

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 2005

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 sur sept affluents complémentaires. Les exportations du lac sont contrôlées sur le Rhône émissaire à Genève. Enfin, les apports du bassin versant du Rhône entre sa sortie du Léman et son entrée sur le territoire français sont calculés à partir des analyses sur le Rhône aval (à Chancy), de l'Arve et de l'Allondon.

2005 est une année à pluviométrie moyenne. Les débits des différentes rivières sont nettement inférieurs à leur moyenne sur 10 ans. La somme des débits moyens de l'ensemble des affluents contrôlés est de 184 m³/s. Le débit moyen à la sortie du lac (émissaire à Genève) est de 198 m³/s.

Les apports en phosphore total au lac par les onze rivières suivies ont été de 1081 tonnes. Le Rhône amont représente 95 % de ces apports. Il sort du lac 104 tonnes. Pour le phosphore dissous les apports sont de 52.3 tonnes et 43 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 les flux exportés par 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.

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 stabilité des apports. L'augmentation est particulièrement nette pour le Rhône amont (+ 5 % par an).

En ce qui concerne la qualité des eaux, on constate très nettement pour l'évolution des concentrations en P-PO₄ ces 20 dernières années, 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), quelque 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 from continuous analytical monitoring of water samples (proportional to flow) for the four main tributaries (the Rhône further downstream, the Dranse, the Aubonne and the Venoge) and samples taken from another seven minor tributaries. The discharges from the Lake are monitored in the Rhône as it emerges at Geneva. Finally, all the inputs from the catchment area of the Rhône between where it emerges from Lake Geneva and where it flows into French territory are calculated on the basis of the analyses performed on the Rhône further downstream (at Chancy), on the Arve and on the Allondon.

2005 was year of average rainfall. The rates of flow in the various rivers were well below the 10-year mean values. The sum of the mean flows for all the tributaries monitored was 184 m³/s. The mean flow as it emerges from the Lake (output at Geneva) was 198 m³/s.

The input of total phosphorus into the lake from the eleven rivers monitored was 1081 metric tons. The Rhône further upstream accounted for 95 % of these inputs. It removed 104 metric tons from the Lake. For the dissolved phosphorus the inputs were 52.3 metric tons, and 43 tonnes were exported.

For the total phosphorus, the loads carried in by the upstream Rhône have been increasing steadily since monitoring began. In contrast, the Dranse, the Venoge, and the Aubonne all exhibit a downward trend. The same is true of the loads exported by the Rhône downstream from Chancy. The Arve and the Allondon did not exhibit any clear trend.

For the dissolved phosphorus, all the eleven rivers emptying into the Lake that were monitored, plus the Rhône downstream from Chancy, demonstrated a definite reduction in inputs over the past twenty years or so. The same is not true of the Arve and the Allondon, which did not exhibit any downward trend.

The input of total inorganic nitrogen remained stable over the years in all the rivers checked.

Chloride inputs remained stable in all the rivers, apart from the Rhône further downstream and the Dranse. There was a particularly marked increase in the Rhône further downstream (+ 5 % per year).

With regard to water quality, over the past 20 years the introduction of dephosphatation at the waste water processing stations and the complete ban of phosphates in textile detergents in Switzerland and a reduction of the levels permitted in France have had a very definite impact on the changes of the concentrations of P-PO₄. There has been a very clear reduction in the concentrations of dissolved phosphorus in the water of the various rivers, albeit with the exception of the Arve and the Allondon, where there has been no very clear trend.

The change in ammoniacal nitrogen (N-NH₄) was much less significant. For some of the rivers there was slight reduction in the mean values, but in contrast the maximum values for virtually all the rivers are falling.

The mean annual concentrations of dissolved organic carbon (DOC) in all the rivers were stable. However, it should be noted that there was a very slight reduction in the maximum values.

1. GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODES

En 2005, 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 et 2004, les mesures de débits de la Dranse sont effectuées au pont de Couvaloup à Seytroux.

Plusieurs affluents secondaires, 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-UMR/CARTELE), 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, 2006).

La plupart des analyses sont effectuées sur des échantillons d'eau filtrée (maille de 0.45 µm). Par contre, les concentrations de phosphore total, d'azote total et de carbone organique total sont déterminées sur les échantillons d'eau brute.

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

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

- ▶ dans la première partie seront analysées 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 seront analysée la qualité de ces eaux en terme de concentrations de phosphore dissous (orthophosphate), d'azote ammoniacal et de carbone organique dissous. Dans cette partie il sera présenté les valeurs moyennes annuelles pondérées par le débit, ainsi que les valeurs maximales et minimales relevées. Les mêmes affluents seront suivis, de même que la Versoix, affluent qui a généralement des concentrations assez élevées.

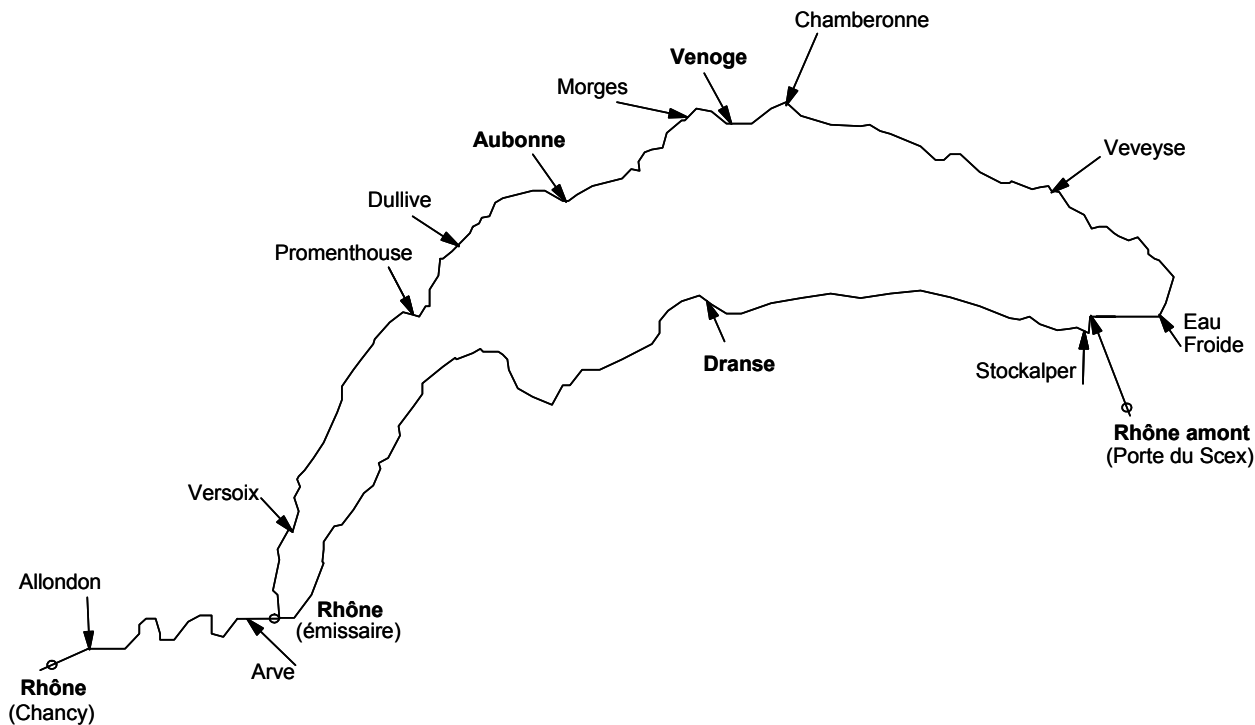


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées.

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			
Stockalper			x	
Versoix	x ²			
Veveyse		x		
Promenthouse		x		
Chamberonne		x		
Eau Froide			x	
Morges		x		
Dullive		x		
Rhône émissaire	x ²			
Bassin du Rhône aval				
Arve				x
Allondon				x
Rhône à Chancy	x ²			

¹ = intégré sur une semaine

² = intégré sur deux semaines

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

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

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

avec

- Fa = flux annuel
- Ch = concentration de l'échantillon intégré, hebdomadaire (ou bimensuel)
- Qh = volume d'eau de la période correspondante
- s = 52 (échantillonnage hebdomadaire)
26 (échantillon bimensuel)
- C_{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)
- C_i = concentration dans l'échantillon prélevé (g/L)
- Q_i = débit moyen de la période correspondante (m³/s)
- n = nombre d'échantillons
- Q_{moy} = débit moyen annuel

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

L'année 2005 est une année à faible pluviométrie avec une lame d'eau précipitée au niveau des inter-stations du Léman de l'ordre de 770 mm (QUETIN, 2006). Tous les débits moyens annuels sont légèrement inférieurs à leur moyenne décennale. C'est la 12^e fois depuis 1963 que le débit cumulé des 4 principales rivières est inférieur à 200 m³/s, à part dans les années 1970 (où certaines rivières étaient contrôlées ponctuellement), cela fait 2 ans de suite où ce débit cumulé 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
2005	157.7	11.3	3.7	2.6	8.8	198.0
Moyenne *	184.6	21.0	4.7	5.3	11.9	243.9

* : moyenne 1963-2005 (sauf pour les rivières complémentaires 1989-2005)

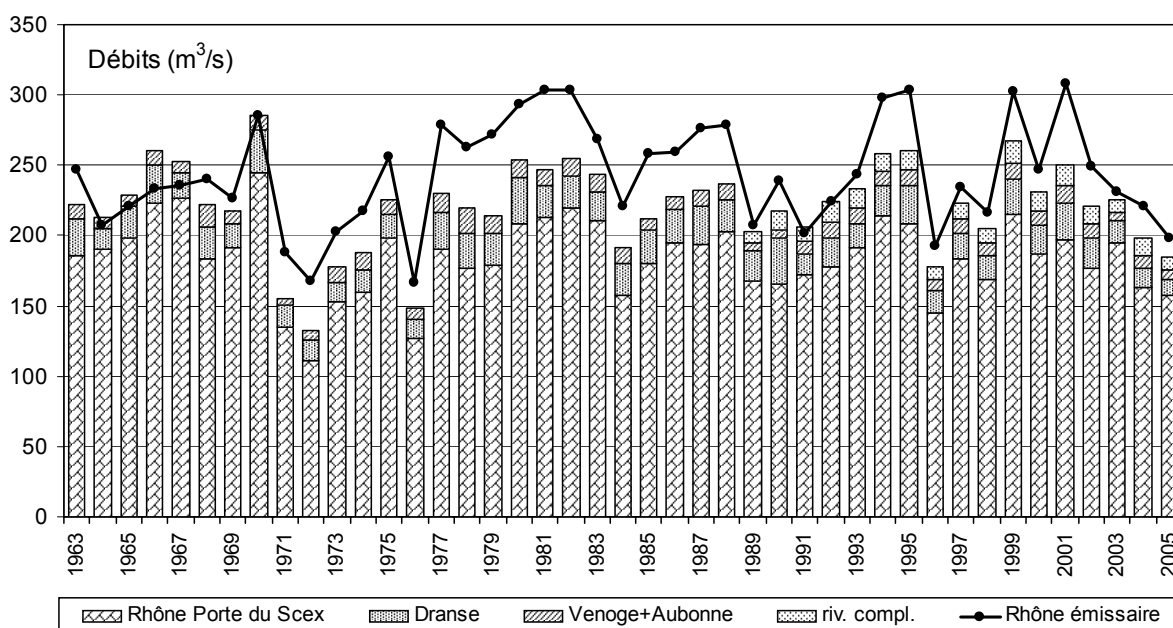


Figure 2 : Débits moyens annuels.

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 (figure 3) sont de 1'054 tonnes pour l'année 2005, dont 1'030 tonnes par le Rhône amont (figure 5), soit 98 % des apports des quatre affluents. 19.5 tonnes sont apportées par les rivières complémentaires, soit pour l'ensemble des rivières contrôlées 1'073 tonnes.

Le phosphore total dans le Rhône émissaire suit une augmentation annuelle jusqu'en 1980, puis une décroissance logarithmique ($R^2 = 0.86$) (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, $R^2 = 0.75$) (figure 6). On retrouve actuellement les apports que l'on avait dans les années 1964-66 (10 tonnes).

La Venoge a eu son maximum en 1973 puis une décroissance exponentielle ($R^2 = 0.57$) (figure 7).

