

## 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 2006

PAR

**Philippe QUETIN**

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRETEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

#### RÉSUMÉ

*Les apports au Léman par les rivières sont calculés à partir des analyses sur des prélèvements d'eau en continu (proportionnels aux débits) pour les quatre affluents principaux (Rhône amont, Dranse, Aubonne et Venoge) et de prélèvements sur 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.*

*2006 est une année à pluviométrie normale. La somme des débits moyens de l'ensemble des affluents contrôlés est de 212 m<sup>3</sup>/s. Le débit moyen à la sortie du lac (émissaire à Genève) est de 230 m<sup>3</sup>/s.*

*Les apports en phosphore total au lac par les onze rivières suivies ont été de 1'405 tonnes. Le Rhône amont représente 95 % de ces apports. Il sort du lac 122 tonnes. Pour le phosphore dissous, les apports sont de 62 tonnes, et 38 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 présente une légère augmentation des apports.*

*En ce qui concerne la qualité des eaux, on constate très nettement pour l'évolution des concentrations en P-PO<sub>4</sub>, 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, ainsi que de 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-NH<sub>4</sub>), l'évolution est beaucoup moins significative. On constate une certaine stabilité des valeurs moyennes.*

*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

*Inputs into Lake Geneva from the rivers were calculated from analyses of continuous water sampling (proportional to the rate of flow) from the four main tributaries (upstream Rhône, Dranse, Aubonne and Venoge), and samples taken from another seven minor tributaries. Outflows from the Lake were determined in the Rhône outflow at Geneva. Finally, inputs from the catchment area of the Rhône between where it emerges from Lake Geneva and where it enters French territory were calculated from analyses on the downstream Rhône (at Chancy), the Arve and the Allondon.*

*2006 was a year with normal rainfall. The sum of the mean flows in all the tributaries tested was 212 m<sup>3</sup>/s. The mean flow where it emerges from the Lake (the Geneva outflow) was 230 m<sup>3</sup>/s.*

*The total phosphorus fed into the Lake by the eleven Swiss rivers was 1'405 metric tonnes. The upstream Rhône provides 95 % of these inputs. 122 metric tonnes were discharged. For the dissolved phosphorus, the inputs were 62 metric tonnes and 38 metric tonnes were removed by the outflow.*

*For the total phosphorus, the inflows carried by the upstream Rhône have been increasing since measurements began. In contrast, the Dranse, the Venoge and the Aubonne display a downward trend. The same was true for the flows removed by the Rhône downstream of Chancy. The Arve and the Allondon did not display any clear pattern.*

*For the dissolved phosphorus, all the eleven Swiss rivers that flow into the Lake, plus the Rhône upstream of Chancy, have displayed a clear decline in inputs over the past twenty years. The same is not true of the Arve and the Allondon, which do not display any downward trend.*

*For the total inorganic nitrogen, all the rivers tested had stable inputs over the years.*

*For chloride, all the rivers displayed a slight increase in inputs.*

*With regard to water quality, the changes in  $PO_4\text{-P}$  concentrations over the last 20 years clearly reflect the introduction of dephosphatation at the waste water treatment plants, and the prohibition in Switzerland of phosphate in textile detergents as well as the reduction of levels of these compounds in France. There has indeed been a clear fall in concentrations of dissolved phosphorus in the water of the various rivers, though with the exception of the Arve and the Allondon, where the change is not clear.*

*The change in ammoniacal nitrogen ( $NH_4\text{-N}$ ) is much less significant, and the mean values are fairly stable.*

*The mean dissolved organic carbon (DOC) levels remained stable. However, there has been a slight decrease in the maximum levels.*

## 1. GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODES

En 2006, 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).

Depuis 2003, 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, l'Allondon ainsi que la Couchefatte.

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 (STRAWCZYNSKI, 2007).

La plupart des analyses sont effectuées sur des échantillons d'eau filtrée (maille de 0.45  $\mu\text{m}$ ). Par contre, les concentrations de phosphore total, d'azote total et de carbone organique total sont déterminées sur les échantillons d'eau brute.

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 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.

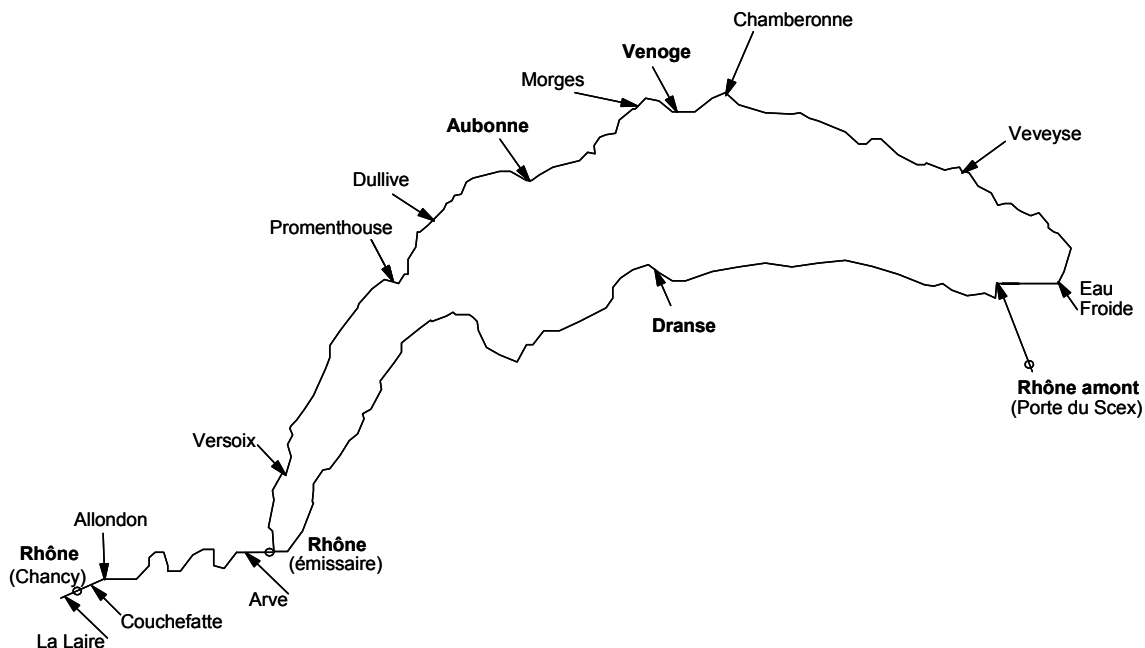


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées.  
 Figure 1 : Location of the various rivers investigated.

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)
<b>Bassin du Léman</b>				
<b>Rhône - Porte du Scex</b>	x <sup>1</sup>			
<b>Dranse</b>	x <sup>1</sup>			
<b>Aubonne</b>	x <sup>1</sup>			
<b>Venoge</b>	x <sup>1</sup>			
Versoix	x <sup>2</sup>			
Veveyse		x		
Promenthouse		x		
Chamberonne		x		
Morges		x		
Dullive		x		
Eau Froide			x	
<b>Rhône émissaire</b>	x <sup>2</sup>			
<b>Bassin du Rhône aval</b>				
Arve				x
Allondon				x
Couchefatte				x
<b>Rhône à Chancy</b>	x <sup>2</sup>			
La Laire				x

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

<sup>2</sup> = 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 PRINCIPAUX ET DE L'ÉMISSAIRE (figure 2)

L'année 2006 est une année à pluviométrie normale avec une lame d'eau précipitée au niveau des inter-stations du Léman de l'ordre de 1'069 mm (QUETIN, 2007). A part l'Aubonne et dans une moindre mesure la Venoge, les débits moyens annuels des affluents principaux ainsi que celui de l'émissaire sont légèrement inférieurs à leur moyenne sur quarante ans, tandis que ceux des affluents complémentaires sont égaux à leur moyenne.

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
1986	194.9	23.2	5.3	3.9		259.1
1987	194.0	26.3	6.9	4.7		276.6
1988	202.7	22.4	6.7	5.4		278.9
1989	167.4	21.7	2.9	2.2	8.8	207.2
1990	164.8	33.0	3.7	2.9	13.3	238.6
1991	171.9	14.8	5.9	3.1	10.1	201.5
1992	177.5	21.2	7.2	4.1	13.8	224.7
1993	190.9	17.3	5.8	4.1	13.4	243.2
1994	214.6	20.7	6.3	4.7	11.6	297.4
1995	208.2	27.2	6.6	5.3	13.6	303.4
1996	145.2	15.4	4.4	3.5	9.7	192.5
1997	183.3	18.8	5.8	3.9	10.9	234.0
1998	168.8	17.2	5.0	3.3	10.9	216.4
1999	215.7	24.7	5.9	5.0	15.9	302.2
2000	187.3	19.7	6.1	4.2	13.4	246.6
2001	196.7	26.2	6.8	5.6	14.8	308.5
2002	176.9	20.9	6.0	4.8	12.7	249.1
2003	195.2	15.0	3.9	2.4	8.9	231.4
2004	163.3	13.7	4.9	3.6	12.2	221.2
2005	157.7	11.3	3.7	2.6	8.8	198.0
2006	171.7	17.8	6.6	4.8	11.9	229.9
Moyenne *	184.1	20.9	5.4	4.7	11.9	244.3

\* : moyenne 1963-2006 (sauf pour les rivières complémentaires 1989-2006)

