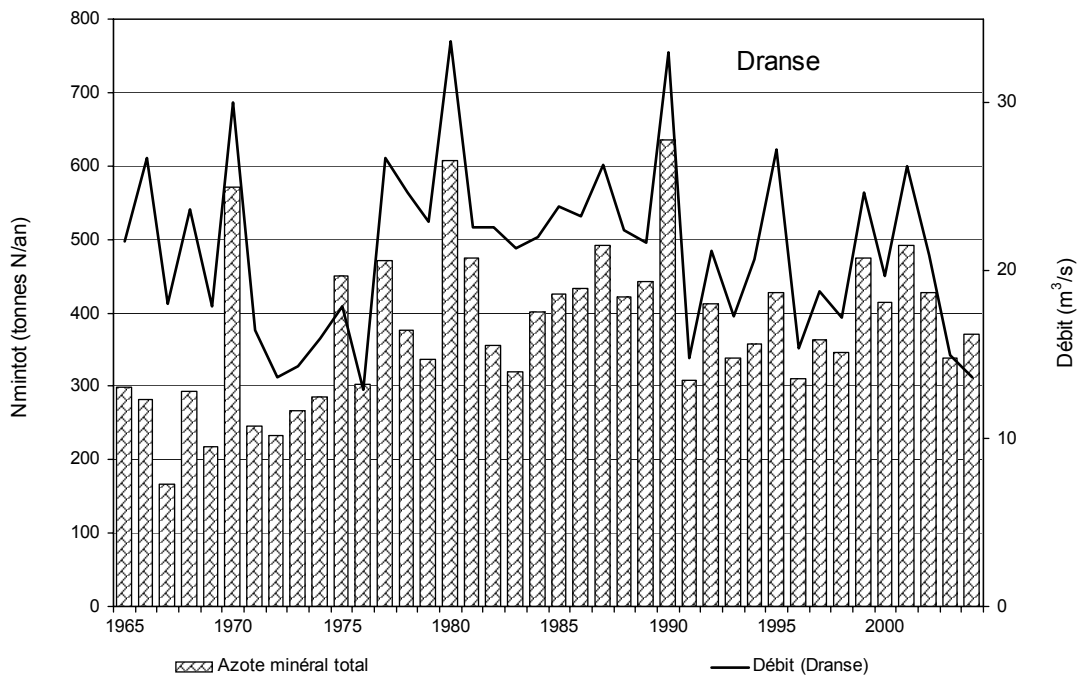


Figure 11 : Azote minéral total - Apports annuels par la Dranse.

Figure 11 : Total inorganic nitrogen - Annual inflow from the Dranse.

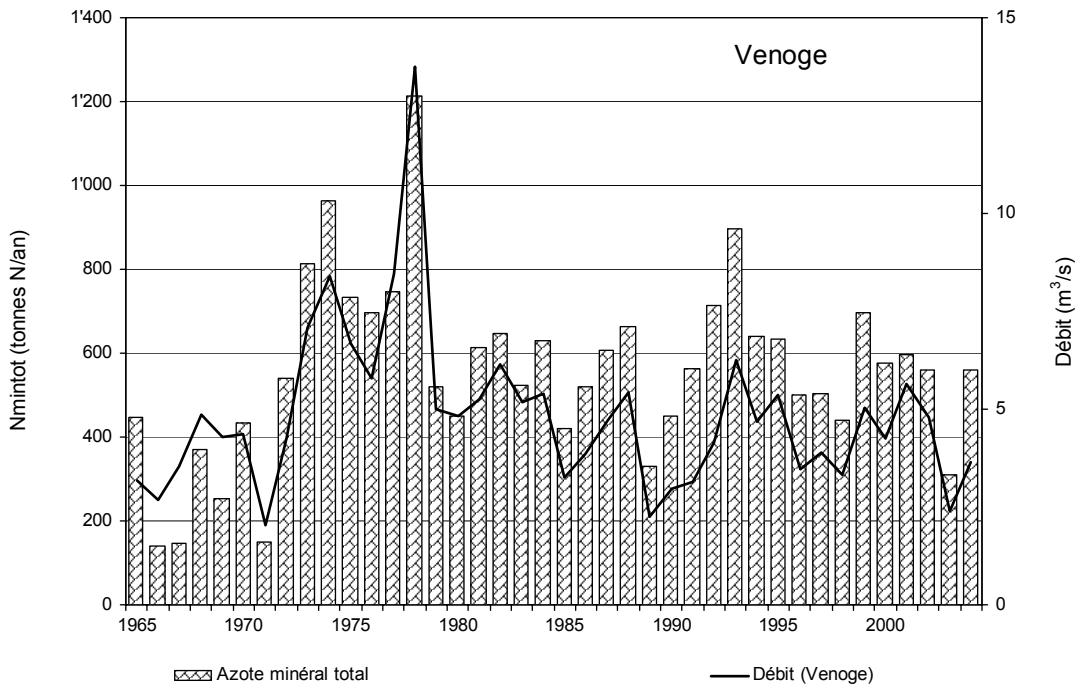


Figure 12 : Azote minéral total - Apports annuels par la Venoge.

Figure 12 : Total inorganic nitrogen - Annual inflow from the Venoge.

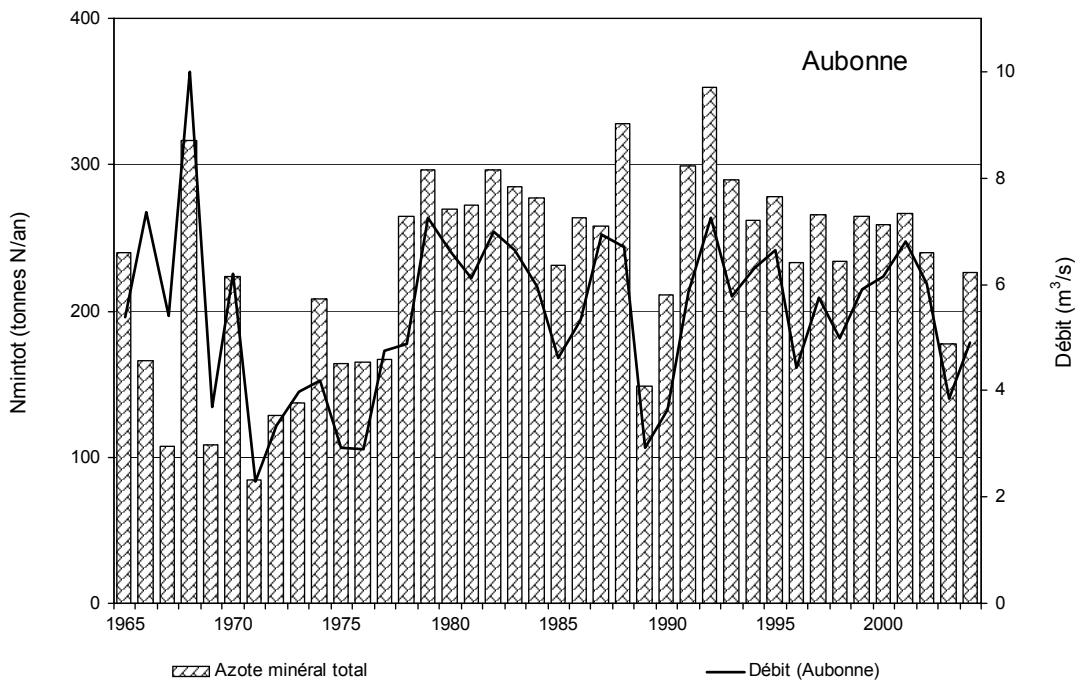


Figure 13 : Azote minéral total - Apports annuels par l'Aubonne.

Figure 13 : Total inorganic nitrogen - Annual inflow from the Aubonne.

3.3 Chlorure (figures 14 à 18)

Pour 2004, les apports totaux par les rivières atteignent 61'775 tonnes de chlorure.

L'évolution depuis 1965 des apports du Rhône amont montre une augmentation d'environ 5 % par an (+ 686 tonnes/an) avec un R^2 de 0.71. Par rapport à l'ensemble des rivières, les apports du Rhône amont représentent en moyenne le 80 %. Les apports de l'ensemble des rivières tendent toutefois à se stabiliser depuis quelques années.

Pour les exportations par le Rhône émissaire, la tendance est à une augmentation de 1'115 tonnes/an avec un R^2 de 0.83.

Pour la Dranse, l'augmentation globale est de 52 tonnes/an avec un R^2 de 0.35. On note cependant une nette décroissance depuis 2000.

Les apports par la Venoge sont relativement stables depuis 1979 avec environ 2'235 tonnes.