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

► **Phosphore dissous (orthophosphate)**

En 2005, le total des apports en phosphore dissous (orthophosphate) par les affluents est de 53 tonnes avec 48.4 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 6.3 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 4.1 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).

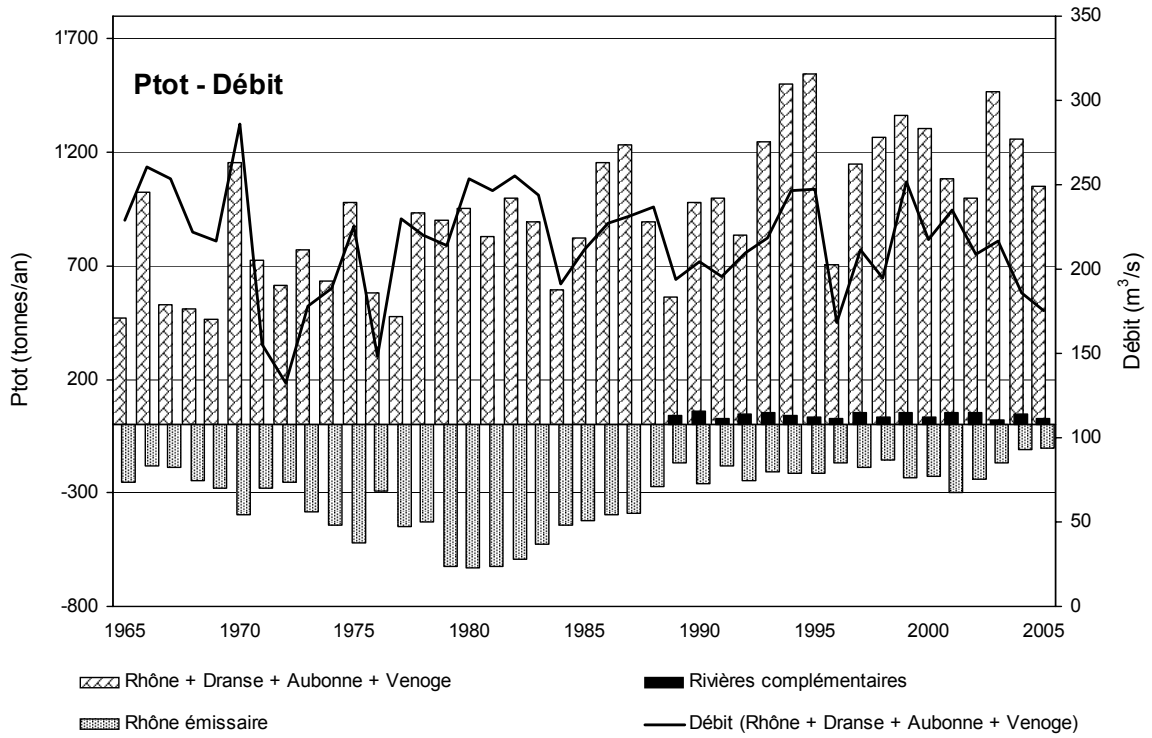


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

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).

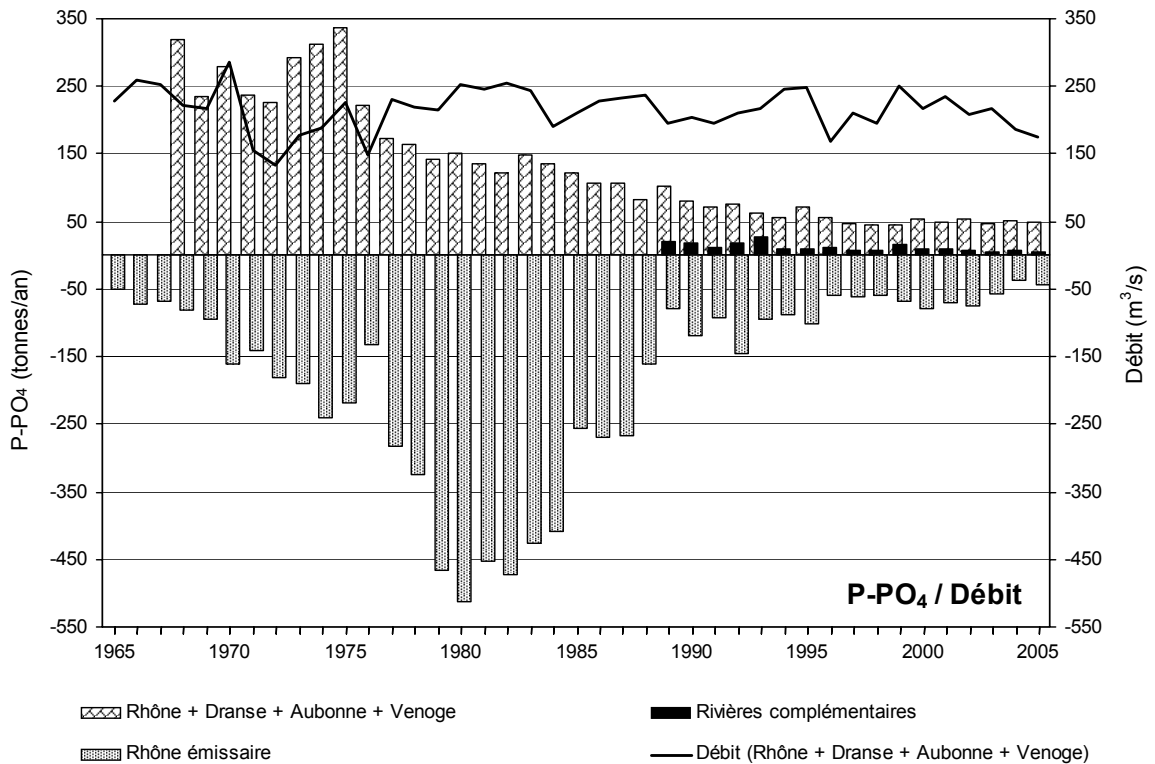


Figure 4 : Phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

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).

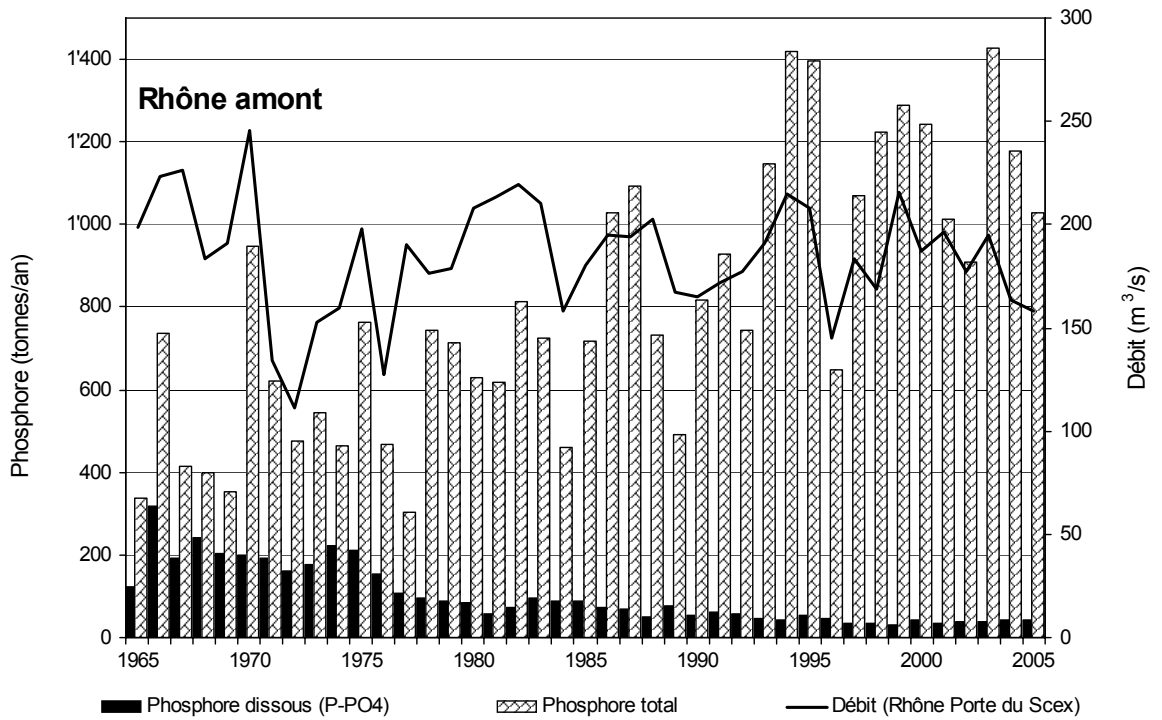


Figure 5 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex).

Figure 5 : Total phosphorus and Dissolved phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the upstream segment of the Rhône (Porte du Scex).

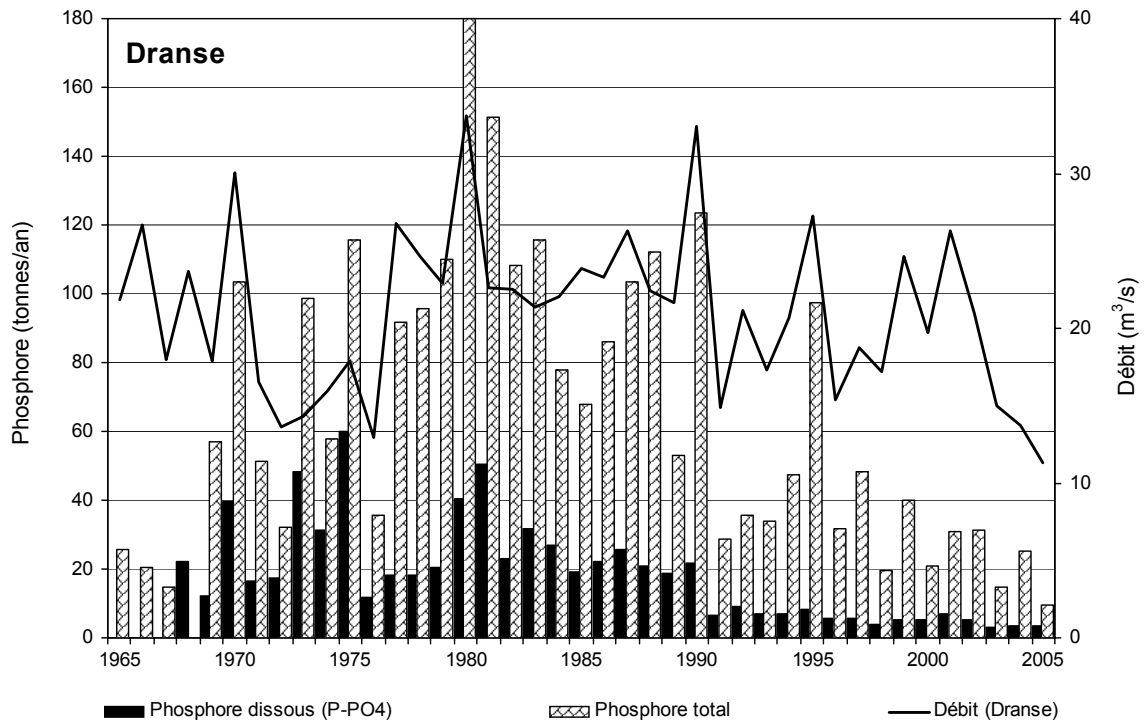


Figure 6 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par la Dranse.

Figure 6 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the Dranse.