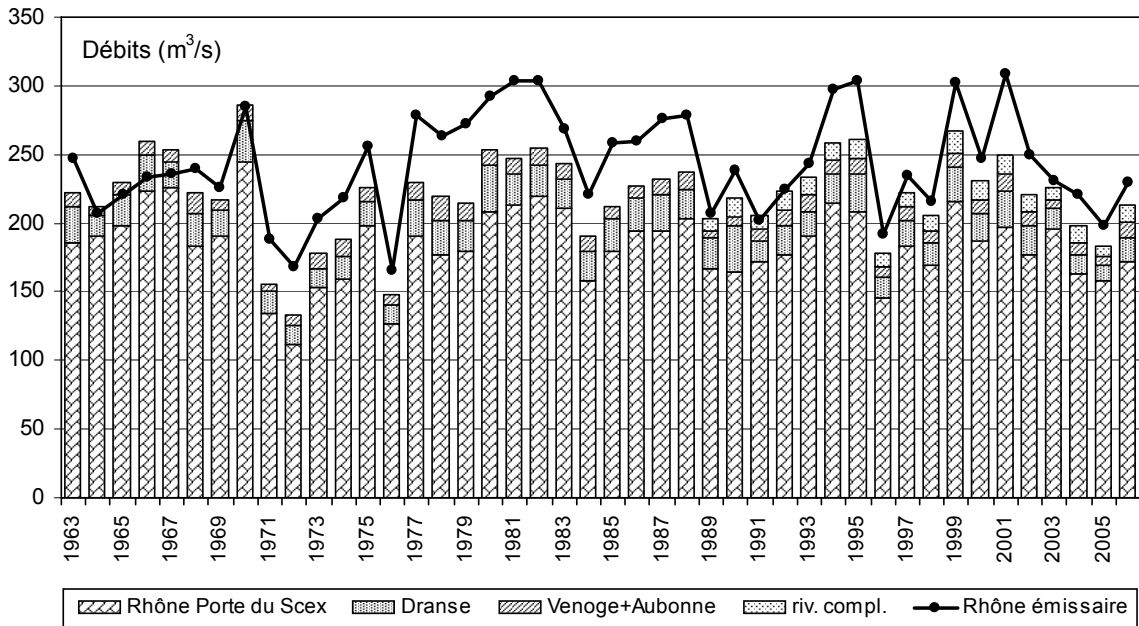


Figure 2 : Débits moyens annuels.

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 1'371 tonnes pour l'année 2006, dont 1'301 tonnes par le Rhône amont (figure 5), soit 95 % des apports des quatre affluents. 42.6 tonnes sont apportées par les rivières complémentaires, soit pour l'ensemble des rivières contrôlées 1'405 tonnes.

Le phosphore total dans le Rhône amont, après deux ans de baisse, reprend son évolution à l'augmentation enregistrée depuis le début des mesures à 21 tonnes de P/an ( $R^2 = 0.64$ ).

Le phosphore total dans le Rhône émissaire suit depuis 1980 une courbe de tendance à décroissance logarithmique ( $R^2 = 0.86$ ) (figure 3).

La Dranse (figure 6) et la Venoge (figure 7) retrouvent leurs valeurs de 2004, malgré un débit moyen annuel supérieur à cette année-là.

L'Aubonne (figure 8), à débit moyen équivalent, retrouve les valeurs de 1999.

##### ► **Phosphore dissous (orthophosphate)**

En 2006, le total des apports en phosphore dissous (orthophosphate) par les affluents est de 61.6 tonnes avec 56.4 tonnes sur les 4 affluents principaux (figure 4). Les apports du Rhône amont représentent près de 70 %.

La valeur de la Dranse en 2006 est supérieure à sa moyenne depuis 1991 (5.8 tonnes de P - figure 6).

Pour la Venoge, (figure 7) les apports relevés en 2006 sont le maximum de ces 10 dernières années, ce qui a pour conséquence la légère élévation de sa valeur moyenne depuis 1989 à 4.2 tonnes.

L'Aubonne, depuis sa stabilisation en 1985, a une valeur de 2.8 tonnes. On peut émettre une relation phosphore dissous - débit, de 0.4 tonnes P-PO<sub>4</sub>/an/m<sup>3</sup>/s avec un R<sup>2</sup> de 0.42 (figure 8).

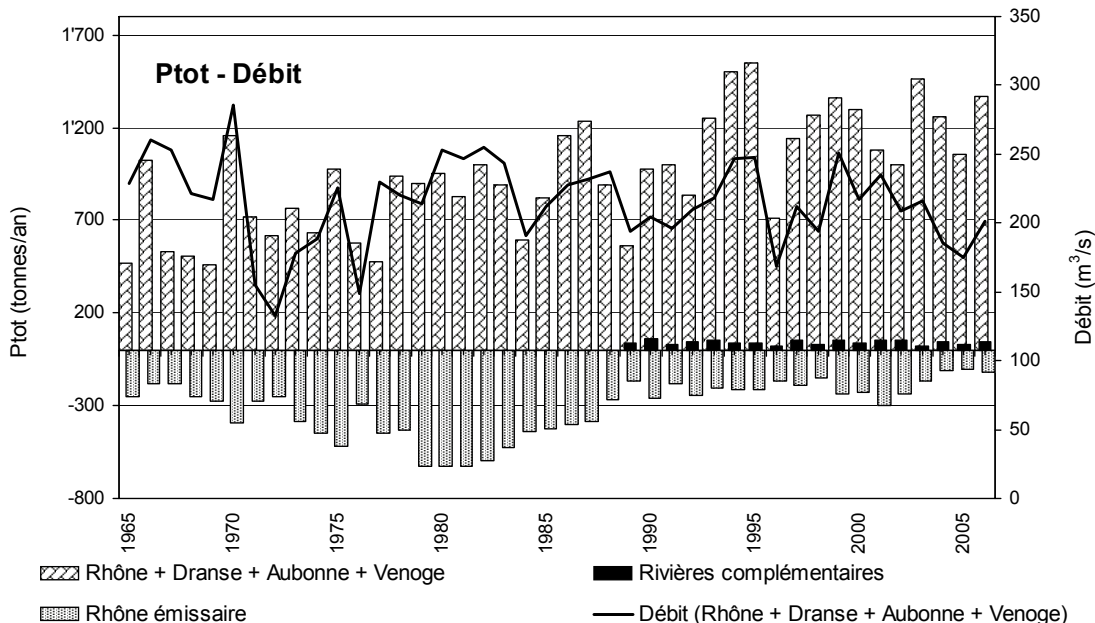


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

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).

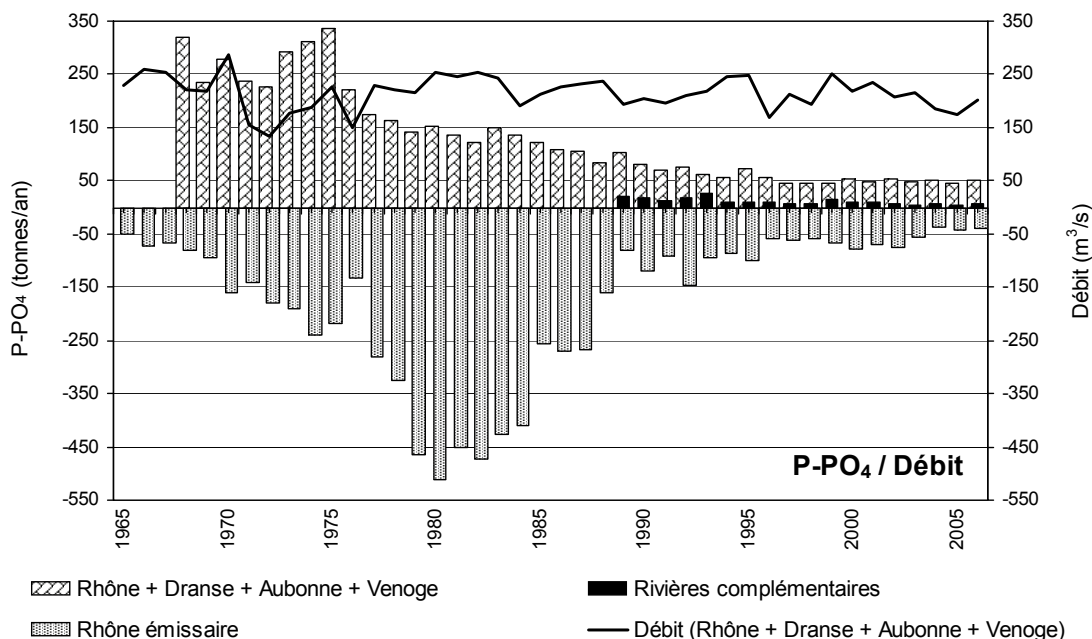


Figure 4 : Phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>) - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

Figure 4 : Dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>) - 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).

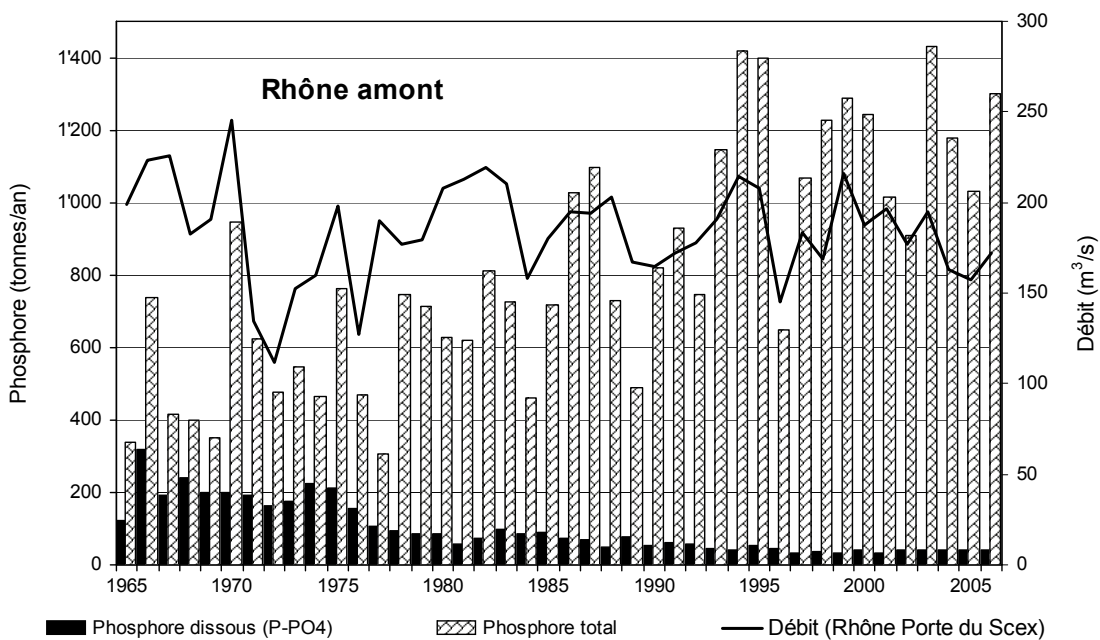


Figure 5 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>) - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex).  
Figure 5 : Total phosphorus and Dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>) - Annual inflow from the upstream segment of the Rhône (Porte du Scex).