Ceux de l'Aubonne sont stables depuis 1981 avec 910 tonnes. C'est le seul affluent à avoir une relation chlorure – débit qui est de 33.2 tonnes Cl/m³, avec un R^2 de 0.56.

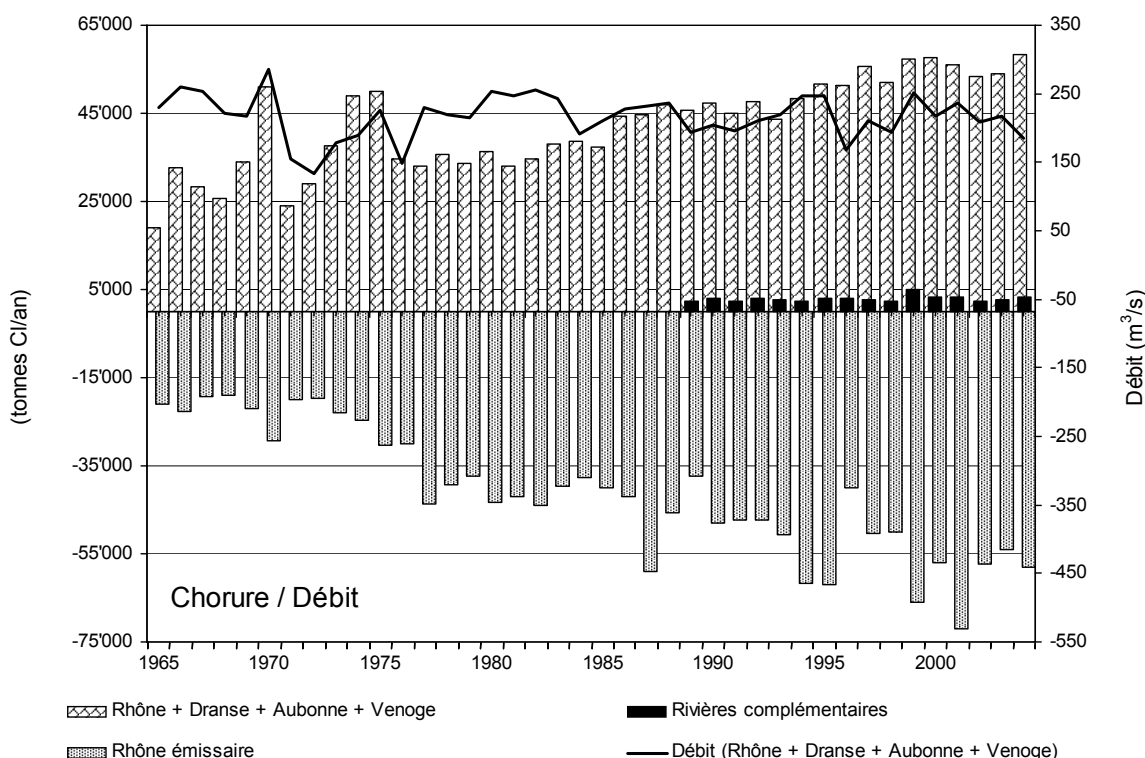


Figure 14 : Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

Figure 14: 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).

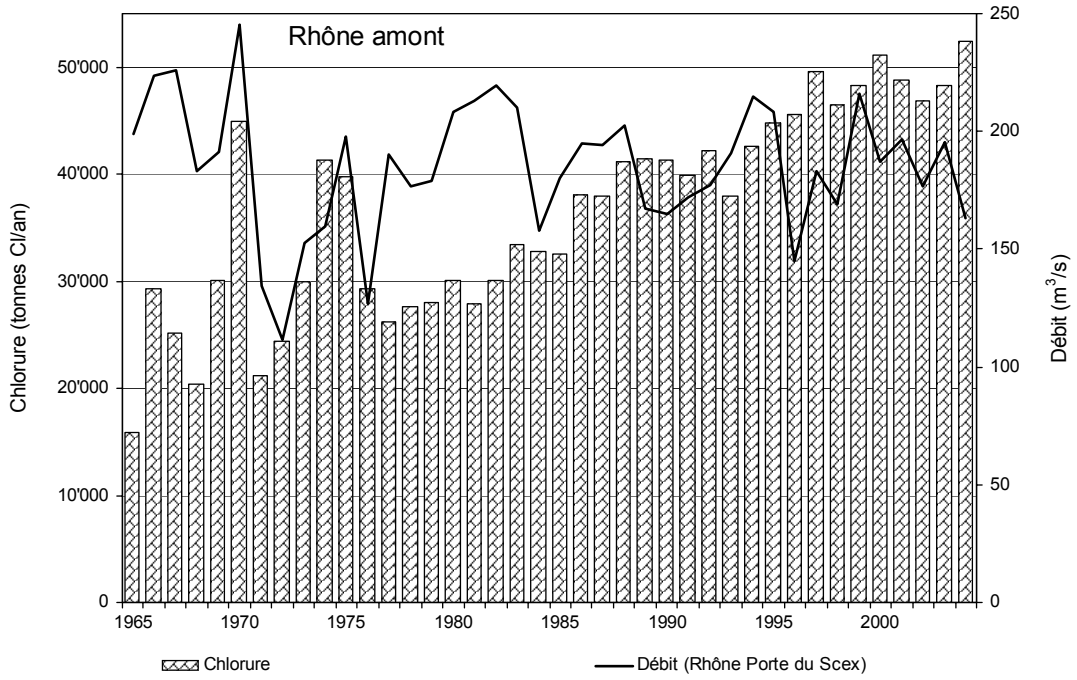


Figure 15 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex).

Figure 15 : Chloride - Annual inflow from the upstream segment of the Rhône (Porte du Scex).

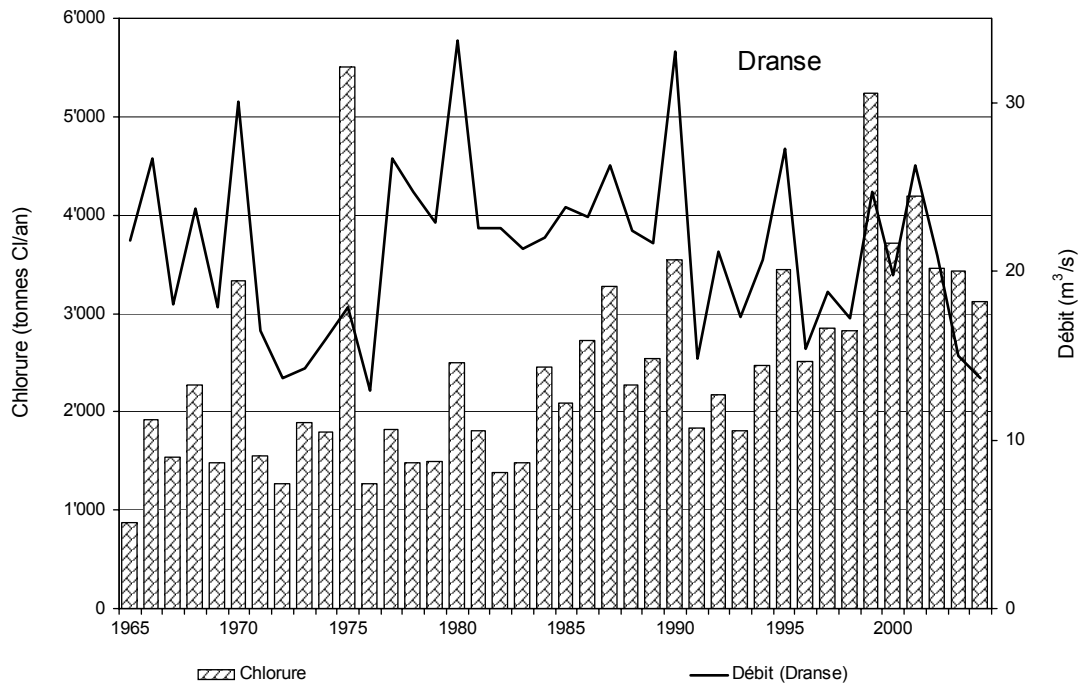


Figure 16 : Chlorure - Apports annuels par la Dranse.

Figure 16 : Chloride - Annual inflow from the Dranse.