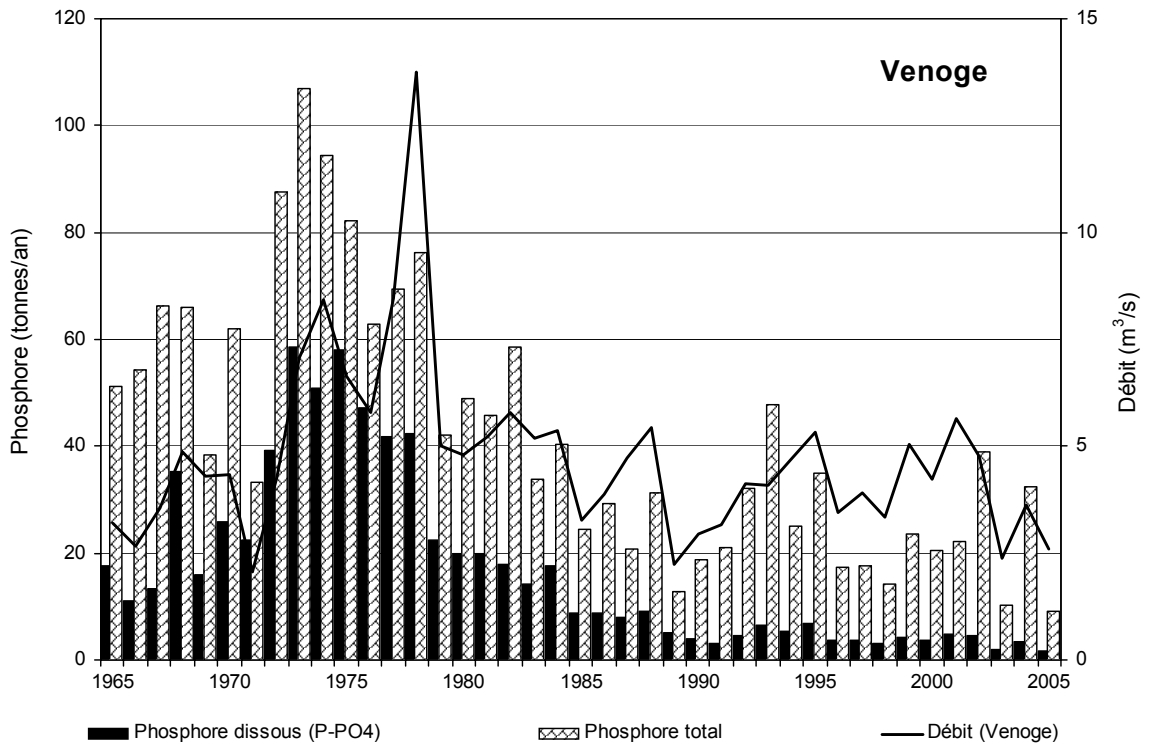


Figure 7 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par la Venoge.

Figure 7 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the Venoge.

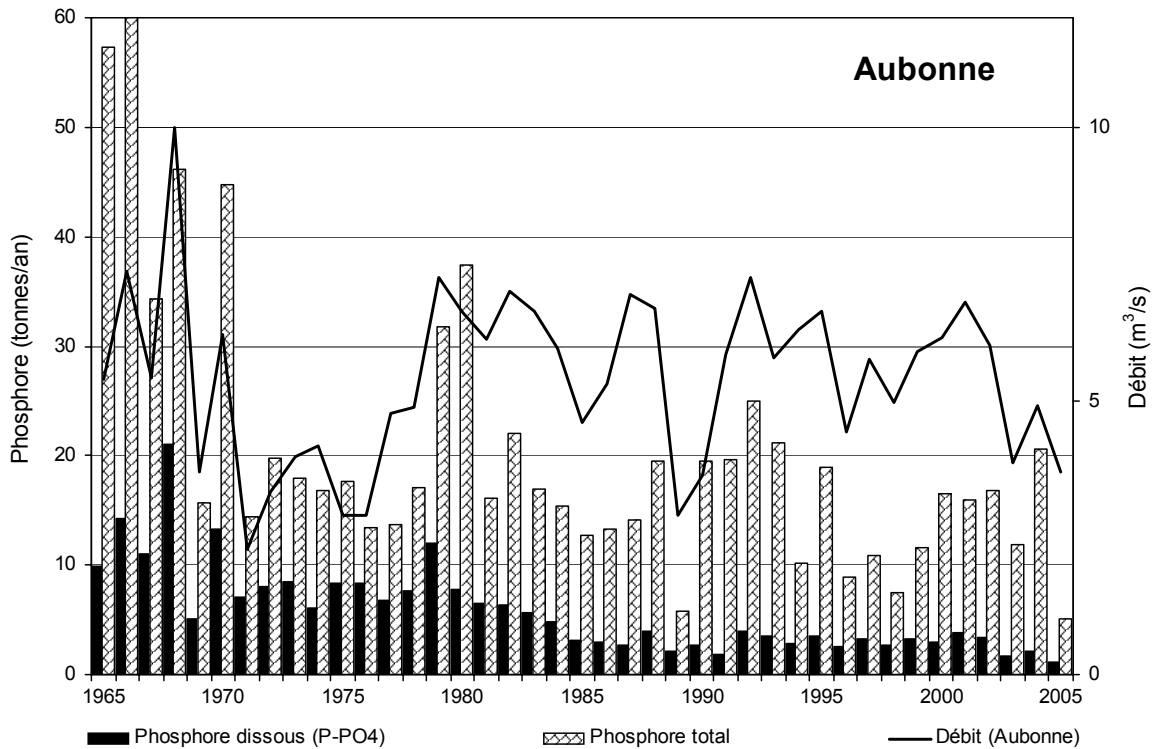


Figure 8 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par l'Aubonne.

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 2005 sont de 3'935 tonnes.

Les apports pour le Rhône amont sont du même ordre que ceux de l'année 1976 (2'600 tonnes). 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/an / m³/s avec un R² de 0.59).

Les apports par la Dranse montrent une augmentation jusqu'en 1990 (+10 tonnes N/an / m³/s avec un R² de 0.45), puis sont stables avec environ 385 tonnes N/an / m³/s. On constate également les effets des vidanges décennales. La relation azote /débit, avec un R² de 0.5, est de 14.8 tonnes N/an / m³/s.

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/an / m³/s.

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/an / m³/s.

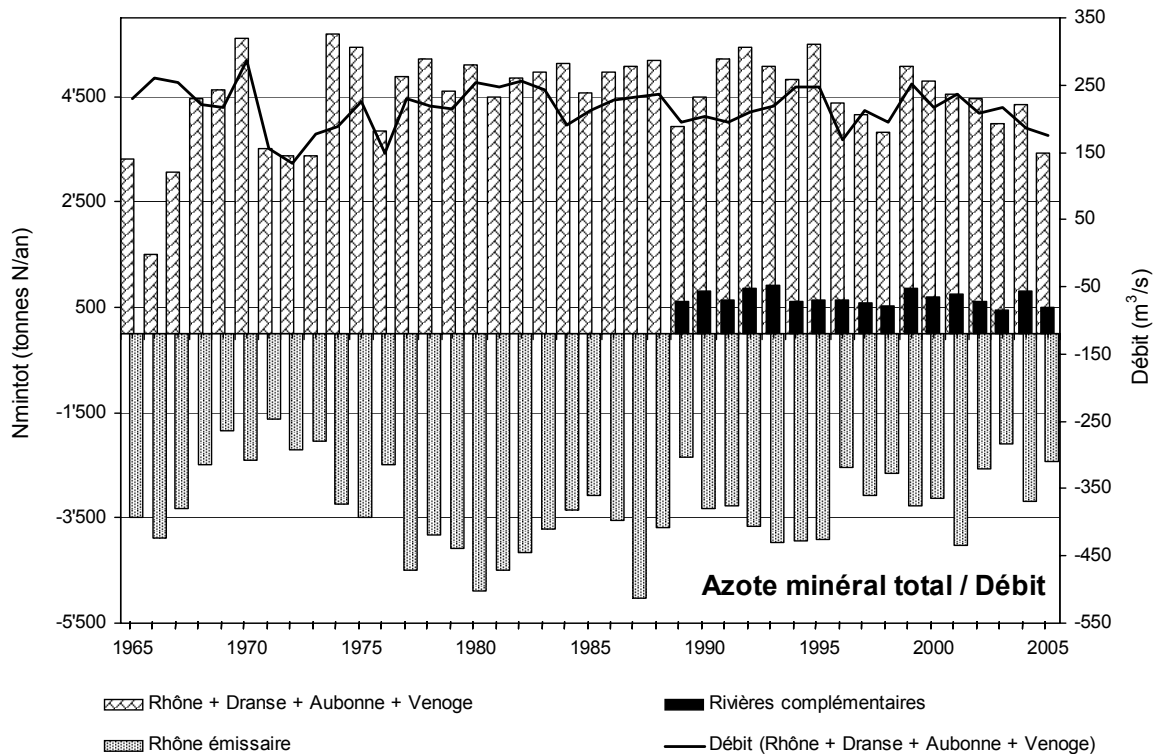


Figure 9 : Azote minéral total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

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).

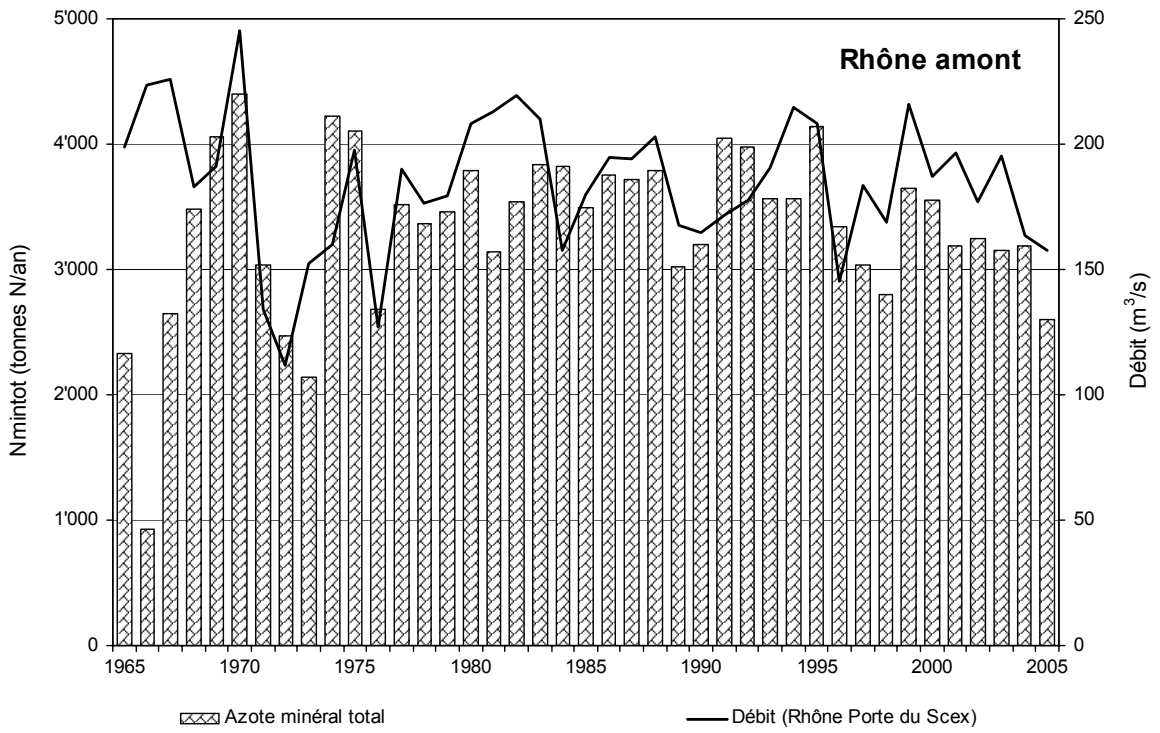


Figure 10 : Azote minéral total - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex).