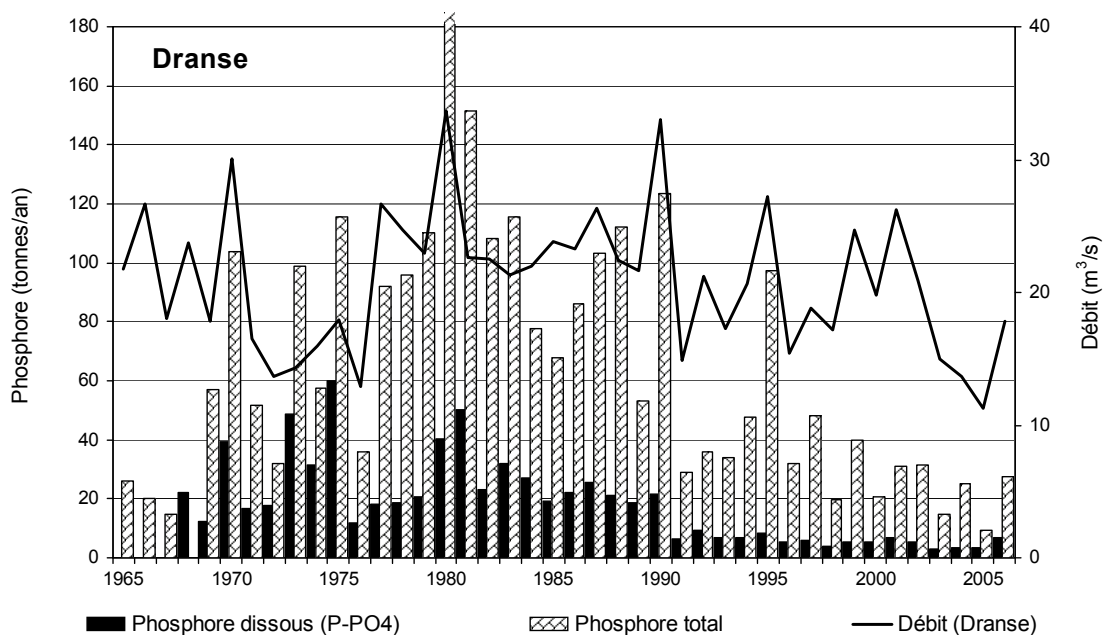


Figure 6 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>) - Apports annuels par la Dranse.  
Figure 6 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>) - Annual inflow from the Dranse.

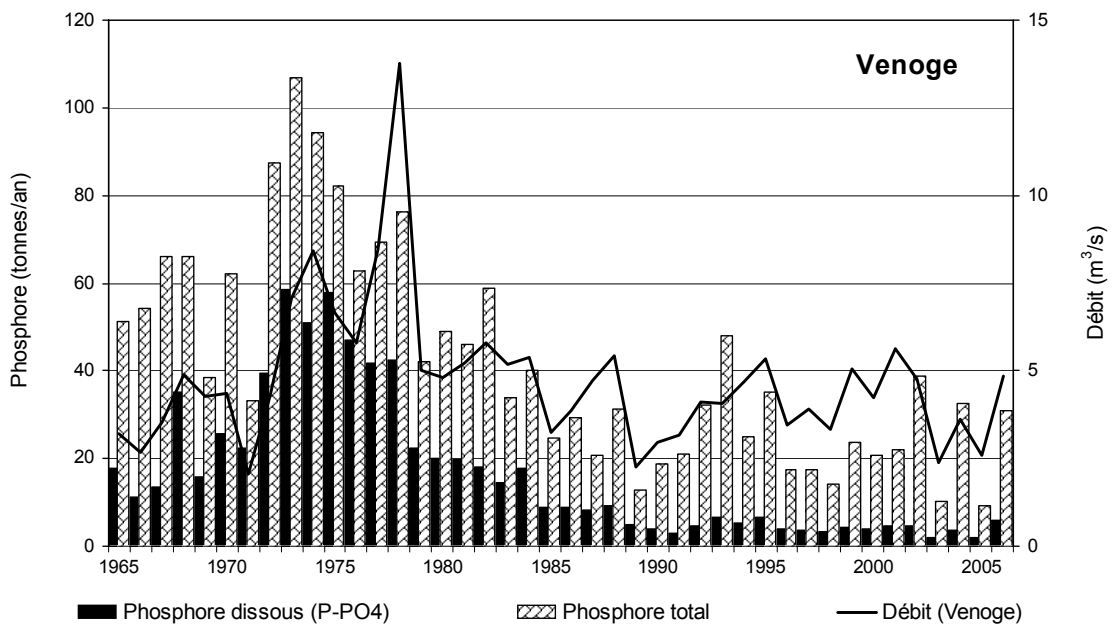


Figure 7 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>) - Apports annuels par la Venoge.  
Figure 7 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>) - Annual inflow from the Venoge.

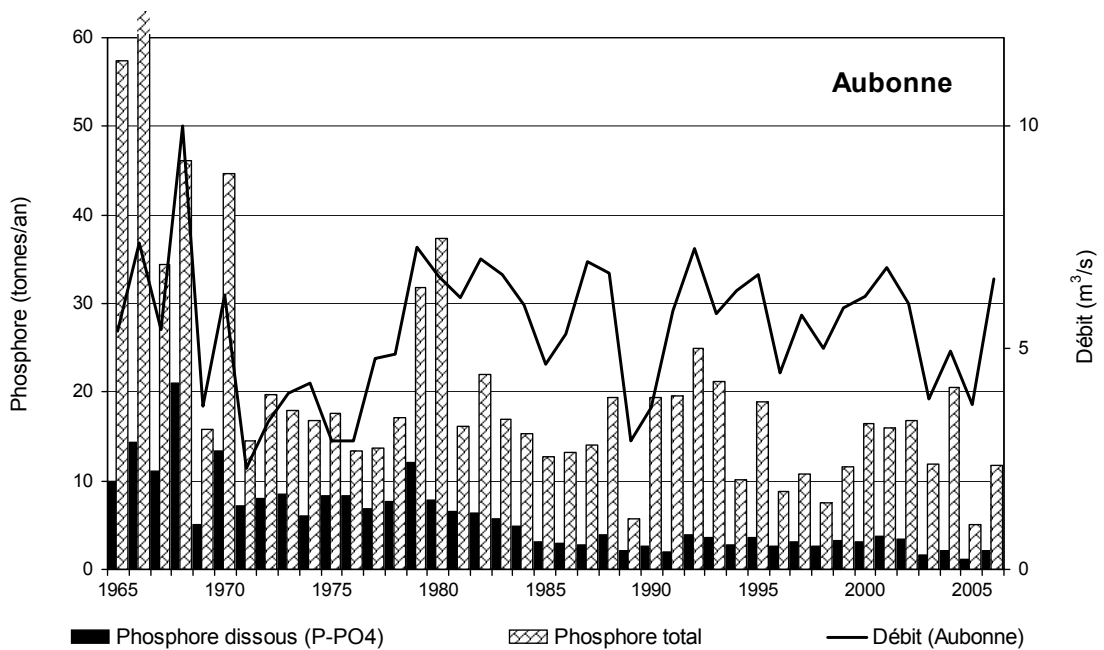


Figure 8 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>) - Apports annuels par l'Aubonne.  
Figure 8 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>) - Annual inflow from the Aubonne.



### 3.2 Azote minéral total (figures 9 à 13)

Pour l'azote minéral total, les apports par les affluents en 2006 sont de 5'310 tonnes.

Les apports pour le Rhône amont sont légèrement inférieurs à leur moyenne calculée depuis 1965 (3'344 tonnes).

Le Rhône émissaire a une relation temporelle cyclique (relation azote /débit de 14 tonnes N/ m<sup>3</sup>/s avec un R<sup>2</sup> de 0.53).

Les apports par la Dranse sont légèrement supérieurs à la normale relevée entre 1977-2006 (412 tonnes). La relation azote-débit, avec un R<sup>2</sup> de 0.46 est de 13.7 tonnes N/an/m<sup>3</sup>/s.

Pour la Venoge, depuis 1979, les apports sont relativement stables avec une moyenne annuelle de 554 tonnes. La relation azote - débit, avec un R<sup>2</sup> de 0.66, est de 86 tonnes N/an/m<sup>3</sup>/s.

Pour l'Aubonne, sa relation azote-débit est avec un R<sup>2</sup> de 0.58, de 33.6 tonnes N/an /m<sup>3</sup>/s.