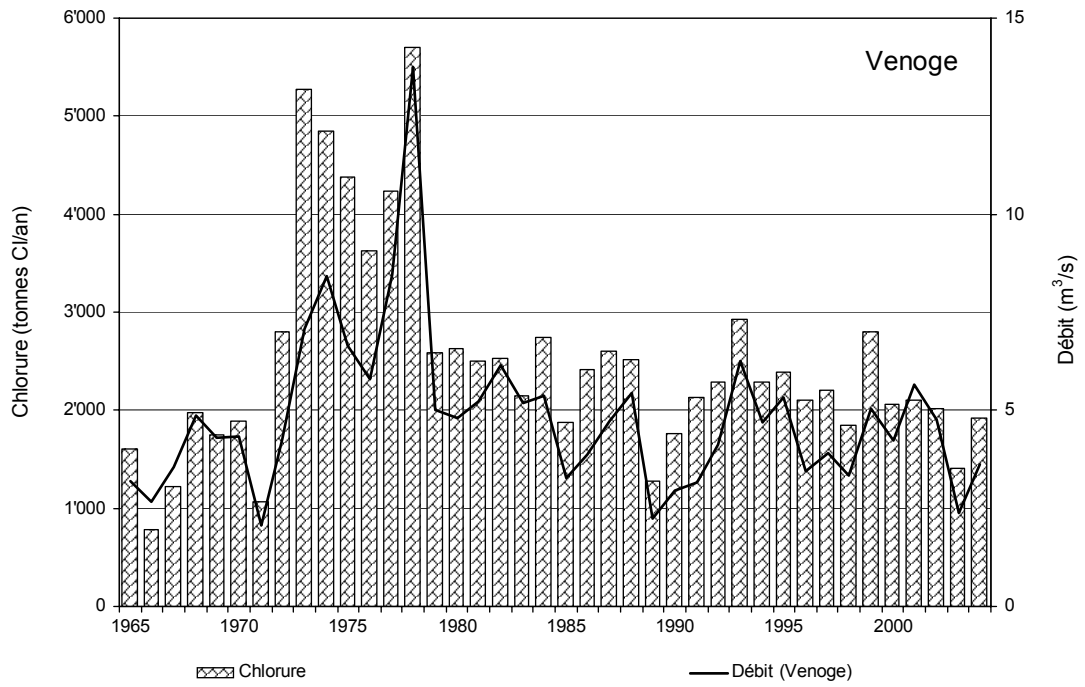


Figure 17 : Chlorure - Apports annuels par la Venoge.
Figure 17 : Chloride - Annual inflow from the Venoge.

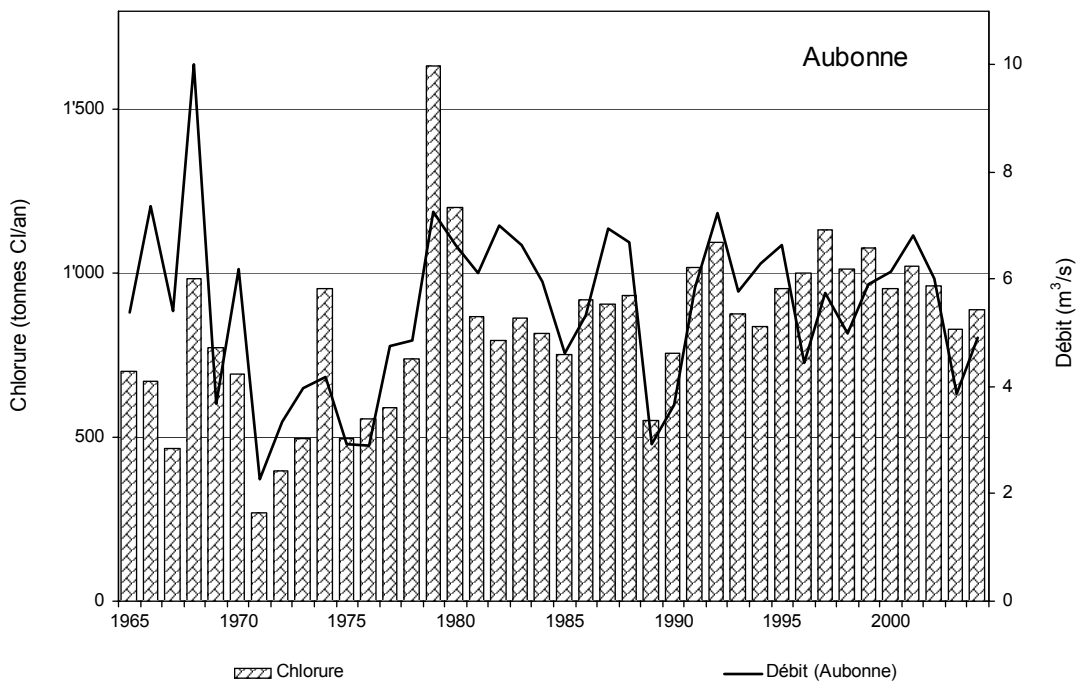


Figure 18 : Chlorure - Apports annuels par l'Aubonne.
Figure 18 : Chloride - Annual inflow from the Aubonne.

4. ÉTUDE DE LA QUALITÉ CHIMIQUE DES EAUX DES PRINCIPALES RIVIÈRES DU BASSIN VERSANT DU LÉMAN

4.1 Rhône amont (figure 19)

La moyenne du phosphore dissous montre une nette décroissance depuis 1976 (0.008 mgP/L en 2004). Il en est de même pour les valeurs maximales qui ont diminué d'un facteur 4 par rapport aux années 70.

Au niveau de l'azote ammoniacal, les moyennes annuelles sont relativement stables depuis 1977 avec 0.07 mgN/L. Le maximum a été relevé dans les années 1970-75 à plus de 1 mgN/L. Depuis 1998, les maxima sont compris entre 0.15 et 0.25 mgN/L.

Pour le COD il n'y a pas d'évolution notable et la valeur moyenne est relativement stable avec environ 1 mg/L.

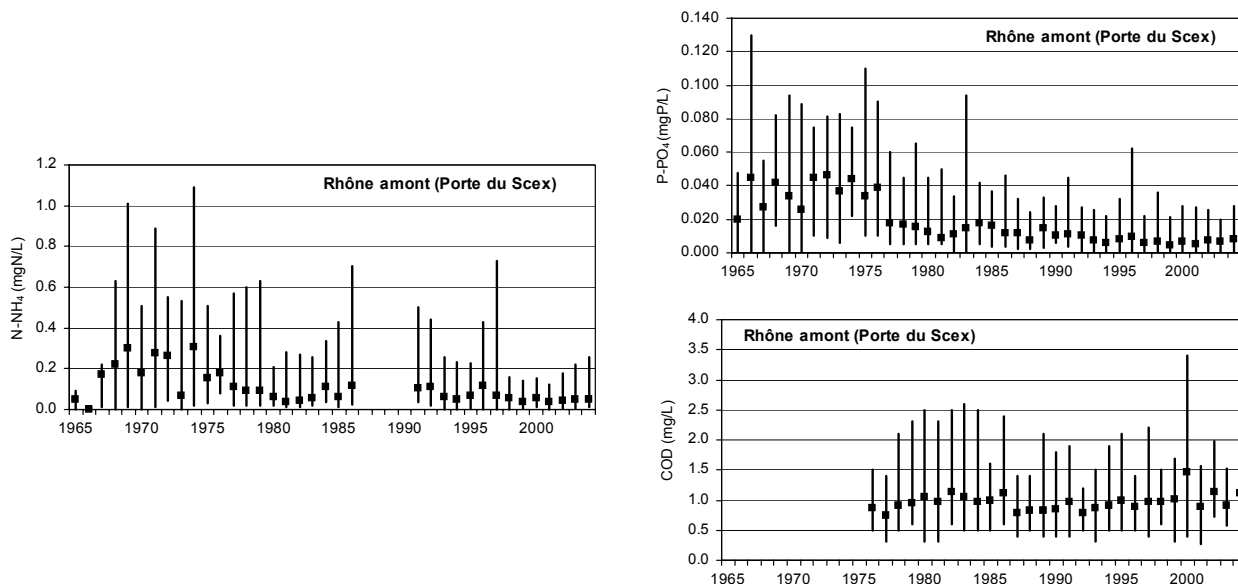


Figure 19 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Rhône amont (Porte du Scex).

Figure 19 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO₄), ammoniacal nitrogen (N-NH₄) and dissolved organic carbon (DOC) - upstream segment of the Rhône (Porte du Scex).

4.2 Dranse (figure 20)

Pour le phosphore dissous, on relève une très nette évolution à la baisse dès le début des années 1990. Depuis 1998, la valeur moyenne est inférieure à 0.085 mgP/L. Avant 1990, les valeurs maximales pouvaient dépasser 0.500 mgP/L.

Pour l'azote ammoniacal il n'y a pas d'évolution nette. La concentration moyenne est relativement stable avec 0.047 mgN/L. Le maximum a été 21 fois supérieur à 0.2 mgN/L en 40 ans.