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

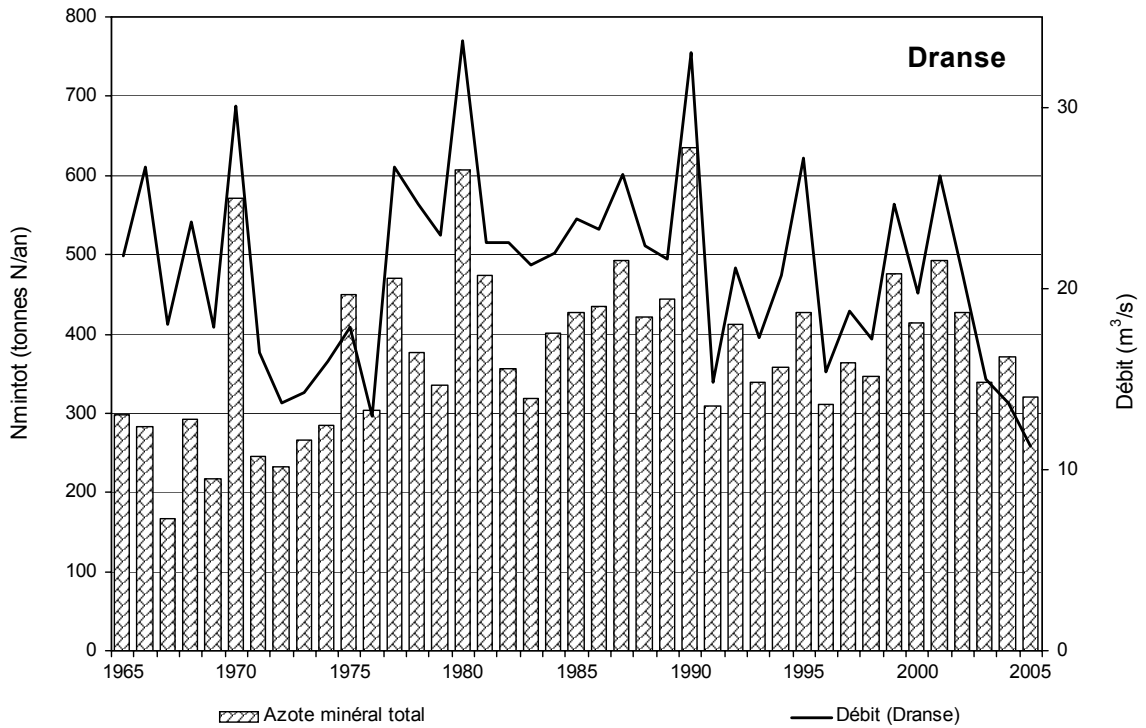


Figure 11 : Azote minéral total - Apports annuels par la Dranse.

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

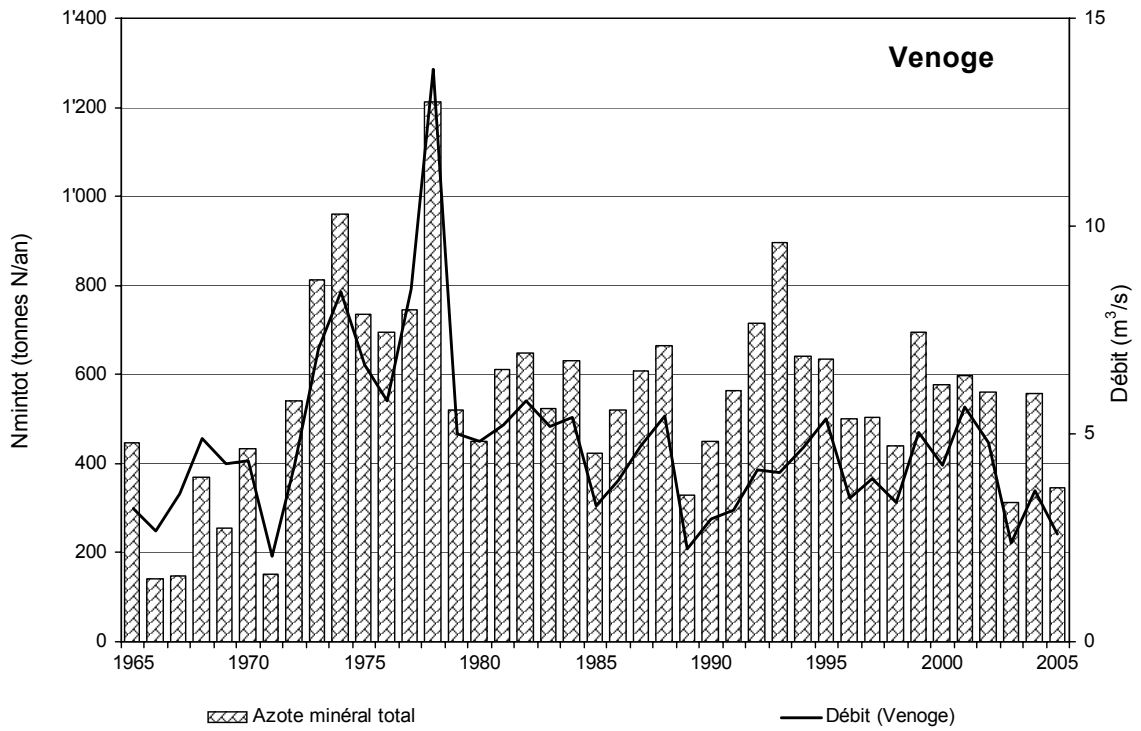


Figure 12 : Azote minéral total - Apports annuels par la Venoge.

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

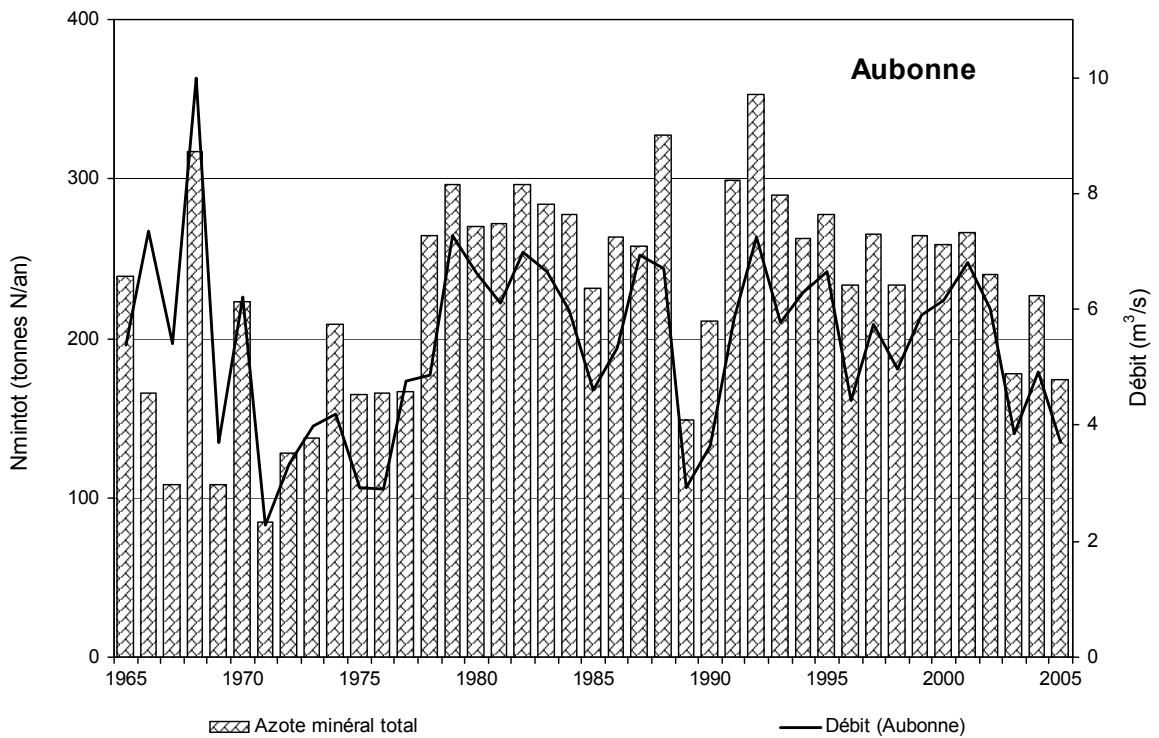


Figure 13 : Azote minéral total - Apports annuels par l'Aubonne

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 0.85. Par rapport à l'ensemble des rivières, les apports du Rhône amont représentent en moyenne le 80 %.

Pour les exportations par le Rhône émissaire, la tendance est à une augmentation de 1'115 tonnes/an avec un R^2 de 0.54.

Pour la Dranse, l'augmentation est de 52 tonnes Cl/an / m^3/s avec un R^2 de 0.52.

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/an / m^3/s , avec un R^2 de 0.56.

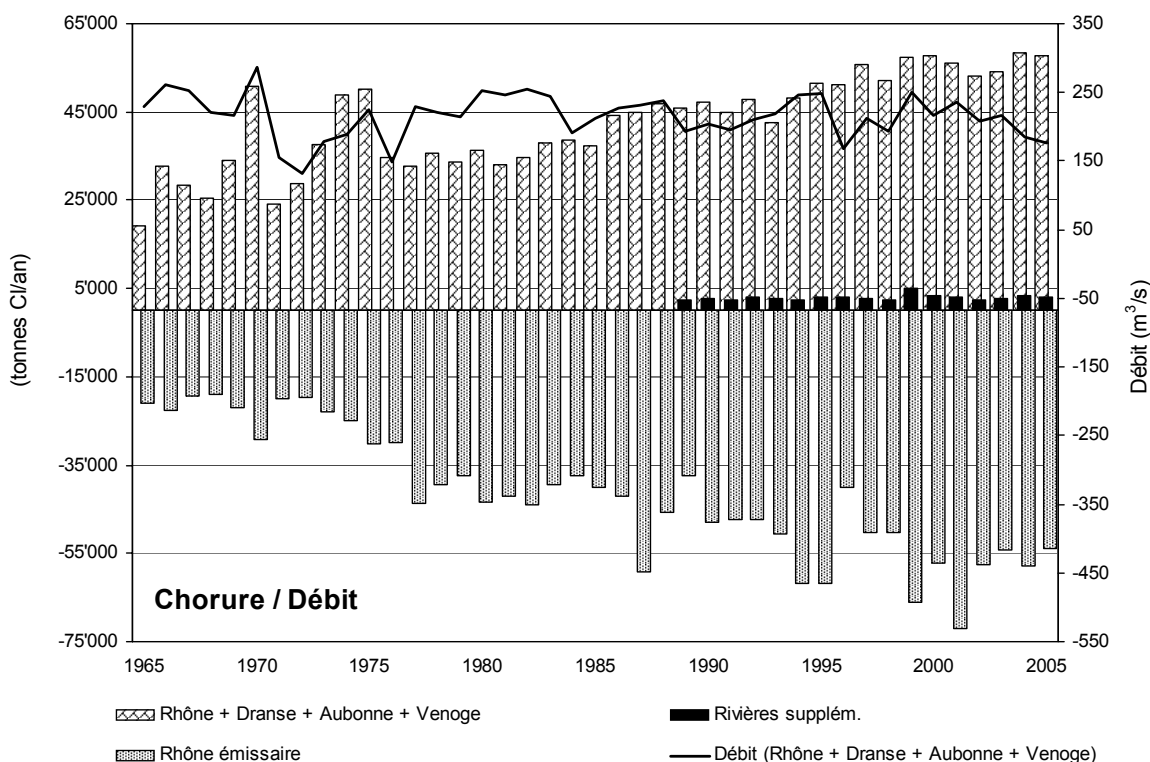


Figure 14 : Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

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).

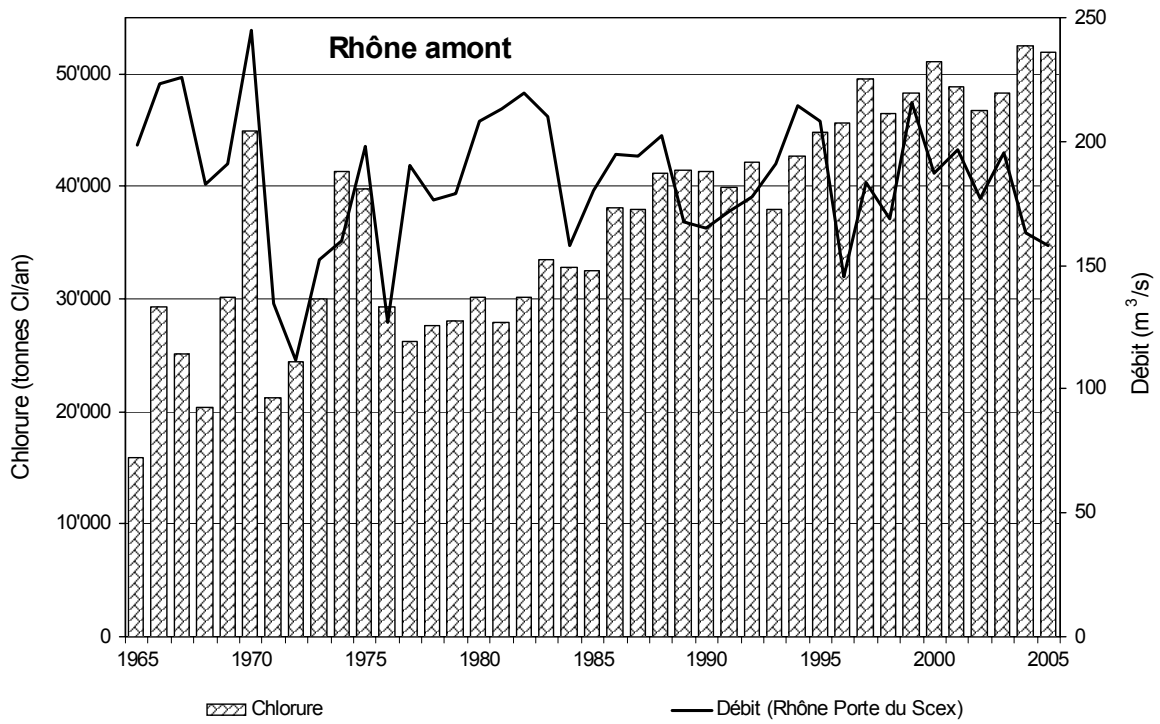


Figure 15 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex).