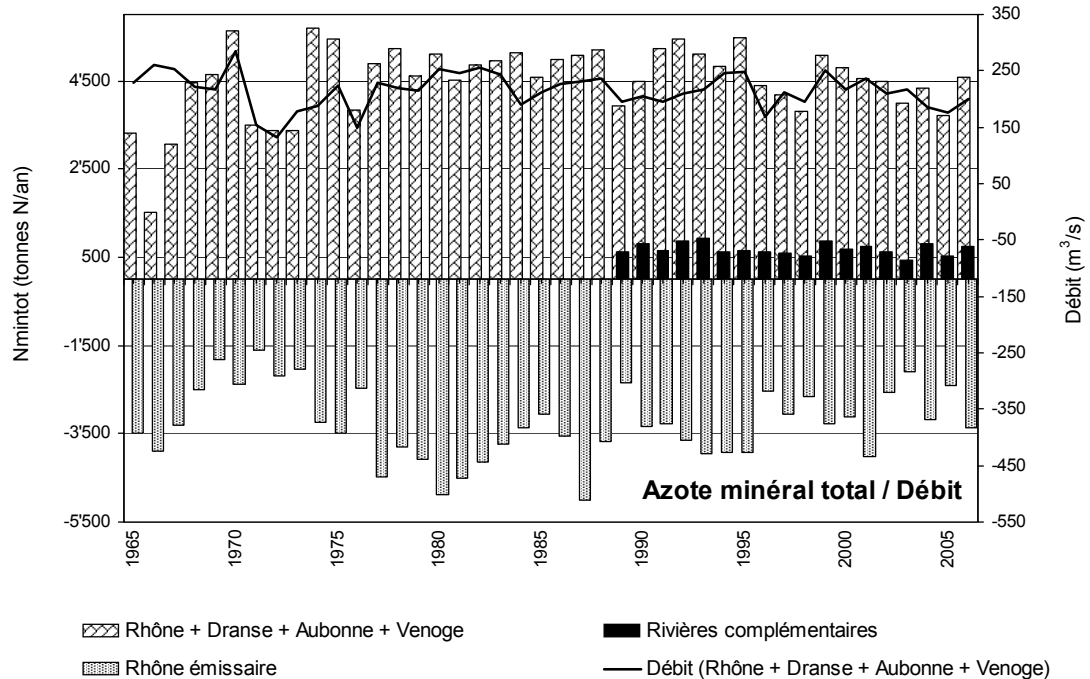


Figure 9 : Azote minéral total - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

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).

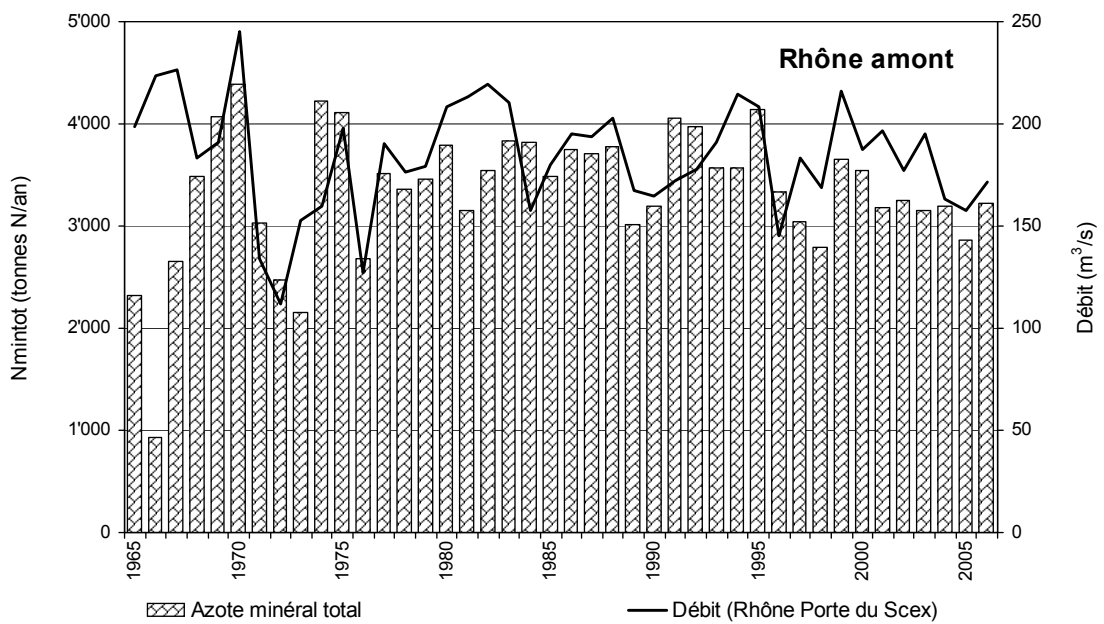


Figure 10 : Azote minéral total - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex).

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

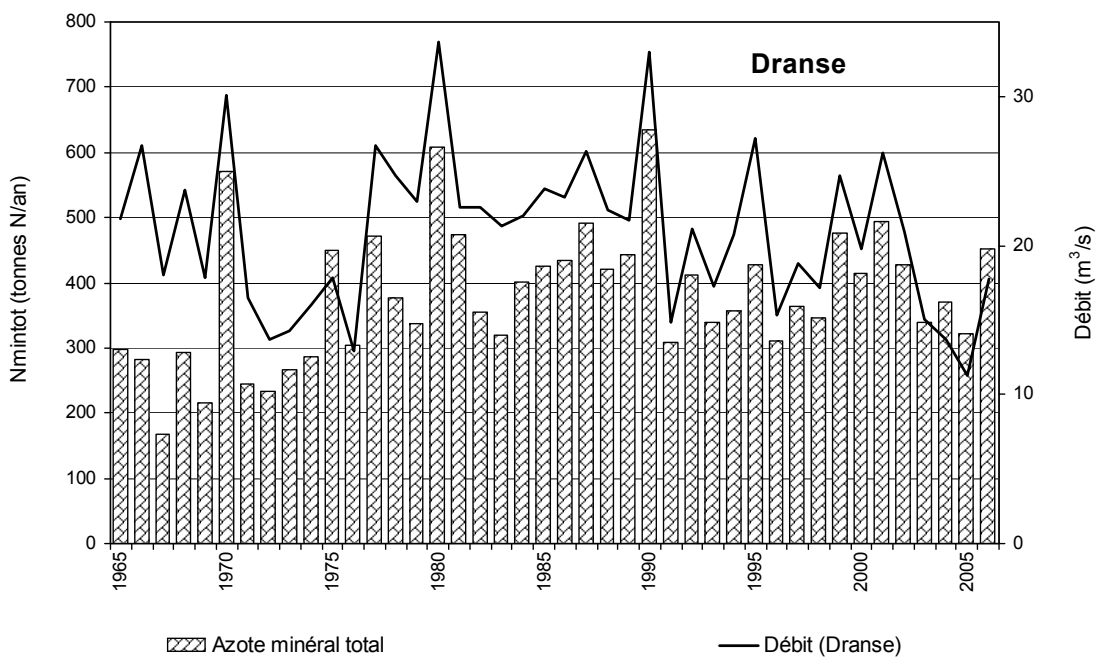


Figure 11 : Azote minéral total - Apports annuels par la Dranse.

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

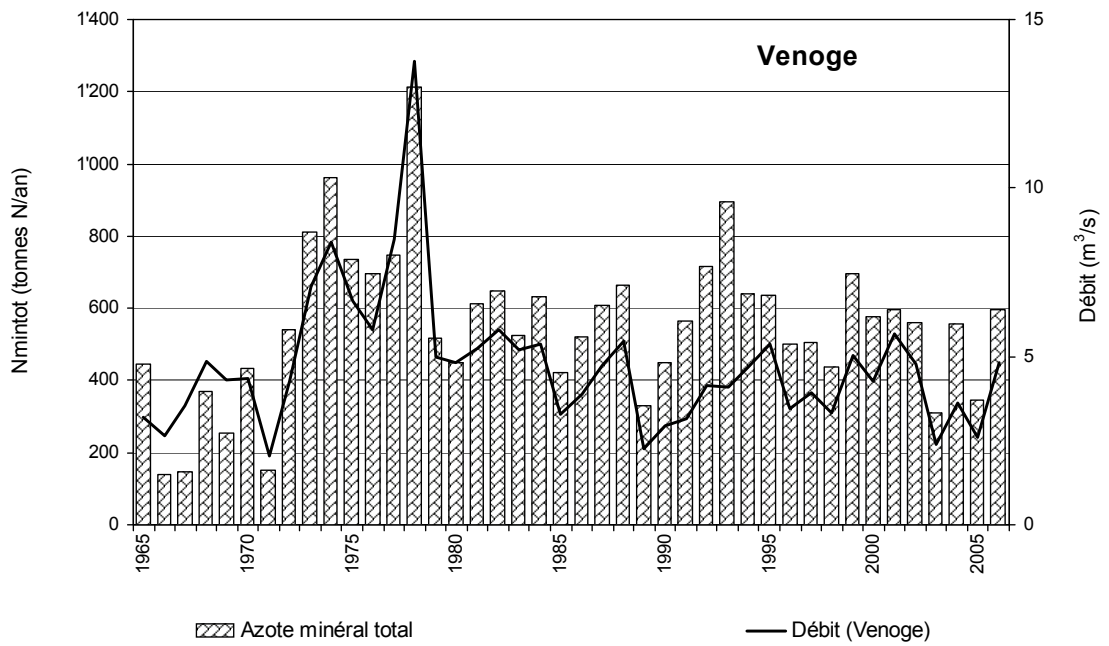


Figure 12 : Azote minéral total - Apports annuels par la Venoge.  
Figure 12 : Total inorganic nitrogen - Annual inflow from the Venoge.