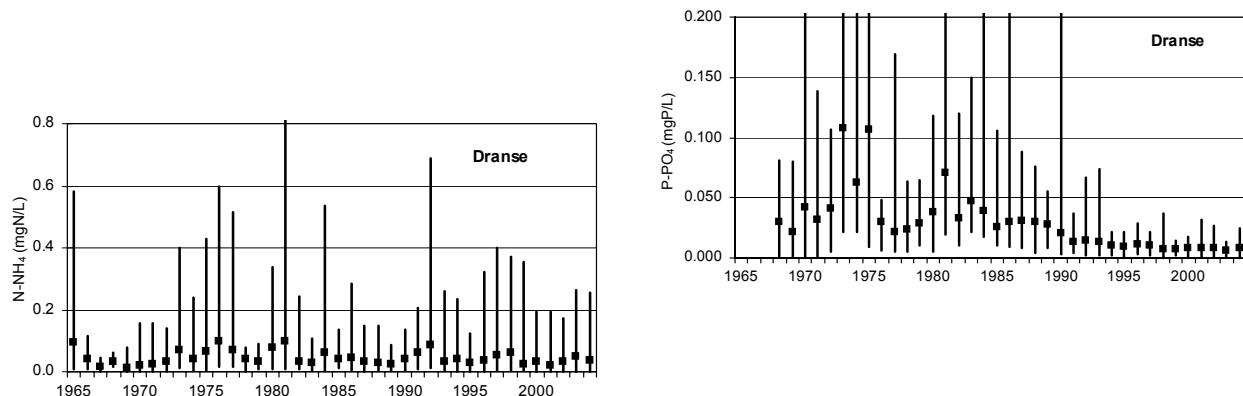


Figure 20 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄) et de l'azote ammoniacal (N-NH₄) - Dranse.

Figure 20 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO₄) and ammoniacal nitrogen (N-NH₄) - Dranse.

4.3 Venoge (figure 21)

Pour le phosphore dissous, il y a une très nette évolution à la baisse depuis les années 80. La valeur moyenne est actuellement de l'ordre de 0.030 mgP/L.

Pour l'azote ammoniacal, il y a également une nette évolution à la baisse depuis 1997. La valeur moyenne pour ces dernières années est de 0.085 mgN/L.

Les maxima de COD montrent une tendance à la baisse. La valeur moyenne de ces années est de 3.2 mg/L.

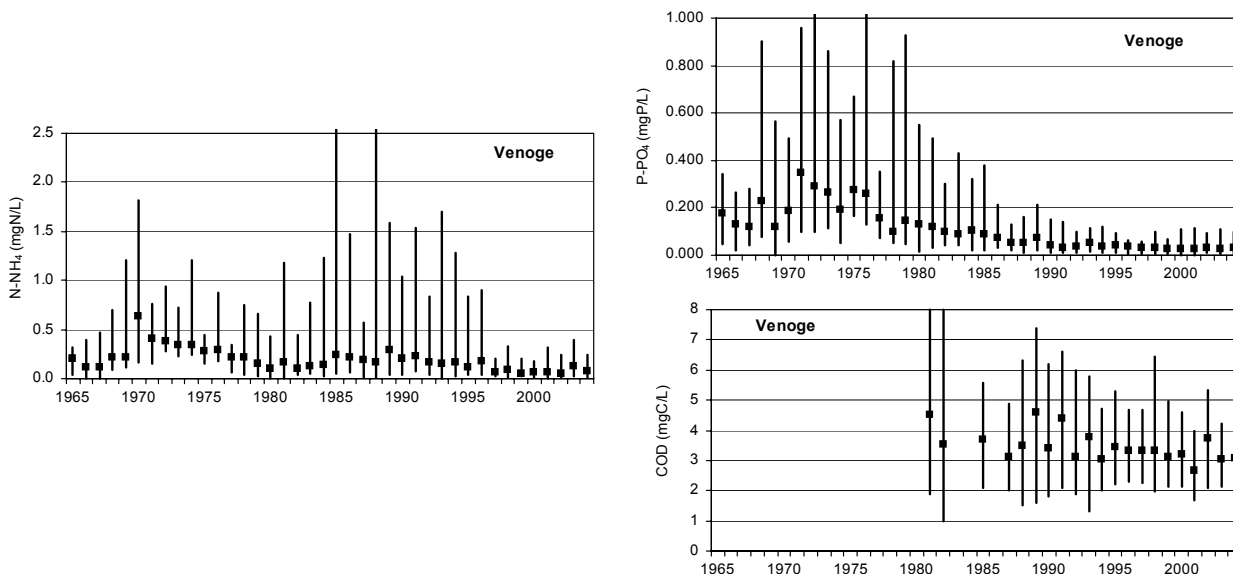


Figure 21 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Venoge.

Figure 21 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO₄), ammoniacal nitrogen (N-NH₄) and dissolved organic carbon (DOC) - Venoge.

4.4 Aubonne (figure 22)

Le phosphore dissous est en très nette baisse dès les années 80. Actuellement la valeur moyenne est stable avec environ 0.015 mgP/L.

L'azote ammoniacal moyen est ces dernières années de 0.015 mgN/L. Les maxima montrent une décroissance dès les années 90.

Le COD montre la même évolution à la baisse que la Venoge.

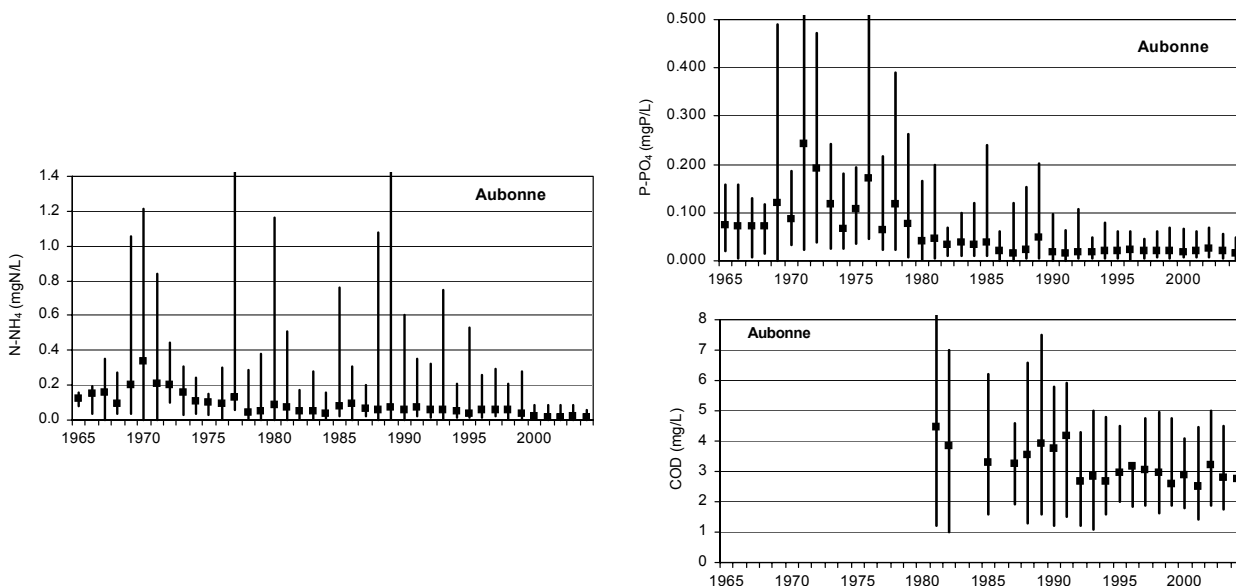


Figure 22 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Aubonne.

Figure 22 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO₄), ammoniacal nitrogen (N-NH₄) and dissolved organic carbon (DOC) - Aubonne.

4.5 Versoix (figure 23)

Le phosphore dissous montre une tendance à la baisse dès 1993. Pour les 3 dernières années, la valeur moyenne est de l'ordre de 0.020 mgP/L. Avant 1993, les valeurs maximales dépassaient fréquemment 0.200 mgP/L.

Pour l'azote ammoniacal et le COD, il n'y a pas d'évolution notable.