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

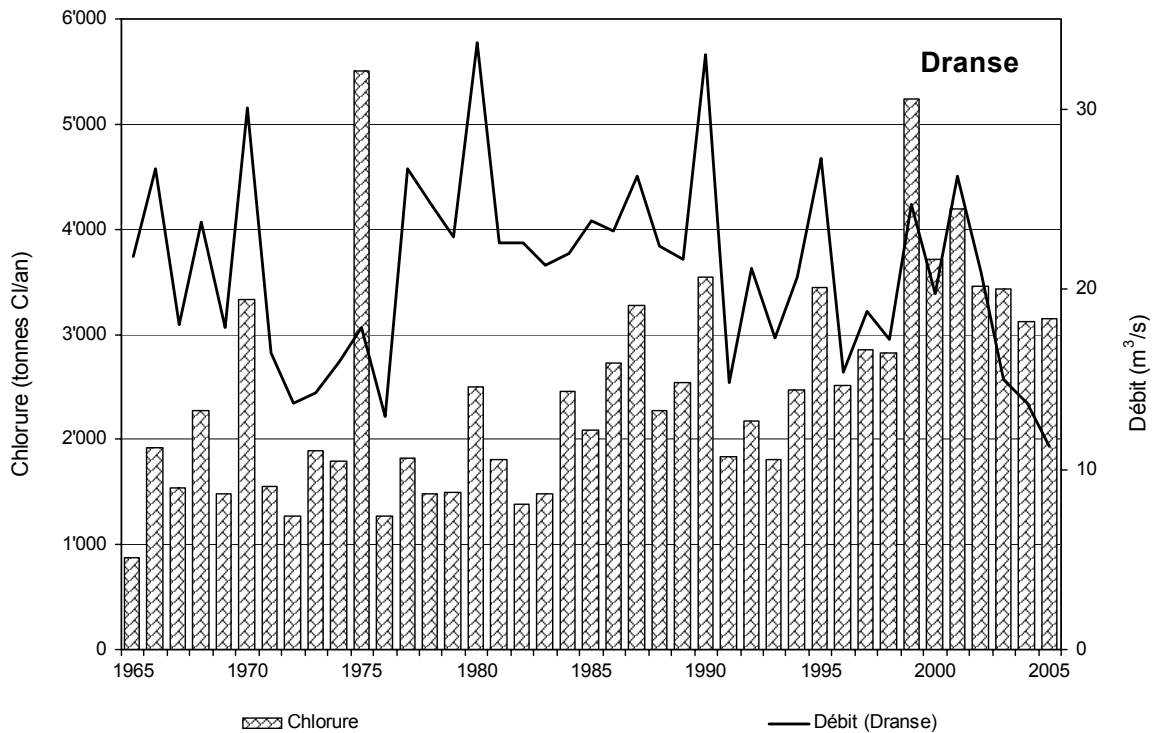


Figure 16 : Chlorure - Apports annuels par la Dranse.

Figure 16 : Chloride - Annual inflow from the Dranse.

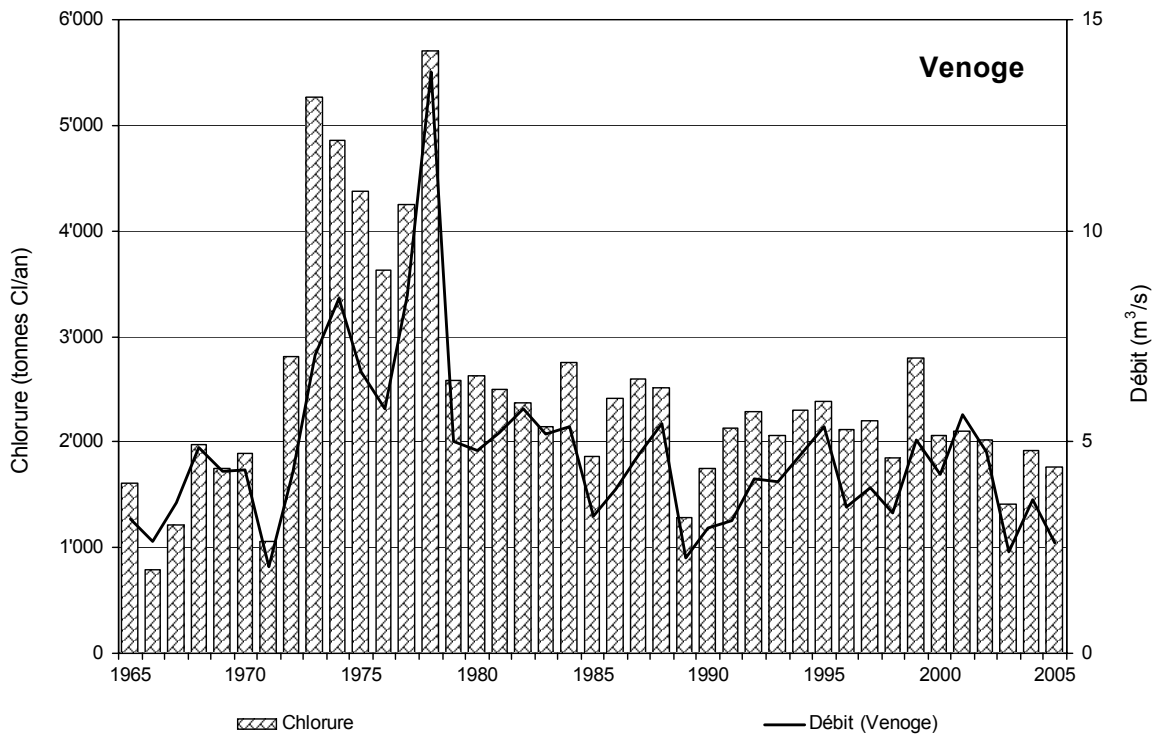


Figure 17 : Chlorure - Apports annuels par la Venoge.

Figure 17 : Chloride - Annual inflow from the Venoge.

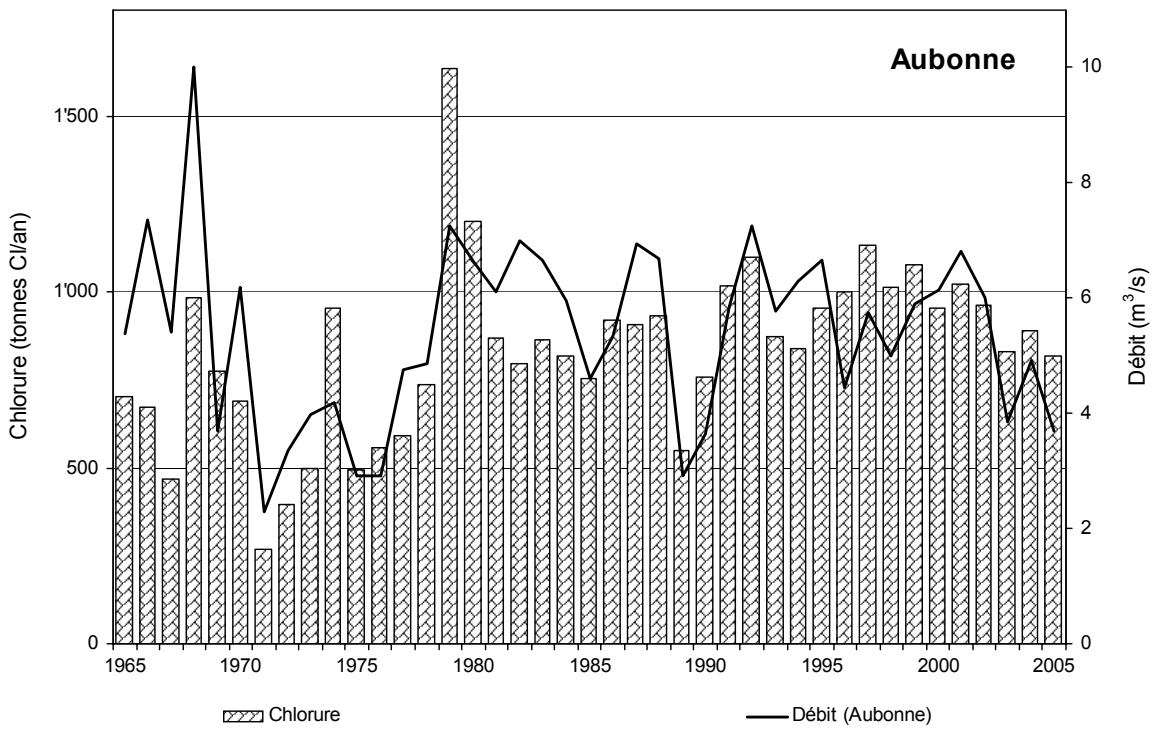


Figure 18 : Chlorure - Apports annuels par l'Aubonne.

Figure 18 : Chloride - Annual inflow from the Aubonne.

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

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 carbone organique dissous (COD), il n'y a pas d'évolution notable et la valeur moyenne est relativement stable avec environ 1 mg/L.

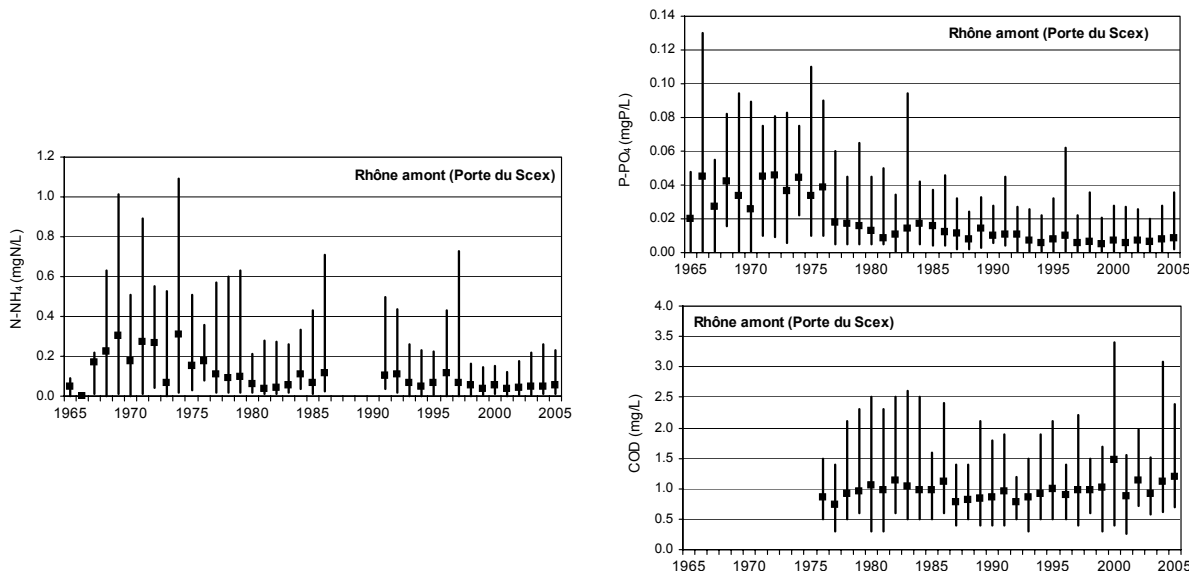


Figure 19 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Rhône amont (Porte du Scex).

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.