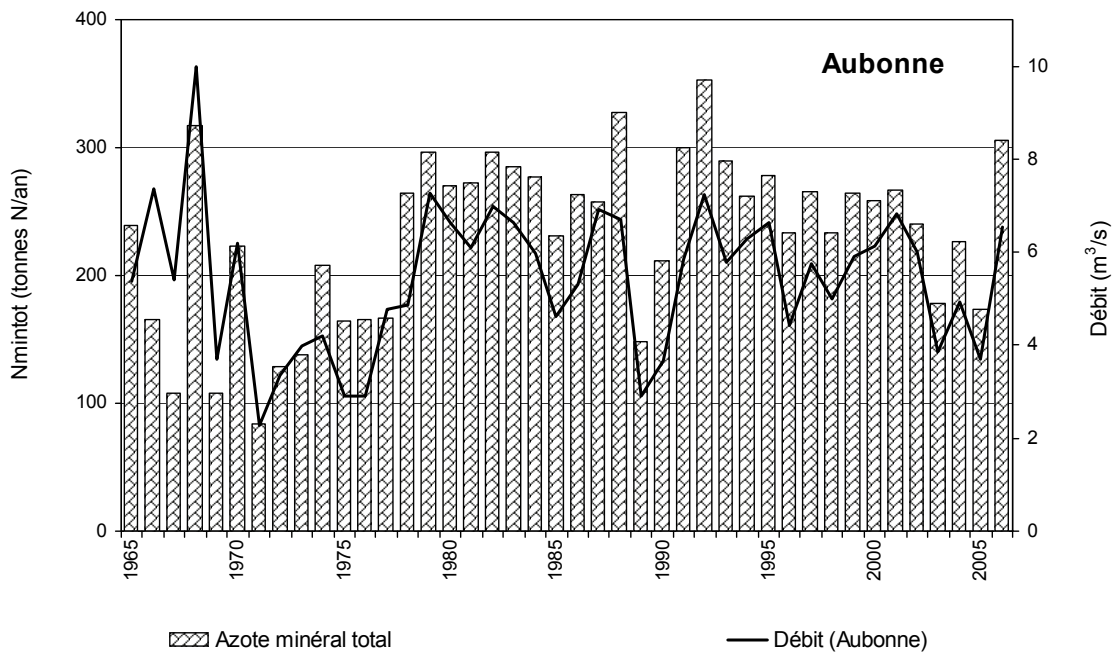


Figure 13 : Azote minéral total - Apports annuels par l'Aubonne  
Figure 13 : Total inorganic nitrogen - Annual inflow from the Aubonne.

### 3.3 Chlorure (figures 14 à 18)

Pour 2006, les apports totaux par les rivières atteignent 66'100 tonnes de chlorure. L'évolution depuis 1965 des apports du Rhône amont montre une augmentation de 700 tonnes Cl/an avec un  $R^2$  de 0.75. Par rapport à l'ensemble des rivières, les apports du Rhône amont représentent en moyenne 81 %.

Pour les exportations par le Rhône émissaire, l'augmentation annuelle est légèrement plus élevée à 1'080 tonnes Cl/an avec un  $R^2$  de 0.84 sur la période 1965-2006.

Pour la Dranse, l'augmentation est de 54 tonnes Cl/an avec un  $R^2$  de 0.39.

Les apports par la Venoge sont relativement stables depuis 1979 à environ 2'200 tonnes.

Les apports de l'Aubonne pour l'année 2006 sont 75 % plus forts que la moyenne 1965-2005, mais sans toutefois atteindre le maximum relevé en 1979 de 1'633 tonnes.

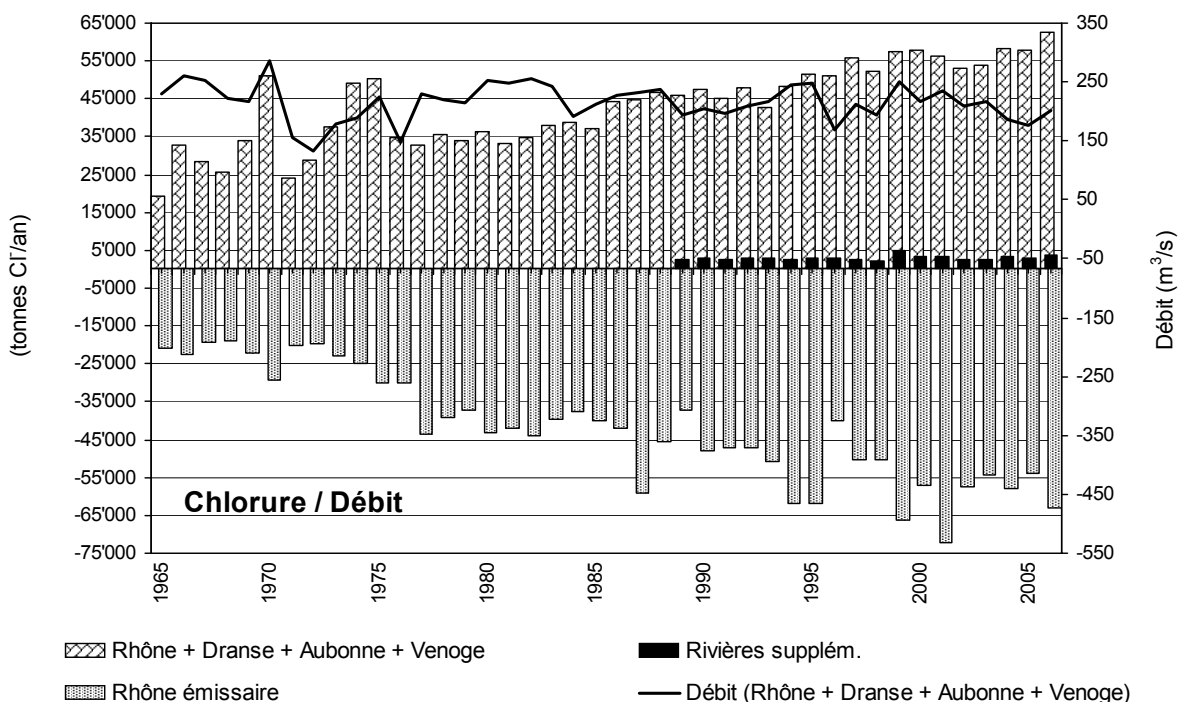


Figure 14 : Chlorure - Apports annuels par les affluents principaux et complémentaires et perte annuelle par l'émissaire. (Ne représente pas un bilan complet, car il n'est pas tenu compte des rejets de STEP directs au lac).

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).

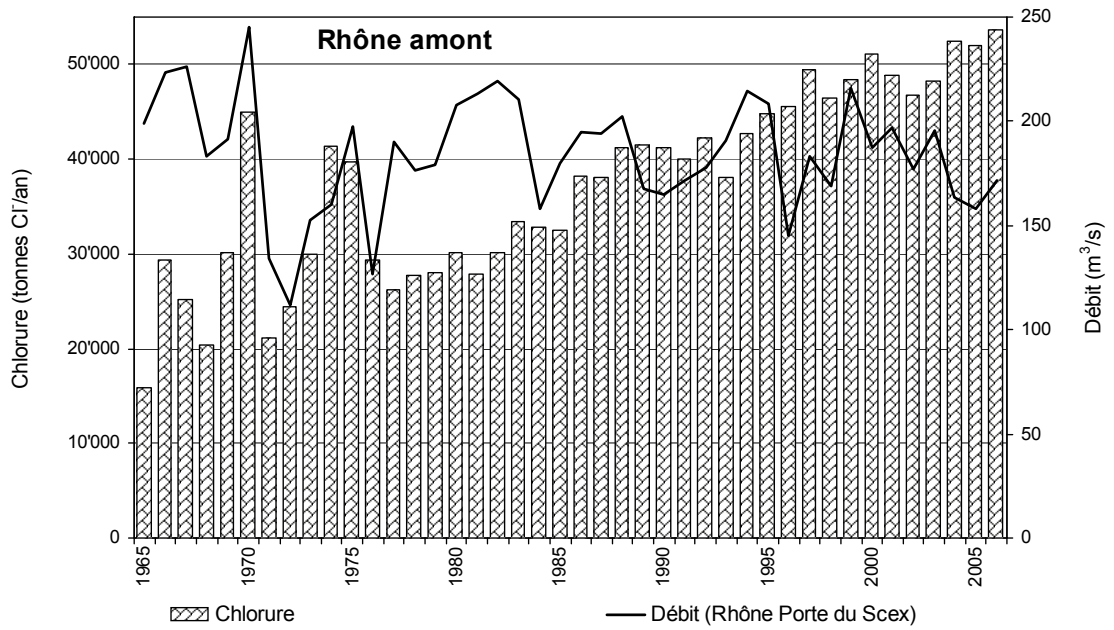


Figure 15 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex).