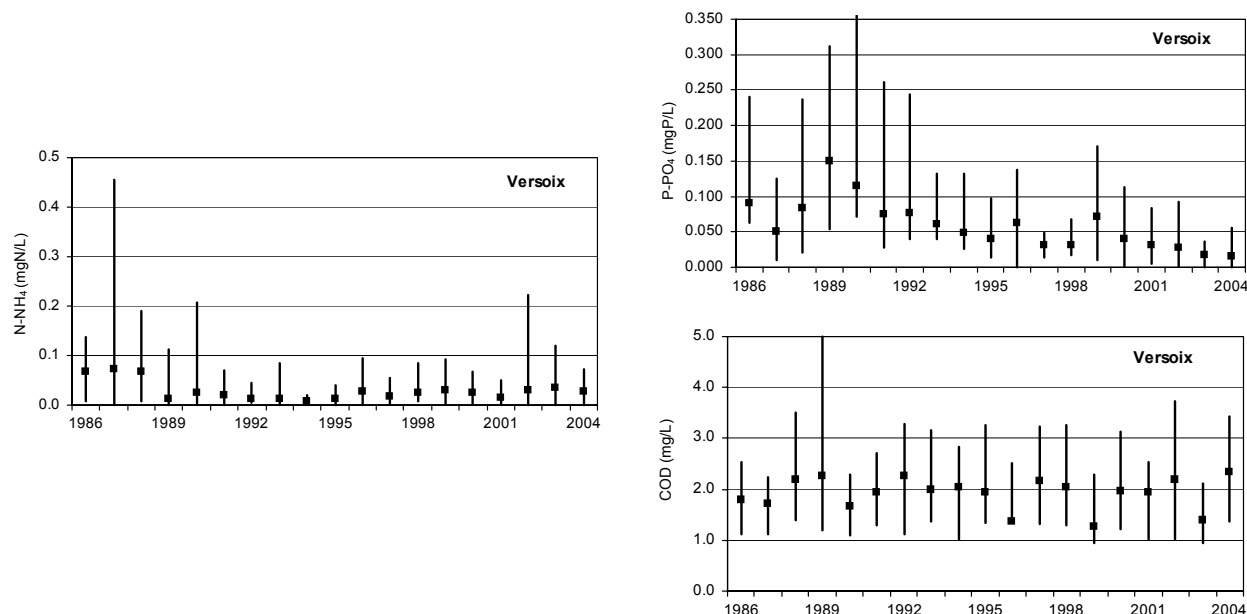


Figure 23 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Versoix.

Figure 23 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO₄), ammoniacal nitrogen (N-NH₄) and dissolved organic carbon (DOC) - Versoix.

5. FLUX DU RHÔNE AVAL ET APPORTS DE SON BASSIN VERSANT DE GENÈVE À CHANCY

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 m³/s) et l'Allondon (débit moyen 2.57 m³/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.

A signaler par ailleurs que les évaluations qui peuvent être faites à partir de ces données des apports du bassin "genevois", par soustraction au flux du Rhône à Chancy des flux cumulés de l'émissaire du lac, de l'Arve, et de l'Allondon, doivent être interprétées avec beaucoup de prudence compte tenu des dépôts et relargages susceptibles d'intervenir dans les retenues hydroélectriques du Rhône.

5.1 Phosphore (figure 24)

► Phosphore total

La quantité de phosphore total transportée par le Rhône aval à Chancy a baissé depuis 1986 de 50 %. En 2004 elle atteint 550 tonnes.

Pour l'Arve, il n'y a pas d'évolution très nette. La valeur moyenne est stable avec environ 200 tonnes de P/an, sauf un pic en 1999. On note une relation avec le débit de 2.27 tonnes/m³, avec un R² de 0.38.

Pour l'Allondon, il y a une relation nette avec le débit de 3.7 tonnes/m³, avec un R² de 0.62.

► **Phosphore dissous (orthophosphate)**

Pour le Rhône aval à Chancy, il y a une évolution à la baisse. On est passé de 585 tonnes en 1986 à environ 200 tonnes en 2004.

Pour l'Arve, les apports sont relativement stables avec une moyenne de 130 tonnes. Pour l'Allondon également avec une valeur moyenne de 11.2 tonnes; et une relation avec le débit de 1.8 tonnes/m³ pour un R² de 0.62. Il est relevé que la plupart des stations d'épuration de ces deux bassins versants ne pratiquent pas la déphosphatation.

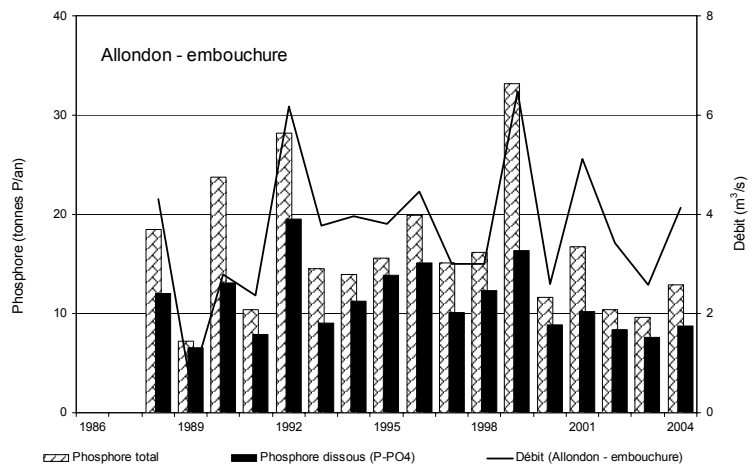
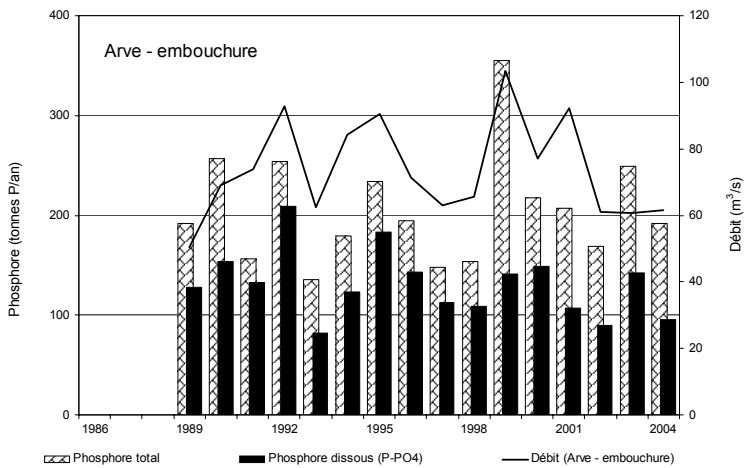
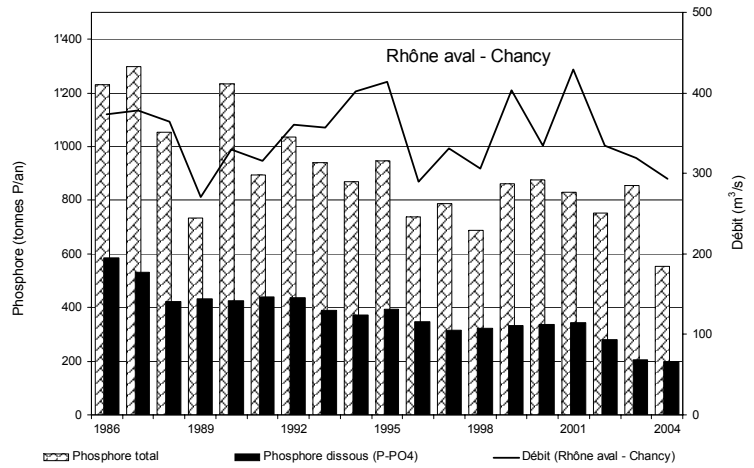


Figure 24 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

Figure 24 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the Rhône (Chancy), the Arve and the Allondon.

5.2 Azote total ou minéral total (figure 25)

L'évolution de l'azote total dans le Rhône aval à Chancy montre une tendance à la baisse. Le flux annuel est ces deux dernières années de l'ordre des 7'800 tonnes.

L'Arve ne montre pas d'évolution nette, avec une relation au débit de 23 tonnes/m³, pour un R² de 0.50.

L'Allondon montre une tendance plutôt à la baisse avec une relation au débit de 54 tonnes/m³, pour un R² de 0.74.