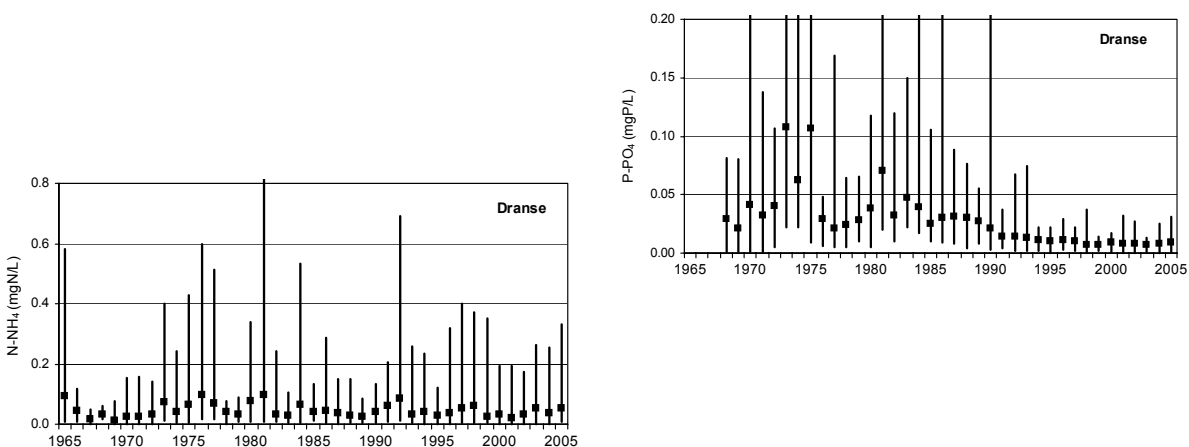


Figure 20 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄) et de l'azote ammoniacal (N-NH₄) - Dranse.

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.

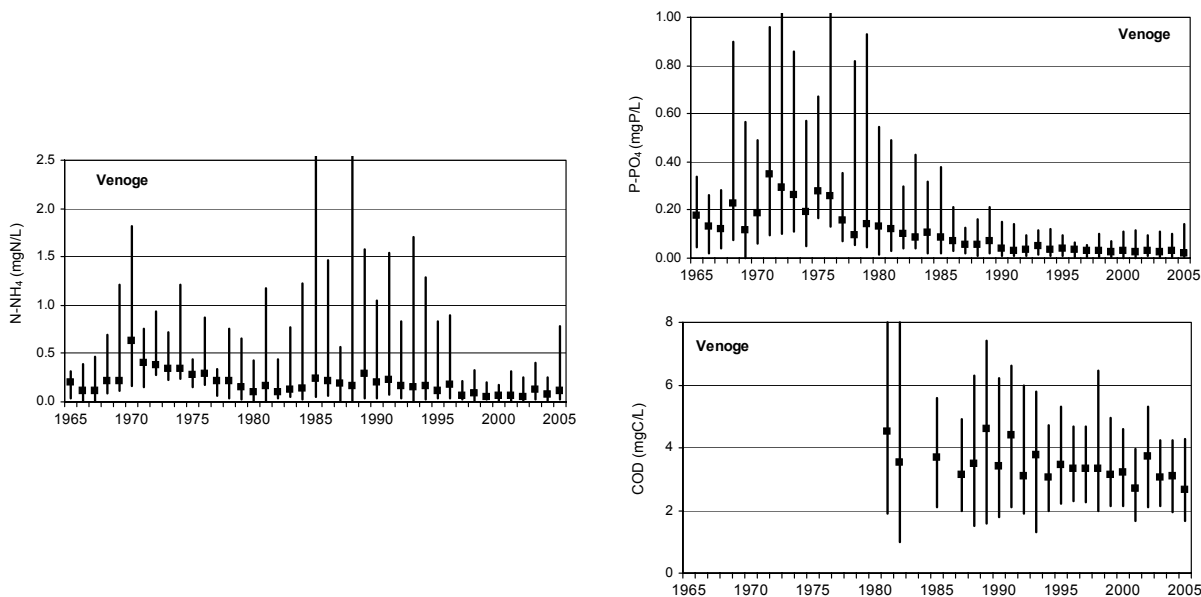


Figure 21 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Venoge.

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 une évolution similaire à la Venoge.

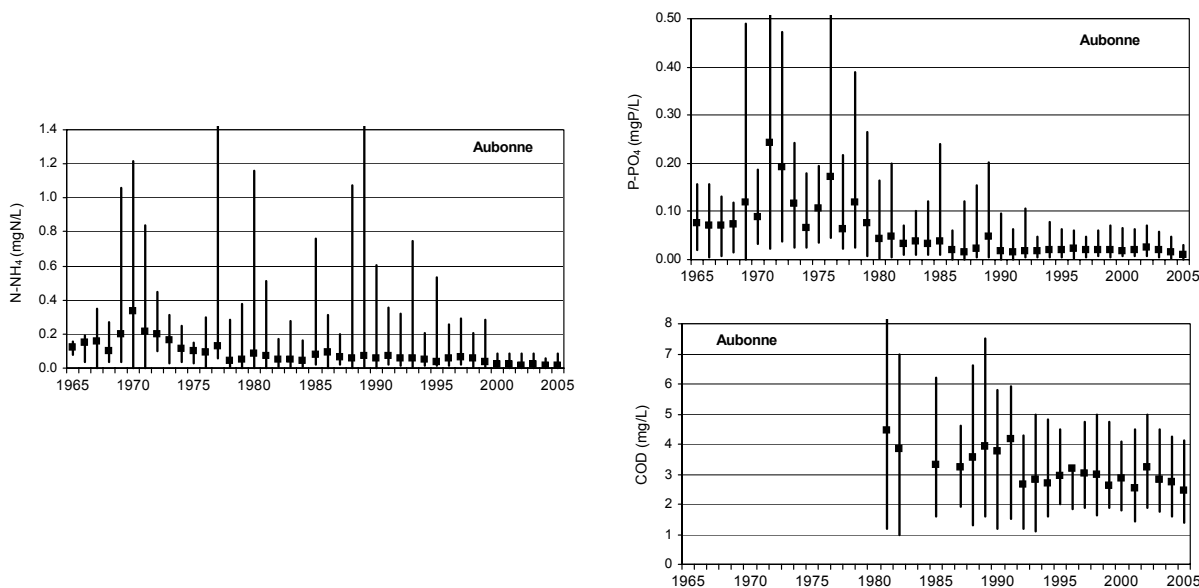


Figure 22 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Aubonne.

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.

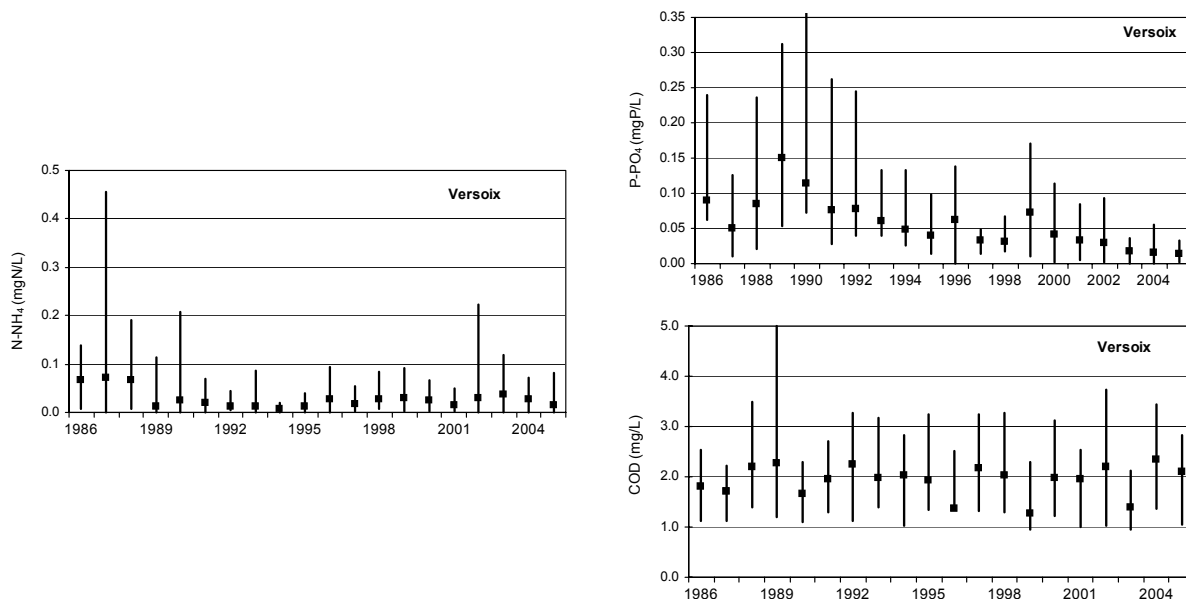


Figure 23 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Versoix.

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. APPORTS ANNUELS : BASSIN VERSANT DU RHÔNE 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 65.5 m³/s) et l'Allondon (débit moyen 1.83 m³/s). Les débits du Rhône émissaire et de l'Arve constituent plus de 90 % 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.

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 2005 elle atteint 440 tonnes.

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

Pour l'Allondon, on retrouve le même pic que pour l'Arve en 1999 (lié au prélèvement ?), il est noté une relation avec le débit de 3.7 tonnes P/an / m³/s, 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 160 tonnes en 2005.

Pour l'Arve, les apports sont relativement stables avec une moyenne de 130 tonnes.

La valeur moyenne pour l'Allondon est de 11.2 tonnes; avec une relation avec le débit de 1.8 tonnes P-PO₄/an / m³/s avec un R² de 0.62.

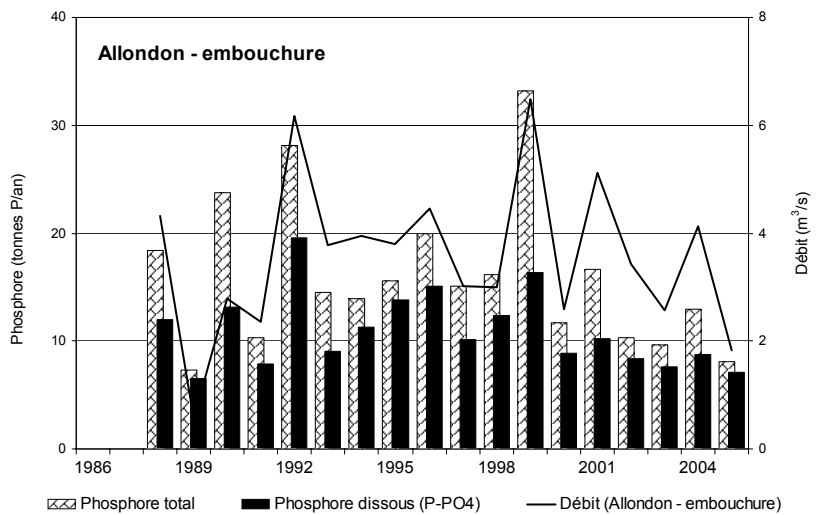
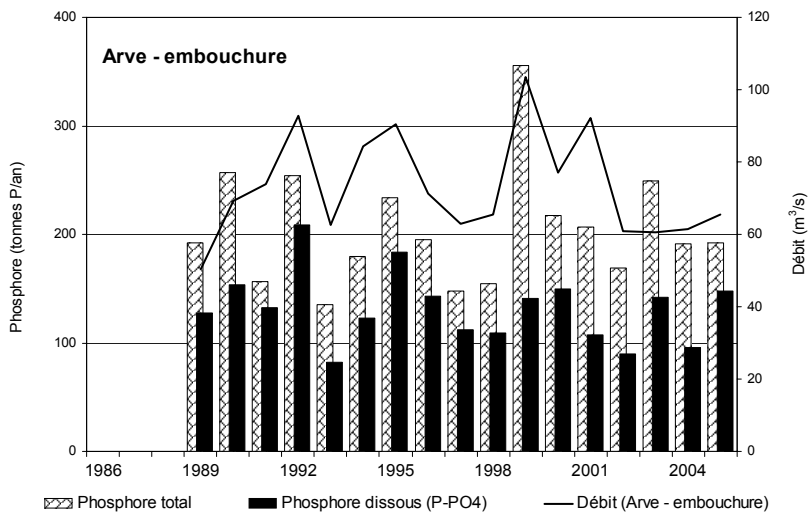
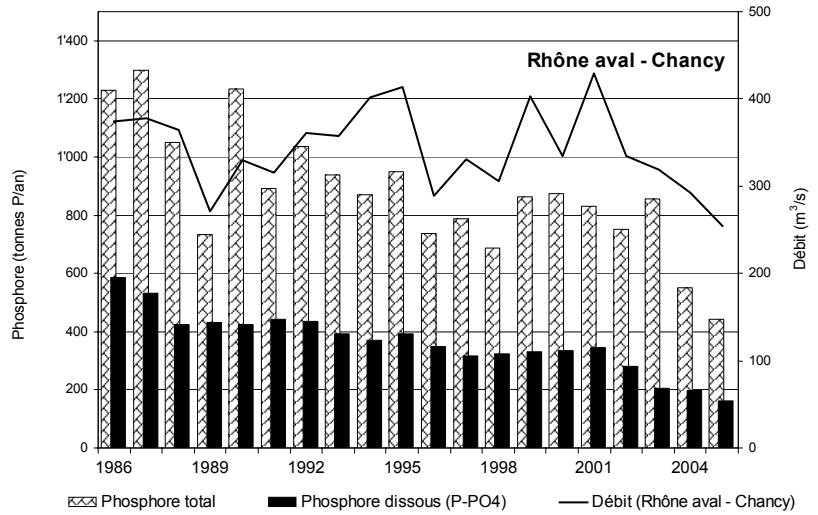


Figure 24 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO₄) - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

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 de l'ordre des 6'100 tonnes, c'est la première fois depuis 1986 que cet apport est aussi faible.