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

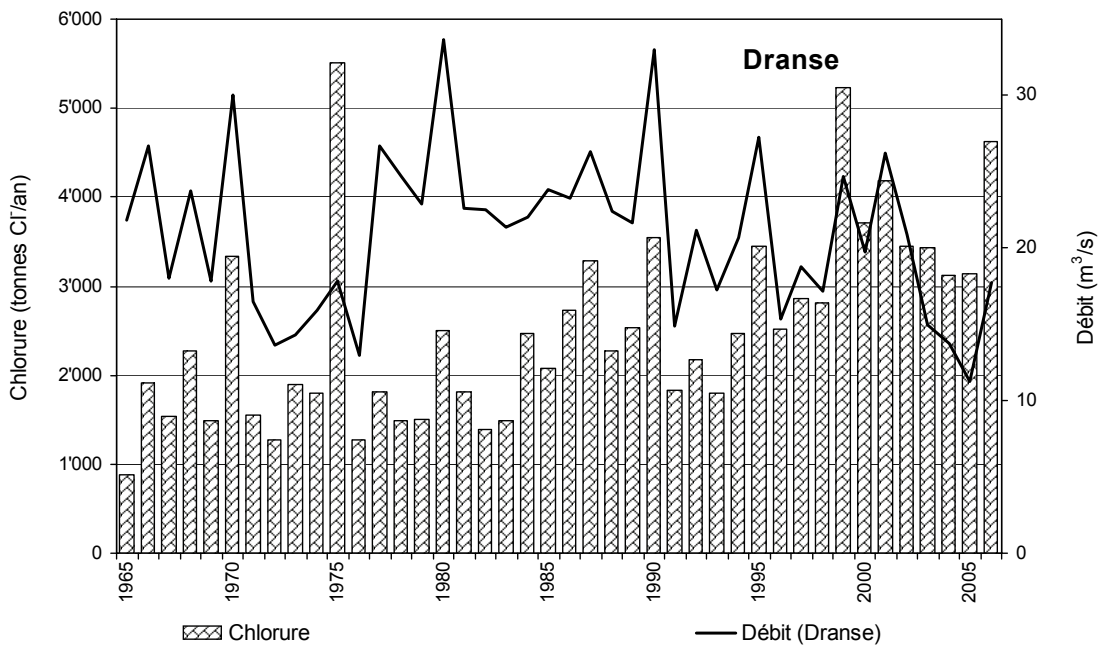


Figure 16 : Chlorure - Apports annuels par la Dranse.

Figure 16 : Chloride - Annual inflow from the Dranse.

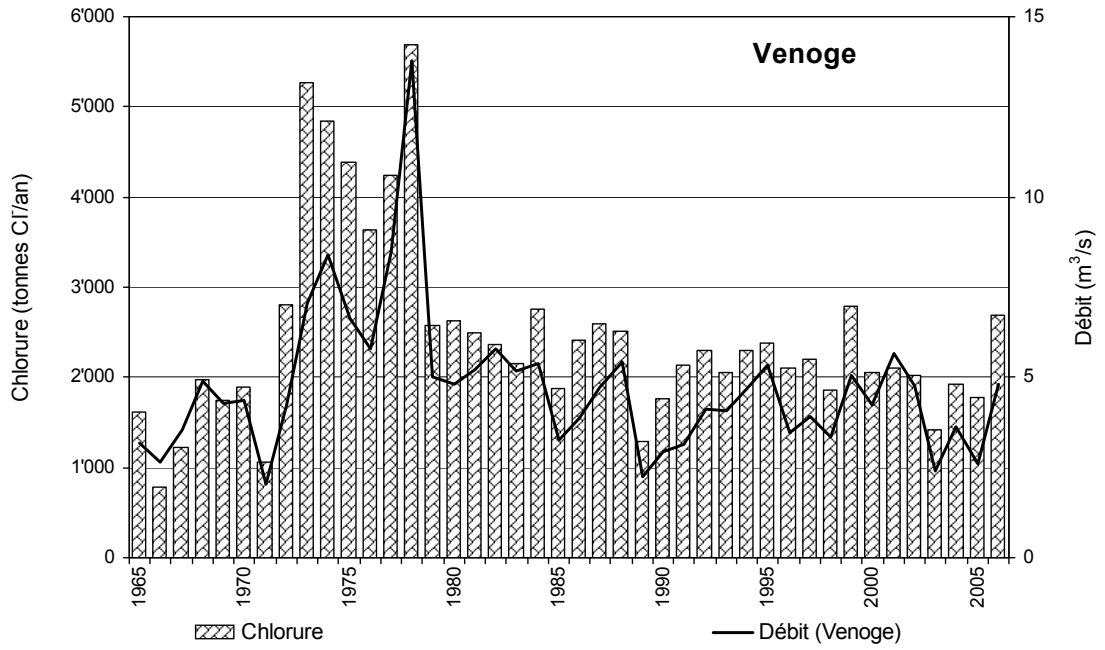


Figure 17 : Chlorure - Apports annuels par la Venoge.  
Figure 17 : Chloride - Annual inflow from the Venoge.

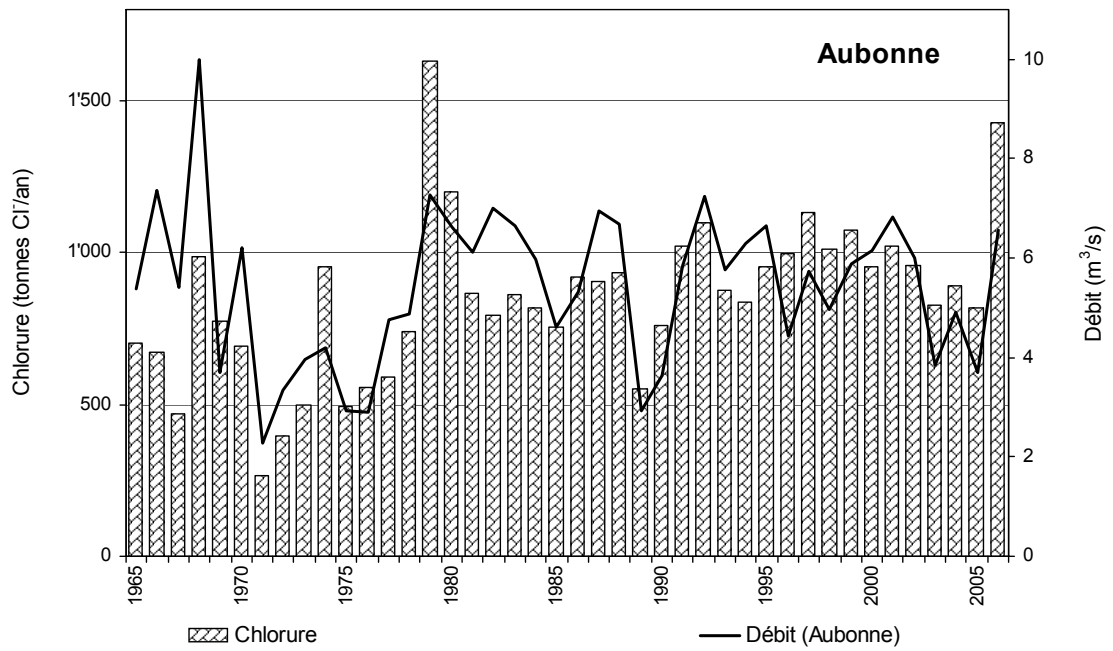


Figure 18 : Chlorure - Apports annuels par l'Aubonne.  
Figure 18 : Chloride - Annual inflow from the Aubonne.

## 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 pour 2006 est 1.4 fois la valeur de la normale 1997-2006. Les valeurs maximales sont du même ordre de grandeur que l'année 1996. Au niveau de l'azote ammoniacal, cela fait 4 ans de suite que les maximales sont supérieures à 0.22 mgN/L. Pour le COD, il n'y a pas d'évolution particulière et sa valeur est relativement stable à 0.98 mg/L.

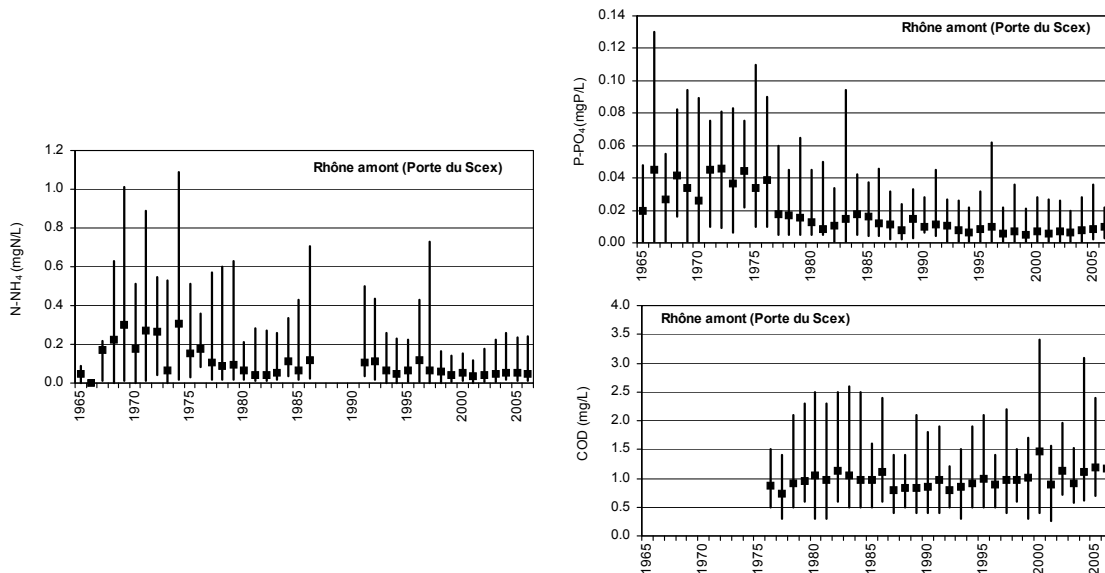


Figure 19 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne annuelles du phosphore dissous ( $P-PO_4$ ), de l'azote ammoniacal ( $N-NH_4$ ) et du carbone organique dissous (COD) - Rhône amont (Porte du Scex).

Figure 19 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus ( $P-PO_4$ ), ammoniacal nitrogen ( $N-NH_4$ ) and dissolved organic carbon (DOC) - upstream segment of the Rhône (Porte du Scex).

### 4.2 Dranse (figure 20)

Pour le phosphore dissous, depuis 2003, on a une évolution à la hausse de sa valeur moyenne. Il en est de même pour ses valeurs maximales. La concentration moyenne d'azote ammoniacal est stable à 0.047 mgN/L. Le maximum a été 22 fois supérieur à 0.2 mgN/L en 41 ans.