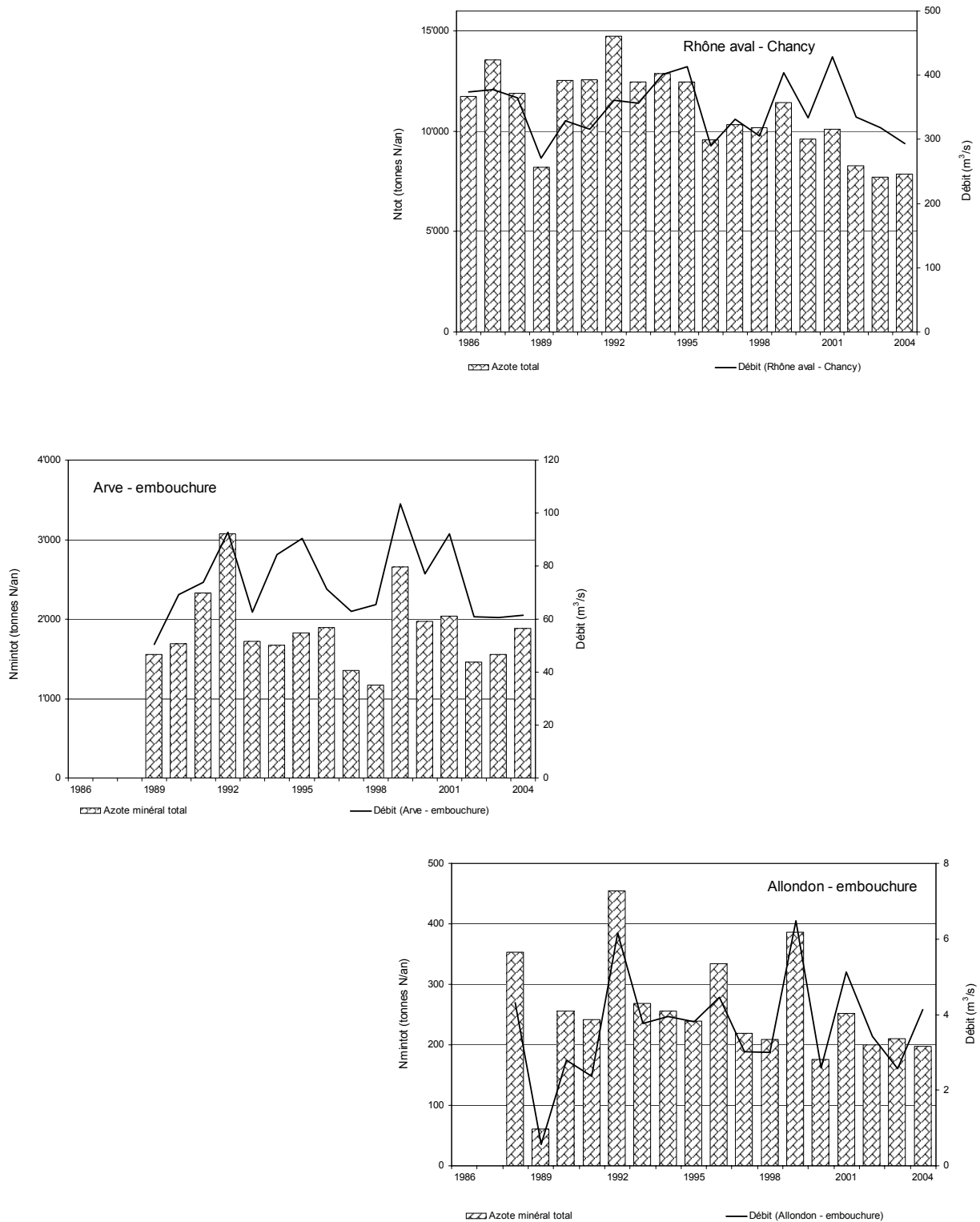


Figure 25 : Azote total ou azote minéral total - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

Figure 25 : Total nitrogen or total inorganic nitrogen - Annual inflow from the Rhône (Chancy), the Arve and the Allondon.

5.3 Chlorure (figure 26)

Il n'y a pas d'évolution notable dans les apports en chlorure du Rhône aval à Chancy (moy. : 84'000 tonnes). Il en est de même pour l'Arve, mais avec une relation au débit de 204 tonnes/m³ pour un R² de 0.47. La situation est similaire pour l'Allondon, avec une relation au débit de 164 tonnes/m³ pour un R² de 0.88.

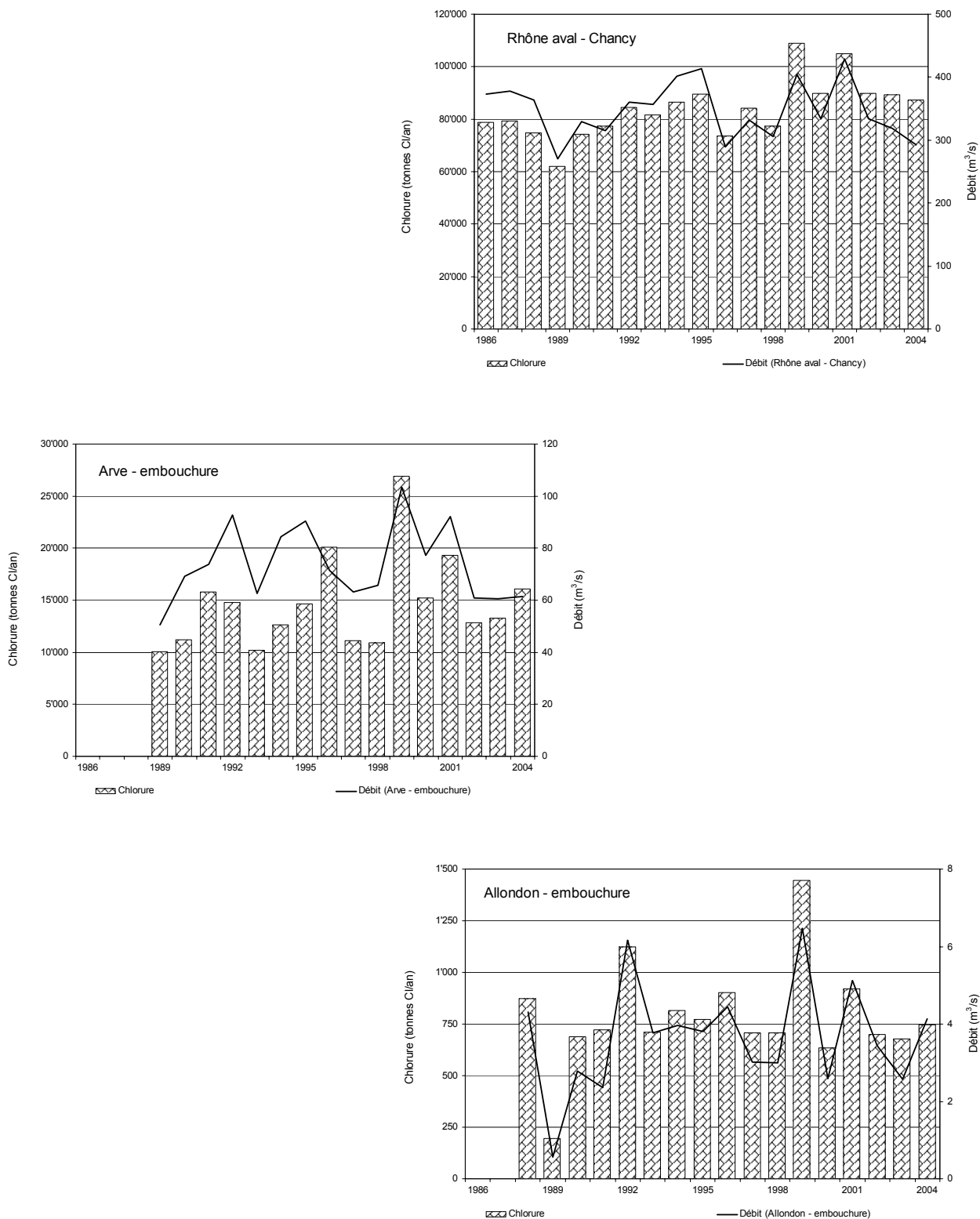


Figure 26 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

Figure 26 : Chloride - Annual inflow from the Rhône (Chancy), the Arve and the Allondon.

6. ÉTUDE DE LA QUALITÉ CHIMIQUE DES EAUX DES PRINCIPALES RIVIÈRES DU BASSIN VERSANT DU RHÔNE DE GENÈVE À CHANCY

6.1 Rhône aval (figure 27)

Il y a une tendance à la baisse des concentrations en phosphore dissous. La valeur moyenne de ces deux dernières années est de 0.021 mgP/L. Pour l'azote ammoniacal, les valeurs maximales sont en nette baisse depuis 2002. Il n'y a pas de tendance claire pour le COD (valeur moyenne de 1.51 mgC/L).