L'Arve a une évolution reliée au débit de 23 tonnes N/an / m³/s, avec un R² de 0.50.

L'Allondon a aussi une relation avec le débit de 54 tonnes N/an / m³/s, avec un R² de 0.74.

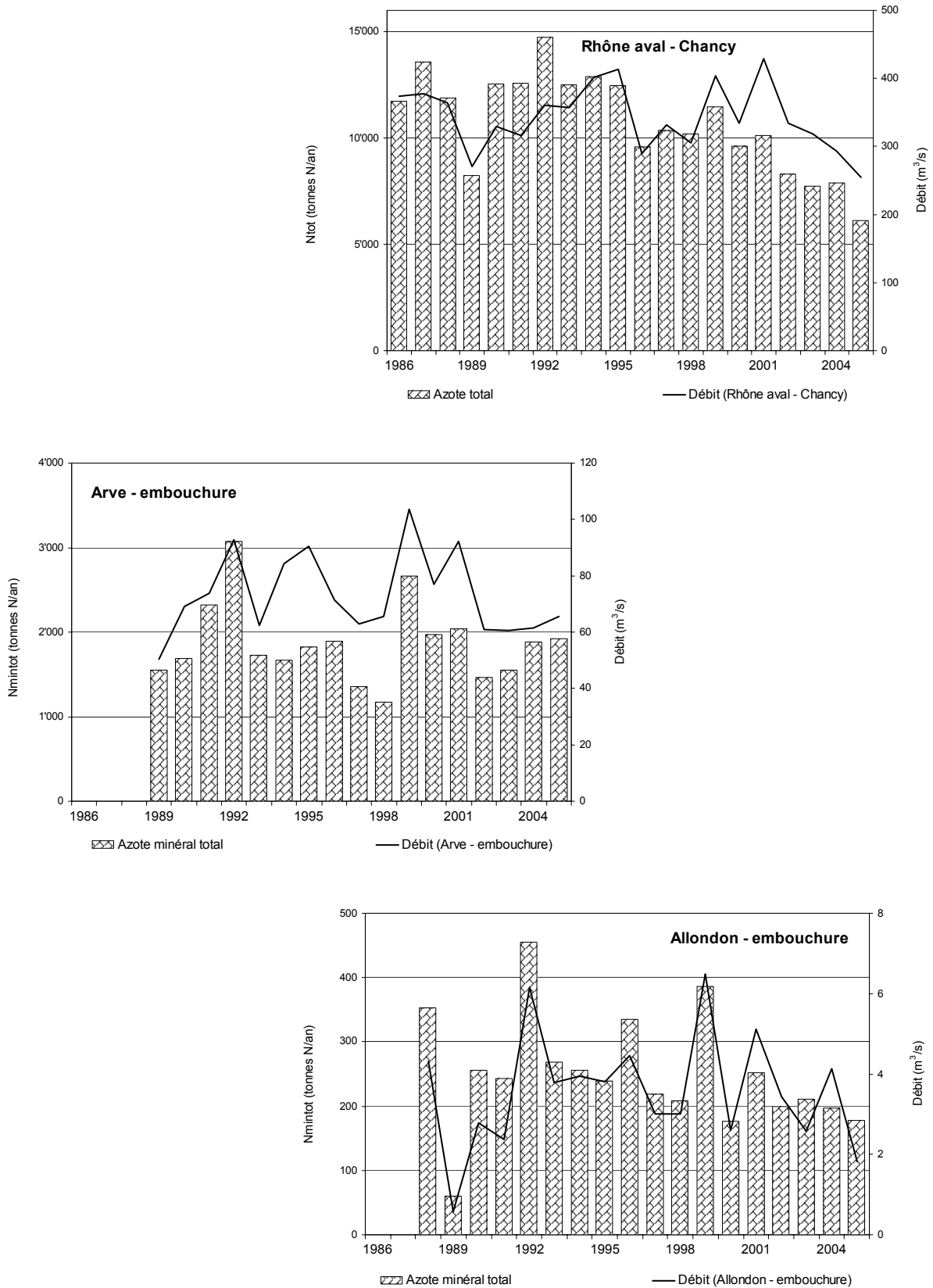


Figure 25 : Azote total ou azote minéral total - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

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).

Pour l'Arve, il y a une évolution reliée au débit de 204 tonnes Cl/an / m³/s avec un R² de 0.47.

Il en est de même pour l'Allondon, relation avec le débit de 164 tonnes Cl/an / m³/s avec un R² de 0.88.

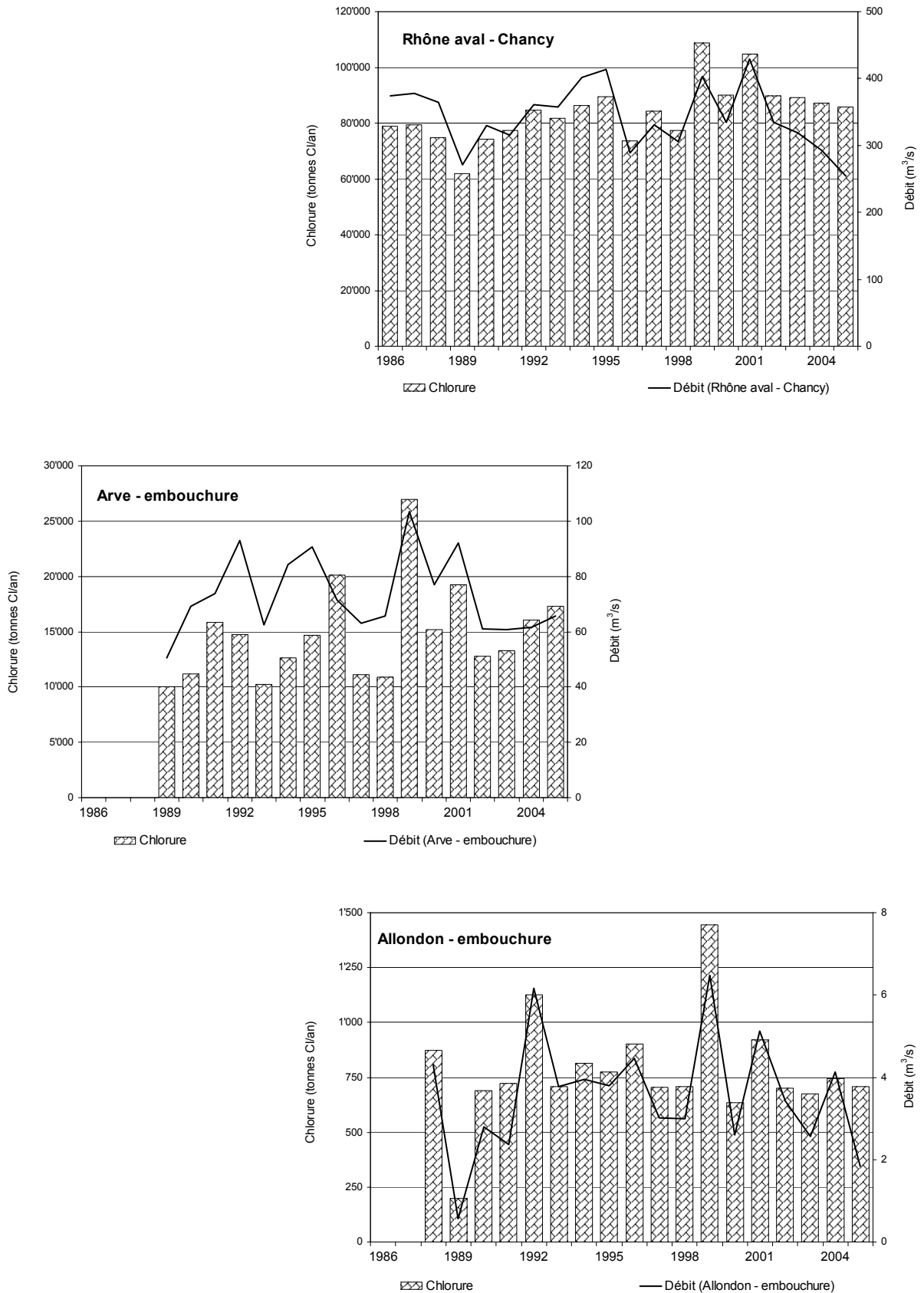


Figure 26 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

Figure 26 : Chlorure - 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 1.83 mgC/L).

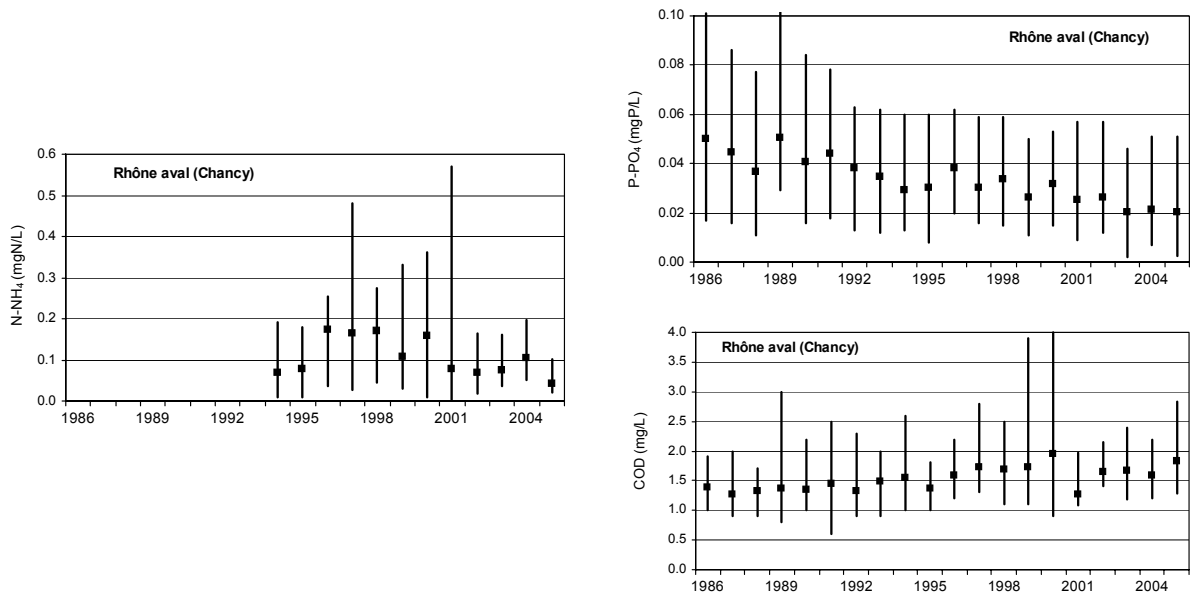


Figure 27 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Rhône aval (Chancy).