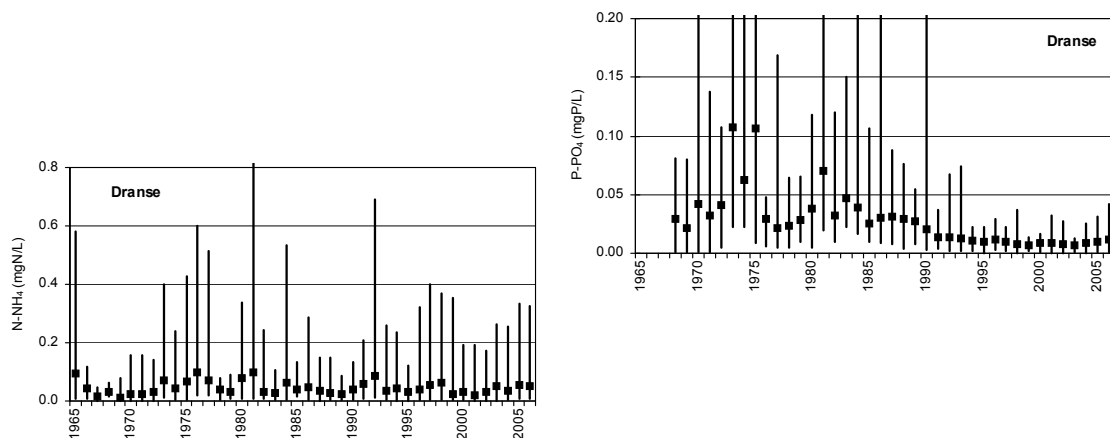


Figure 20 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous ( $P-PO_4$ ) et de l'azote ammoniacal ( $N-NH_4$ ) - Dranse.

Figure 20 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus ( $P-PO_4$ ) and ammoniacal nitrogen ( $N-NH_4$ ) - Dranse.

### 4.3 Venoge (figure 21)

Pour le phosphore dissous, depuis 1990, la valeur moyenne est de l'ordre de 0.033 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, cela fait 2 ans que le maximum dépasse 0.77 mgN/L. Les maxima de COD montrent une tendance à la baisse. La valeur de la normale (1977-2006) est de 4.8 mg/L.

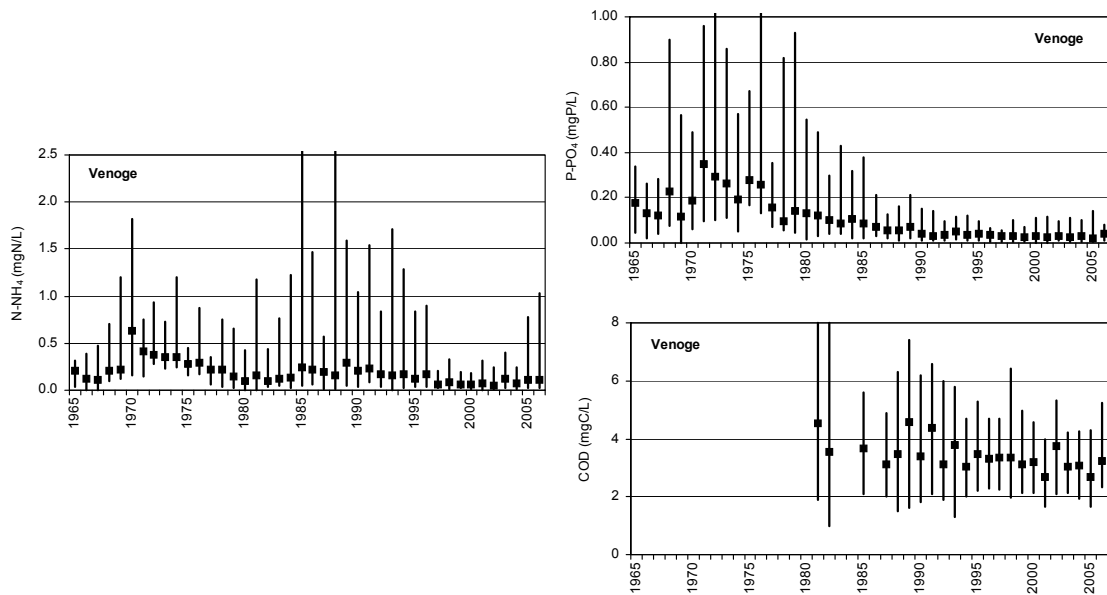


Figure 21 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>), de l'azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>) et du carbone organique dissous (COD) - Venoge.

Figure 21 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>), ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>4</sub>) and dissolved organic carbon (DOC) - Venoge.

### 4.4 Aubonne (figure 22)

Le phosphore dissous est en très nette baisse dès les années 80. Depuis 1985, la valeur moyenne est stable, avec environ 0.017 mgP/L. L'azote ammoniacal moyen est depuis 1965 de 0.05 mgN/L. Le COD montre une évolution similaire à la Venoge.

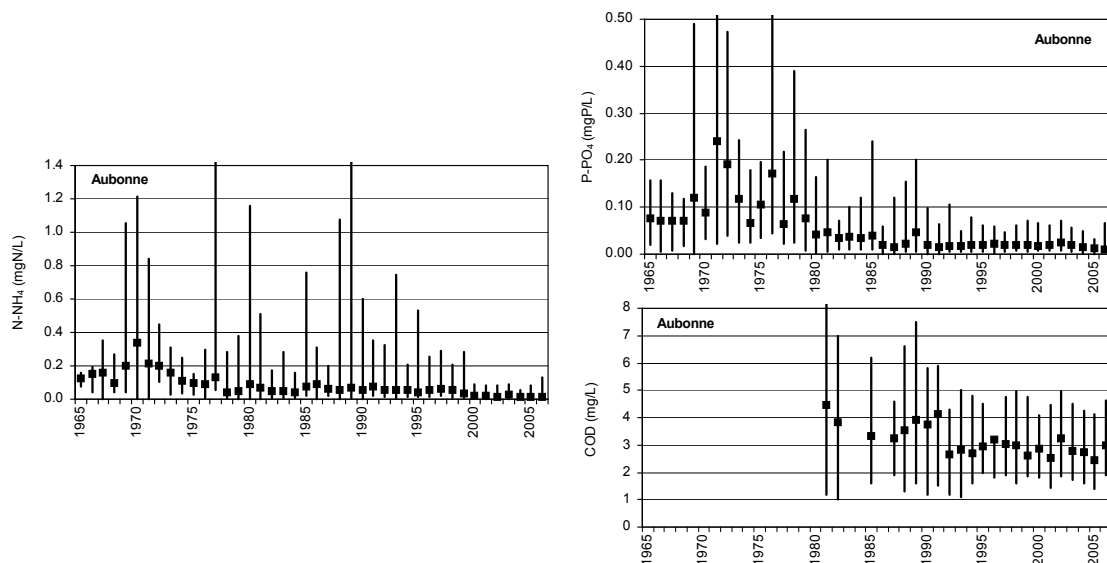


Figure 22 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>), de l'azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>) et du carbone organique dissous (COD) - Aubonne.

Figure 22 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>), ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>4</sub>) and dissolved organic carbon (DOC) - Aubonne.



#### 4.5 Versoix (figure 23)

Le phosphore dissous montre une tendance à la baisse dès 1993. Depuis 2003, la valeur moyenne est de l'ordre de 0.017 mgP/L. Avant 1993, les valeurs maximales dépassaient fréquemment 0.200 mgP/L. Pour l'azote ammoniacal, il n'y a pas d'évolution notable. Pour le COD, depuis 1986, cela fait 10 fois que la moyenne est supérieure à 2 mg/L et 11 fois que la valeur maximum est supérieure à 3 mg/L.

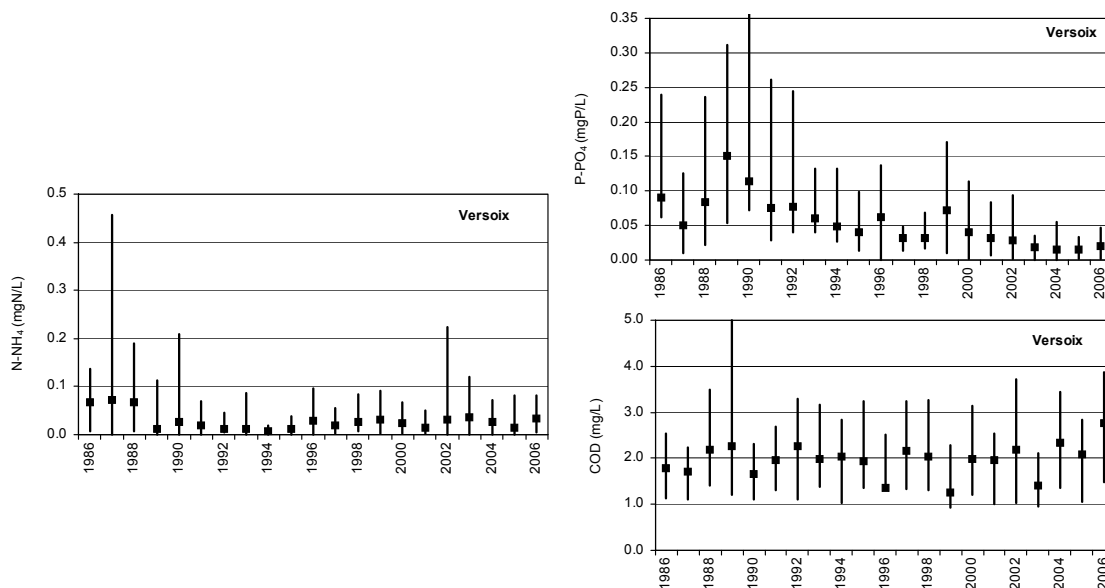


Figure 23 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>), de l'azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>) et du carbone organique dissous (COD) - Versoix.