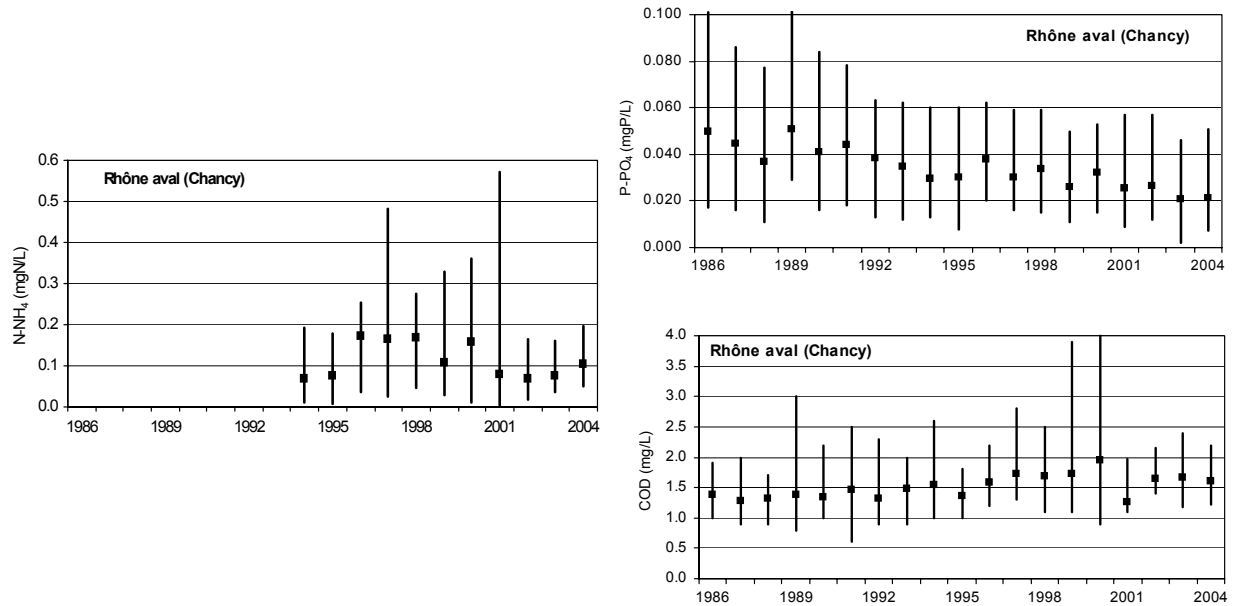


Figure 27 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Rhône aval (Chancy).

Figure 27 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO₄), ammoniacal nitrogen (N-NH₄) and dissolved organic carbon (DOC) - Rhône (Chancy).

6.2 Arve (figure 28)

Pour les 3 paramètres, il n'y a pas d'évolution claire. La concentration moyenne en phosphore dissous est de 0.056 mgP/l. Pour l'azote ammoniacal, la moyenne est de 0.098 mgN/L et pour le COD de 1.17 mg/L.

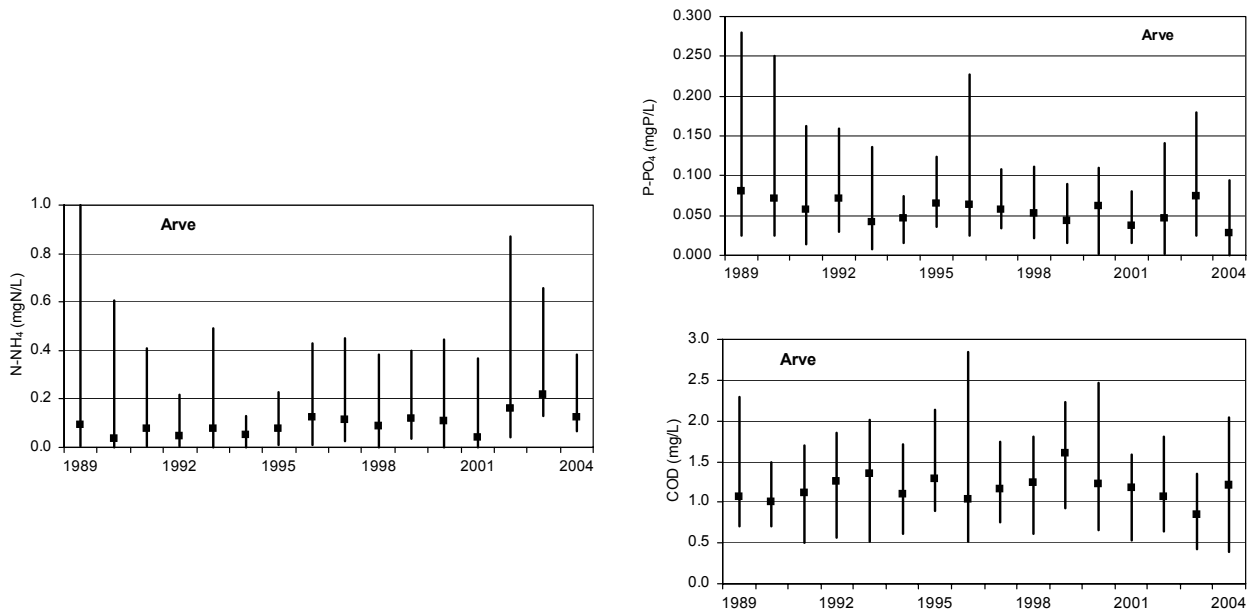


Figure 28 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Arve.

Figure 28 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO₄), ammoniacal nitrogen (N-NH₄) and dissolved organic carbon (DOC) - Arve.

6.3 Allondon (figure 29)

Les valeurs maximales de phosphore dissous sont à la baisse depuis 2000. La valeur moyenne ces dernières années est de 0.110 mgP/L.

Par contre pour l'azote ammoniacal il y a plutôt une tendance à la hausse, avec des valeurs maximales qui dépassent fréquemment 0.400 mgN/L.

Le COD ne montre pas d'évolution nette (valeur moyenne : 1.88 mg/L).

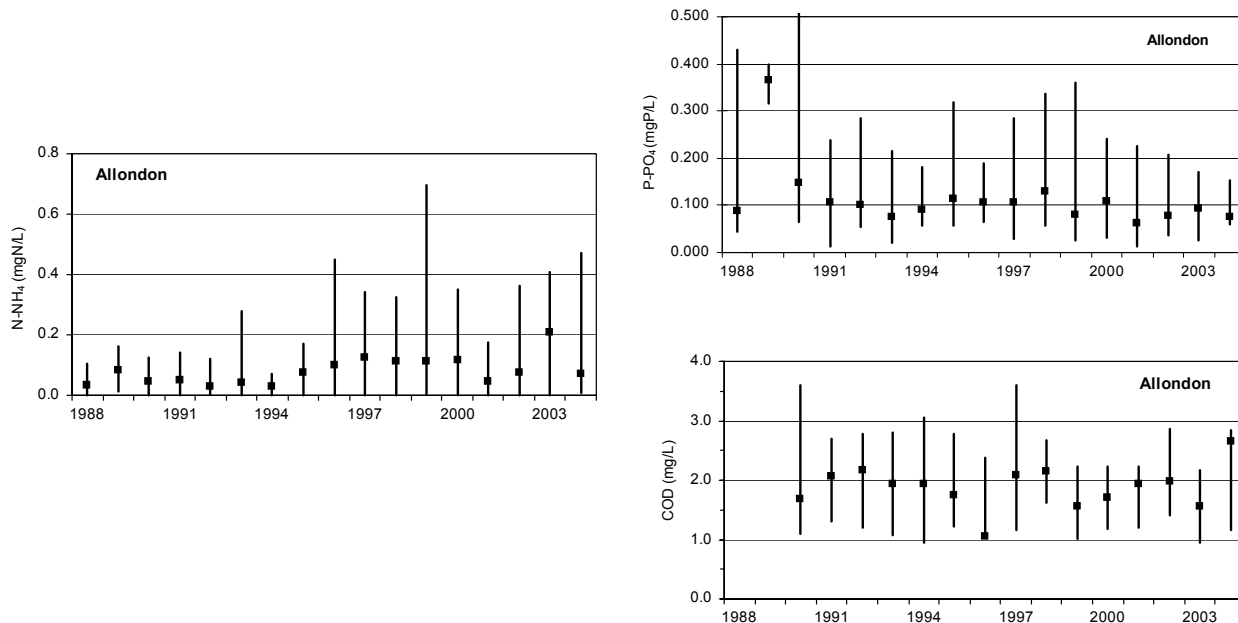


Figure 29 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Allondon.

Figure 29 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO₄), ammoniacal nitrogen (N-NH₄) and dissolved organic carbon (DOC) - Allondon.

7. CONCLUSIONS

Avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 990 mm sur le bassin versant proche du Léman, 2004 est une année à pluviométrie moyenne. Les débits des différentes rivières sont légèrement inférieurs à leur moyenne sur 10 ans. La somme des débits moyens de l'ensemble des affluents contrôlés (Rhône, Dranse, Aubonne, Venoge et sept affluents complémentaires) est de 195 m³/s. Le débit moyen à la sortie du lac (émissaire à Genève) est de 218 m³/s.

En 2004, les apports en phosphore total au lac par les onze rivières suivies ont été de 1'294 tonnes. Le Rhône amont représente 91 % de ces apports. Il sort du lac 109 tonnes. Pour le phosphore dissous les apports sont de 56 tonnes et 36 tonnes sont exportées par l'émissaire.