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 0.071 mgP/l. Pour l'azote ammoniacal, la moyenne est de 0.068 mgN/L et pour le COD de 1.15 mg/L.

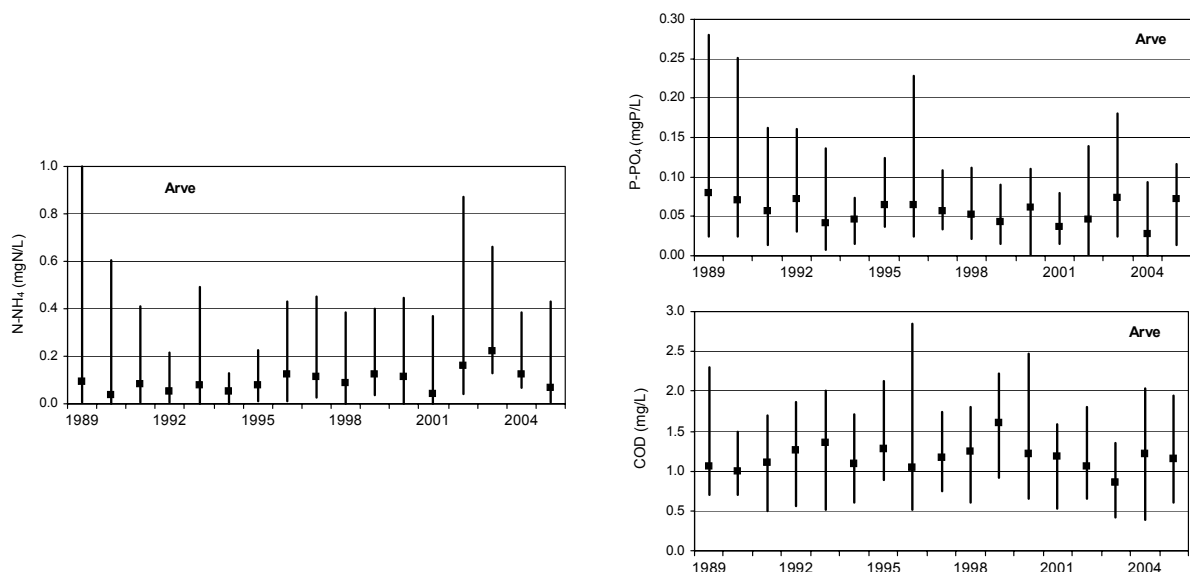


Figure 28 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Arve.

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 0.1 mgP/L.

Par contre pour l'azote ammoniacal il y a plutôt une tendance à la stabilité, avec des valeurs maximales qui dépassent 0.200 mgN/L.

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

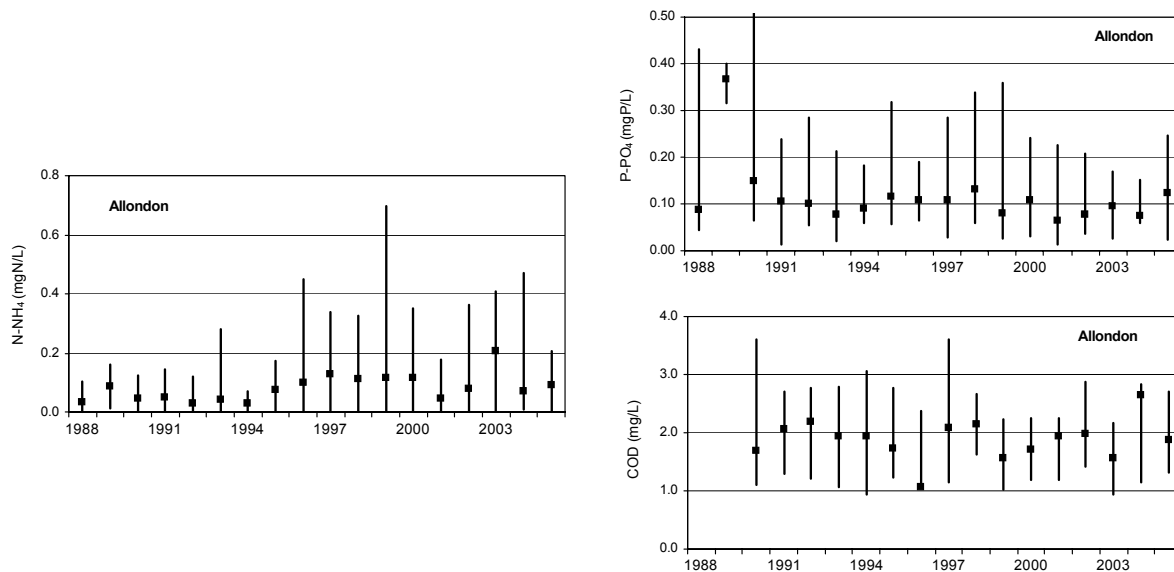


Figure 29 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO₄), de l'azote ammoniacal (N-NH₄) et du carbone organique dissous (COD) - Allondon.

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 770 mm sur le bassin versant proche du Léman, 2005 est une année à pluviométrie moyenne. Les débits des différentes rivières sont nettement 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 184 m³/s. Le débit moyen à la sortie du lac (émissaire à Genève) est de 198 m³/s.

En 2005, les apports en phosphore total au lac par les onze rivières suivies ont été de 1'081 tonnes. Le Rhône amont représente 95 % de ces apports. Il sort du lac 104 tonnes. Pour le phosphore dissous les apports sont de 52.3 tonnes et 43 tonnes sont exportées par l'émissaire.

Pour le phosphore total, les flux apportés par le Rhône amont montrent une nette tendance à l'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.

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 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 2005 ont été de 60'807 tonnes. L'exportation par l'émissaire s'est élevée à 53'920 tonnes.

En ce qui concerne la qualité des eaux (évolution des concentrations en P-PO₄, N-NH₄ et COD), 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. (2006) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2005, 19-29.

STRAWCZYNSKY, A. (2006) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2005, 189-196.

Tableau 3 : Concentrations moyennes en 2005.

Table 3 : Mean concentrations in 2005.

Nom Rivière	Débit (m ³ /sec)	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Nmintot (mgN/L)	NtotBrut (mgN/L)	PO4 (mgP/L)	ProtBrut (mgP/L)	Ppartic (mgP/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/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)
		(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgP/L)	(mgP/L)	(mgP/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(méq/L)	(méq/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Bassin versant Léman																			
Concentrations moyennes																			
Rhône amont	154.60	0.053		0.52		0.58	0.008	0.204		10.45	51.40	1.95	0.44	6.82	1.59	2.76	1.19	2.19	157.9
Dranse	11.30	0.054	0.009	0.84	0.90	0.90	0.009	0.027		8.82	69.11	3.57	0.78	5.16	0.85	3.34	0.60		12.8
Aubonne	3.70	0.016	0.010	1.46	1.49		0.010	0.044	0.026	7.01	4.93	3.25	0.47	4.28	0.85	2.58	2.44		22.1
Venoge	2.60	0.110	0.039	4.06	4.20		0.022	0.110	0.078	21.55	19.45	4.14	0.68	11.23	2.36	4.41	2.67		49.7
Stockalper	2.30	0.568	0.039	1.26	1.86		0.014	0.120									2.39		
Versoix	2.08	0.015	0.027	1.19	1.23	1.35	0.014	0.020		13.18	7.34	3.25	0.46	6.20	0.70	2.51	2.10		
Veveyse	1.43	0.052	0.011	1.02	1.08		0.006	0.253	0.224	18.02	13.61	3.15	0.52	11.57	1.65	3.98	2.57		297.0
Promenthouse	0.85	0.031	0.010	2.23	2.27		0.009	0.048	0.032	10.42	6.63	3.72	0.63	5.56	1.33	3.90	2.14		26.3
Chamberonne	0.76	0.084	0.025	2.60	2.71		0.039	0.132	0.076	27.45	38.20	3.46	0.66	16.39	2.63	4.38	2.36		49.6
Eau Froide	0.27	0.033	0.010	8.96	9.00		0.007	0.036	0.019	14.63	54.85	3.52	0.73	16.75	3.13	4.31	2.47		3.0
Morges	0.26	0.050	0.033	5.86	5.94		0.033	0.111	0.066	29.19	30.79	4.88	1.00	14.89	3.65	7.89	2.95		48.3
Dullive	0.17	0.044	0.016	3.78	3.84		0.032	0.083	0.035	22.73	20.97	4.85	0.92	12.00	2.93	7.29	2.90		20.3
Bassin versant du Rhône aval																			
Concentrations moyennes																			
Rhône émissaire	198.04	0.013	0.023	0.35	0.39	0.59	0.007	0.017		8.63	45.63	2.10	0.48	5.94	1.38	0.70	1.53		
Arve	65.53	0.068	0.146	0.72	0.93	1.04	0.072	0.093		8.35	45.09	2.42	0.43	5.33	1.15		1.15		
Allondon	1.83	0.089	0.084	2.92	3.09	3.45	0.122	0.140		12.25	9.69	4.11	0.56	7.31	1.29		1.88		
Rhône Chancy	250.35	0.042	0.052	0.68	0.77	0.77	0.020	0.055		10.88	46.85	2.37	0.53	6.77	1.69	1.38	1.83	2.21	17.7

Tableau 4 : Flux en 2005.
Table 4 : Flow in 2005.

Nom Rivière	Débit	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Nmintot	NtotBrut	P-PO4	PlotBrut	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	154.60	267.57		2'599		2'882	42.1	1'030		51'966	256'430	194'981	26'701	33'957	7'928	13'796	5'928	10'969	798'002	
Dranse	11.30	19.08	3.11	299	321	321	3.3	9.6		3'144	24'622	25'486	3'390	1'838	305	1'190	214		4'559	
Aubonne	3.70	1.92	1.12	171	174		1.1	5.1	3.08	819	576	7'614	662	500	100	301	285		2'579	
Venoge	2.60	9.02	3.22	333	345		1.8	9.0	6.38	1'770	1'598	6'822	680	923	194	362	219		4'079	
Stockalper	2.30	41.16	2.80	91	135		1.0	8.7												
Versoix	2.08	1.01	1.78	78	81	88	1.0	1.3		866	483	4'277	367	408	46	165	138			
Veveyse	1.43	2.34	0.49	46	49		0.3	11.4	10.16	815	616	2'853	284	523	74	180	116		13'437	
Promenthouse	0.85	0.83	0.26	60	61		0.2	1.3	0.85	280	178	1'998	204	149	36	105	58		705	
Chamberonne	0.76	2.02	0.60	63	65		0.9	3.2	1.84	662	921	1'674	192	395	63	106	57		1'197	
Eau Froide	0.27	0.28	0.08	76	76		0.1	0.3	0.16	124	465	597	75	142	27	37	21		25	
Morges	0.26	0.40	0.27	47	48		0.3	0.9	0.53	236	249	790	98	120	30	64	24		390	
Dullive	0.17	0.24	0.09	21	21		0.2	0.5	0.19	124	115	531	61	66	16	40	16		111	
Total BV Léman	180.3	345.9		3'884			52.3	1'081		60'807	286'252	247'625	32'715	39'021	8'818	16'345	7'075			
Bassin versant du Rhône aval																				
Rhône émissaire	198.0	78.4	142.1	2'196	2'417	3'686	42.7	104		53'919	284'976	262'740	36'764	37'092	8'589	4'395	9'539			
Arve	65.5	139.7	301.2	1'477	1'918	2'153	148.0	192		17'263	93'181	100'205	10'752	11'008	2'386		2'382			
Allondon	1.8	5.15	4.84	168	178	199	7.1	8.1		707	559	4'753	393	422	75		109			
Rhône Chancy	250.3	449.7	558.1	5'381	6'389	6'114	161.0	442		85'759	374'950	379'121	51'643	53'585	13'466	10'928	14'703	17'768	143'829	

CONSEIL SCIENTIFIQUE

DE LA COMMISSION INTERNATIONALE
POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN
CONTRE LA POLLUTION

RAPPORTS

SUR LES ÉTUDES
ET RECHERCHES ENTREPRISES
DANS LE BASSIN LÉMANIQUE

PROGRAMME QUINQUENNAL 2001-2005
CAMPAGNE 2005

*Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.,
Campagne 2005, 2006*