Pour le phosphore total, les flux apportés par le Rhône amont sont en constante augmentation depuis le début des mesures. Par contre, la Dranse, la Venoge et l'Aubonne montrent une évolution à la baisse. Il en est de même pour le Rhône aval à Chancy (- 50 % depuis 1986). L'Arve et l'Allondon ne montrent pas d'évolution nette.

Pour le phosphore dissous, l'ensemble des onze rivières suivies se déversant dans le lac, ainsi que le Rhône aval à Chancy, montrent une nette décroissance des apports depuis une vingtaine d'années. Il n'en est pas de même pour l'Arve et l'Allondon qui ne montrent pas d'évolution à la baisse. Dans ces derniers bassins versants la plupart des stations d'épuration ne pratiquent en effet pas la déphosphatation.

Pour l'azote minéral total, l'ensemble des rivières auscultées montre une stabilité des apports au cours des années.

Pour le chlorure, l'ensemble des rivières à l'exception du Rhône amont et de la Dranse présente une relative stabilité des apports. L'augmentation est particulièrement nette pour le Rhône amont (+ 5 % par an). Pour les onze rivières du bassin versant du Léman, les apports en 2004 ont été de 61'775 tonnes. L'exportation par l'émissaire s'est élevée à 57'890 tonnes.

En ce qui concerne la qualité des eaux (évaluation basée sur les concentrations en éléments les plus pénalisants pour les rivières elles mêmes : N-NH₄, COD et P-PO₄), on constate très nettement l'effet de la mise en place de la déphosphatation dans les stations d'épuration et de l'interdiction en Suisse du phosphate dans les détergents textiles et la baisse des teneurs dans ces produits en France. Il y a en effet, une nette baisse des concentrations en phosphore dissous dans les eaux des diverses rivières, à l'exception toutefois de l'Arve et l'Allondon où l'évolution n'est pas nette.

Pour l'azote ammoniacal, l'évolution est beaucoup moins significative. Pour quelques rivières on constate une légère diminution des valeurs moyennes, par contre pour presque toutes les rivières les valeurs maximales sont à la baisse.

Pour les concentrations moyennes annuelles en COD, quelque soit la rivière, elles sont stables. On notera toutefois une très légère diminution des valeurs maximales.

BIBLIOGRAPHIE

QUETIN, P. (2005) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2004, 19-29.

STRAWCZYNSKY, A. (2005) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2004, 187-193.

Tableau 3 : Concentrations moyennes en 2004.

Table 3 : Mean concentrations in 2004.

Nom Rivière	Débit (m ³ /sec)	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Nmintot (µgN/L)	NtotBrut (µgN/L)	PO4 (µgP/L)	PtotBrut (µgP/L)	Ppartic (µgP/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	TAC (méq/L)	Ca (méq/L)	Mg (méq/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	DOC (mg/L)	TOC (mg/L)	MES (mg/L)	
		(µgN/L)	(µgN/L)	(µgN/L)	(µgN/L)	(µgN/L)	(µgP/L)	(µgP/L)	(µgP/L)	(µgP/L)	(mg/L)	(mg/L)	(méq/L)	(méq/L)	(méq/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Bassin versant Léman																					
Concentrations moyennes																					
Rhône amont	163.34	50.8		554		597	8.0	227.7		10.13	52.42	1.20	2.04	0.45	6.80	1.53	2.92	1.10	2.44	162.0	
Dranse	13.69	36.1	8.6	808	852	924	8.3	58.1	45.4	7.19	69.21	3.22	3.67	0.81	4.39	0.87	3.36			54.3	
Aubonne	4.92	13.0	7.5	1'433	1'453		13.5	132.3	114.5	5.71	4.73	3.57	3.20	0.44	3.38	0.74	2.64	2.73		106.0	
Versoir	3.27	26.5	29.7	1'584	1'641	1'835	15.1	34.9	0.0	11.39	8.17	3.48	3.40	0.46	5.43	1.05	3.19	2.32			
Venoge	3.64	74.2	25.9	4'743	4'843		30.6	281.6	244.1	16.67	18.96	4.16	4.19	0.62	8.36	2.23	4.66	3.06		176.0	
Veveyse	1.77	18.6	5.3	813	837		4.6	342.4	333.5	9.56	12.50	3.18	2.87	0.46	6.73	1.27	3.71	2.61		361.7	
Promenthouse	2.07	27.9	8.1	2'727	2'763		13.0	101.7	84.7	8.12	6.78	4.09	3.71	0.60	4.49	1.28	4.11	2.33		62.3	
Chamberonne	1.06	74.7	25.7	2'876	2'976		51.6	119.6	58.9	18.07	37.61	3.19	3.41	0.64	11.37	2.54	4.50	2.40		36.4	
Morges	0.40	164.6	29.0	6'966	7'160		44.4	136.5	83.2	19.97	29.63	4.62	4.81	0.88	9.13	3.32	8.00	3.47		62.9	
Dullive	0.34	15.6	11.6	3'480	3'507		15.0	65.5	45.0	14.16	20.61	4.87	4.57	0.91	7.94	2.12	7.03	2.07		25.0	
Eau Froide	0.40	36.7	6.5	6'390	6'434		5.3	27.1	17.1	7.69	32.96	2.79	2.97	0.49	12.18	1.84	3.57	2.13		11.2	
Bassin versant du Rhône aval																					
Rhône émissaire	218.3	19.2	11.0	423	453	637	5.2	15.5	11.2	8.25	47.31	1.62	2.07	0.46	5.49	1.33	0.60	1.07			
Arve	110.1	169.1	34.8	762	966	1'119	40.8	50.7		8.24	50.49	2.27	2.51	0.42	4.49	1.21		0.90			
Allondon	14.0	54.8	20.0	1'430	1'505	1'991	67.1	98.6		5.70	5.19	2.29	2.09	0.26	3.42	0.82		0.79			
Rhône Chancy	298.1	140.2	35.1	768	943	846	21.2	59.3		9.39	45.54	1.94	2.37	0.51	6.35	1.65	1.35	1.59	2.22	27.9	

Tableau 4 : Flux en 2004.

Table 4 : Flow in 2004.

Nom Rivière	Débit	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Nmintot	NtotBrut	P-PO4	PtotBrut	Ppartic	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	DOC	TOC	MES	
	(m ³ /sec)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	
Bassin versant Léman																				
Rhône amont	163.34	263.1		2'867		3'093	41.4	1'179		52'478	271'479	211'902	28'197	35'203	7'899	15'106	57'16	12'627	838'849	
Dranse	13.69	15.69	3.72	351	370	401	3.6	25.2	19.70	3'120	30'051	31'934	4'254	1'908	376	1'461			23'596	
Aubonne	4.92	2.03	1.16	223	227		2.1	20.6	17.85	890	737	9'981	840	527	116	411	426		16'522	
Versoix	3.27	2.75	3.08	164	170	190	1.6	3.62		1'182	847	7'063	574	563	109	331	241			
Venoge	3.64	8.55	2.98	547	558		3.5	32.5	28.14	1'922	2'186	9'690	872	964	257	538	352		20'292	
Veveyse	1.77	1.04	0.29	46	47		0.3	19.2	18.70	536	700	3'227	315	377	71	208	146		20'275	
Promenthouse	2.07	1.83	0.53	179	181		0.9	6.68	5.56	533	445	4'888	476	295	84	270	153		4'089	
Chamberonne	1.06	2.51	0.87	97	100		1.7	4.02	1.98	608	1'266	2'299	261	383	85	152	81		1'226	
Morges	0.40	2.10	0.37	89	91		0.6	1.74	1.06	255	378	1'230	137	117	42	102	44		804	
Dullive	0.34	0.17	0.13	38	38		0.2	0.71	0.48	153	222	987	119	86	23	76	22		269	
Eau Froide	0.40	0.47	0.08	81	82		0.1	0.34	0.22	97	418	754	75	154	23	45	27		142	
Total BV Léman	194.9	300.2	13.22	4'681			55.8	1'294		61'775	308'730	283'955	36'120	40'576	9'086	18'698				
Bassin versant du Rhône aval																				
Rhône émissaire	221.2	134.8	77.34	2'965	3'177	4'471	36.3	109.0	78.4	57'887	331'830	290'715	39'389	38'510	9'306	4'232	7'526			
Arve	61.6	330.0	67.94	1'488	1'886	2'184	79.6	99.0		16'083	98'542	98'082	9'981	8'759	2'370		1'747			
Allondon	4.1	7.17	2.62	187	197	261	8.8	12.9		746	679	5'492	419	448	107		103			
Rhône Chancy	293.1	1'303.3	326.44	7'139	8'769	7'868	197.4	551.6		87'285	423'292	440'708	58'026	58'988	15'357	12'561	14'744	20'654	258'920	