Figure 23 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>), ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>4</sub>) 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 73 m<sup>3</sup>/s) et l'Allondon (débit moyen 3.5 m<sup>3</sup>/s). Les débits du Rhône émissaire et de l'Arve constituent 93 % 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 2006, elle atteint 470 tonnes. Pour l'Arve, il n'y a pas d'évolution très nette. La valeur moyenne est stable avec environ 205 tonnes de P/an, sauf un pic en 1999. Pour l'Allondon, il est noté une relation avec le débit de 3.8 tonnes P/an / m<sup>3</sup>/s, avec un R<sup>2</sup> de 0.65.

##### ► **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 178 tonnes en 2006. Pour l'Arve, les apports sont relativement stables avec une moyenne de 131 tonnes. La valeur moyenne pour l'Allondon est de 10.9 tonnes; avec comme pour le phosphore total une relation avec le débit de 1.89 tonne P-PO<sub>4</sub>/an / m<sup>3</sup>/s avec un R<sup>2</sup> de 0.61. C'est le seul affluent qui a un rapport P-PO<sub>4</sub> / P total aussi élevé (0.72).

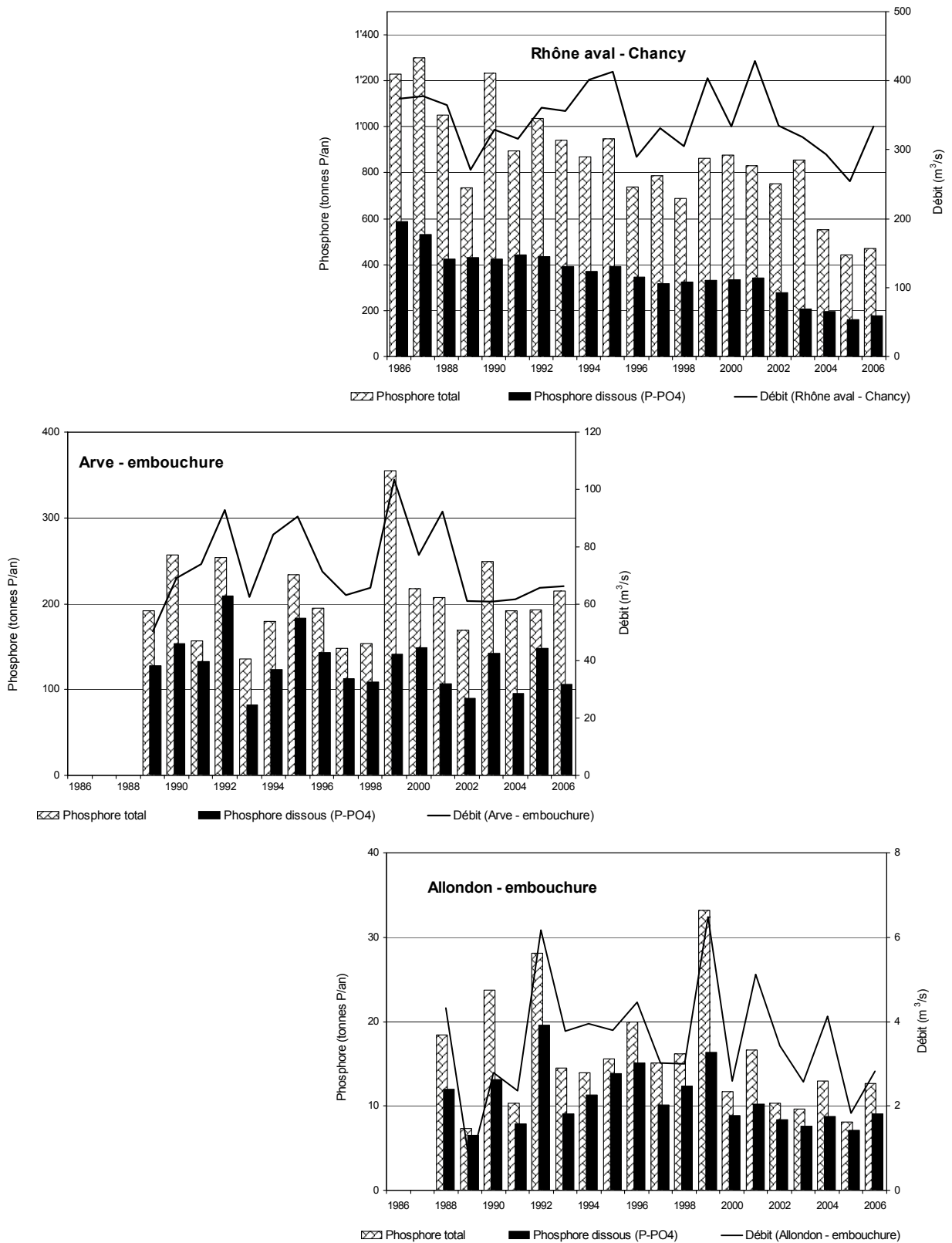


Figure 24 : Phosphore total et phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>) - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

Figure 24 : Total phosphorus and dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>) - Annual inflow from the Rhône (Chancy), the Arve and the Allondon.

5.2 Azote total ou minéral total (figure 25)

Le flux annuel moyen pour le Rhône aval à Chancy est de l'ordre des 10'630 tonnes. Pour l'Arve, le flux annuel moyen est de 1'880 tonnes. L'Allondon a une relation avec le débit de 52.7 tonnes N/an / m<sup>3</sup>/s, avec un R<sup>2</sup> de 0.74.

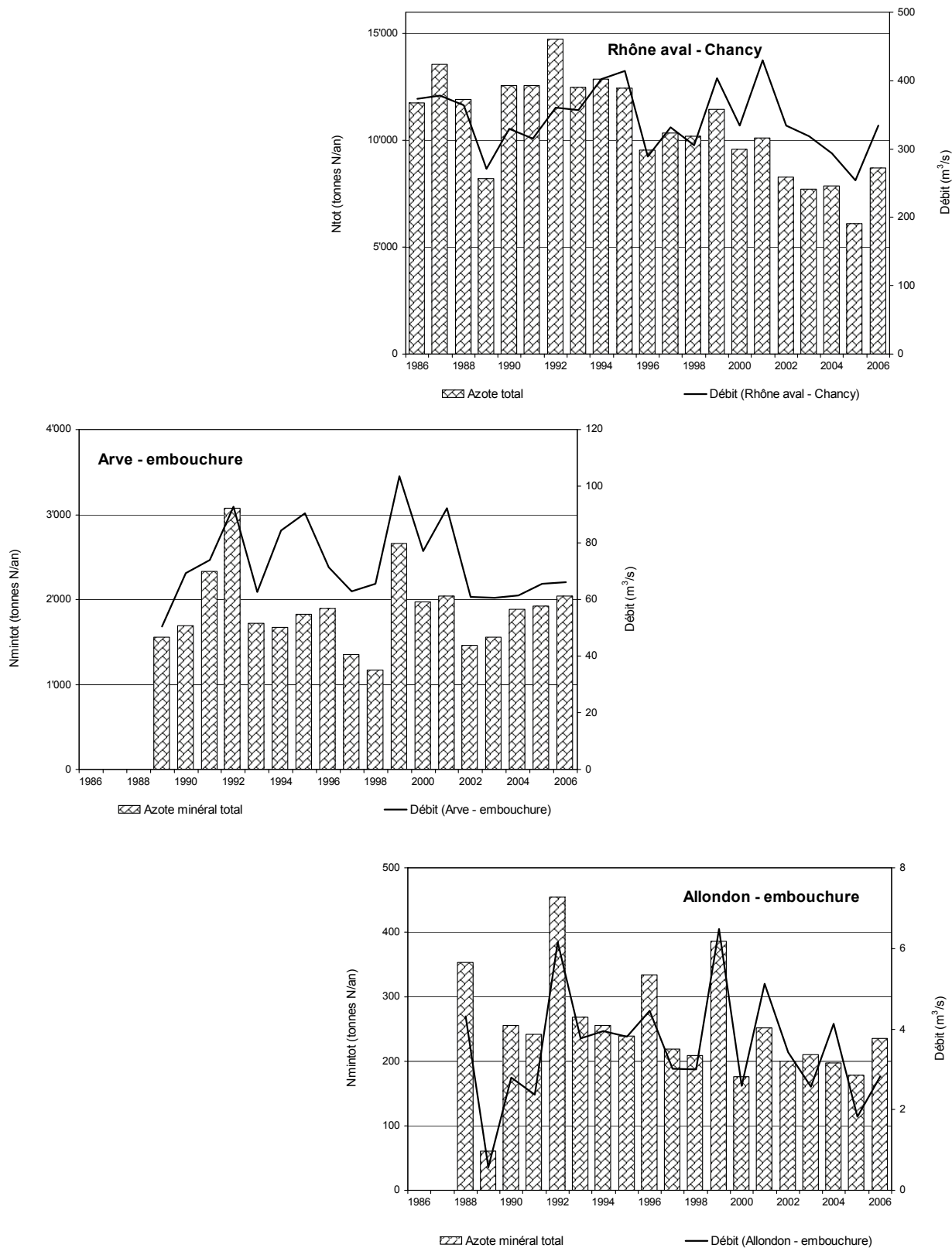


Figure 25 : Azote total ou azote minéral total - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.  
 Figure 25 : Total nitrogen or total inorganic nitrogen - Annual inflow from the Rhône (Chancy), the Arve and the Allondon.

### 5.3 Chlorure (figure 26)

C'est la troisième fois depuis le début des mesures (1986) que les apports en chlorure du Rhône aval à Chancy dépassent les 100'000 tonnes. Pour l'Arve, le flux annuel moyen est de 15'240 tonnes. Pour l'Allondon, il y a une évolution reliée au débit de 145 tonnes Cl<sup>-</sup>/an /m<sup>3</sup>/s avec un R<sup>2</sup> de 0.70.

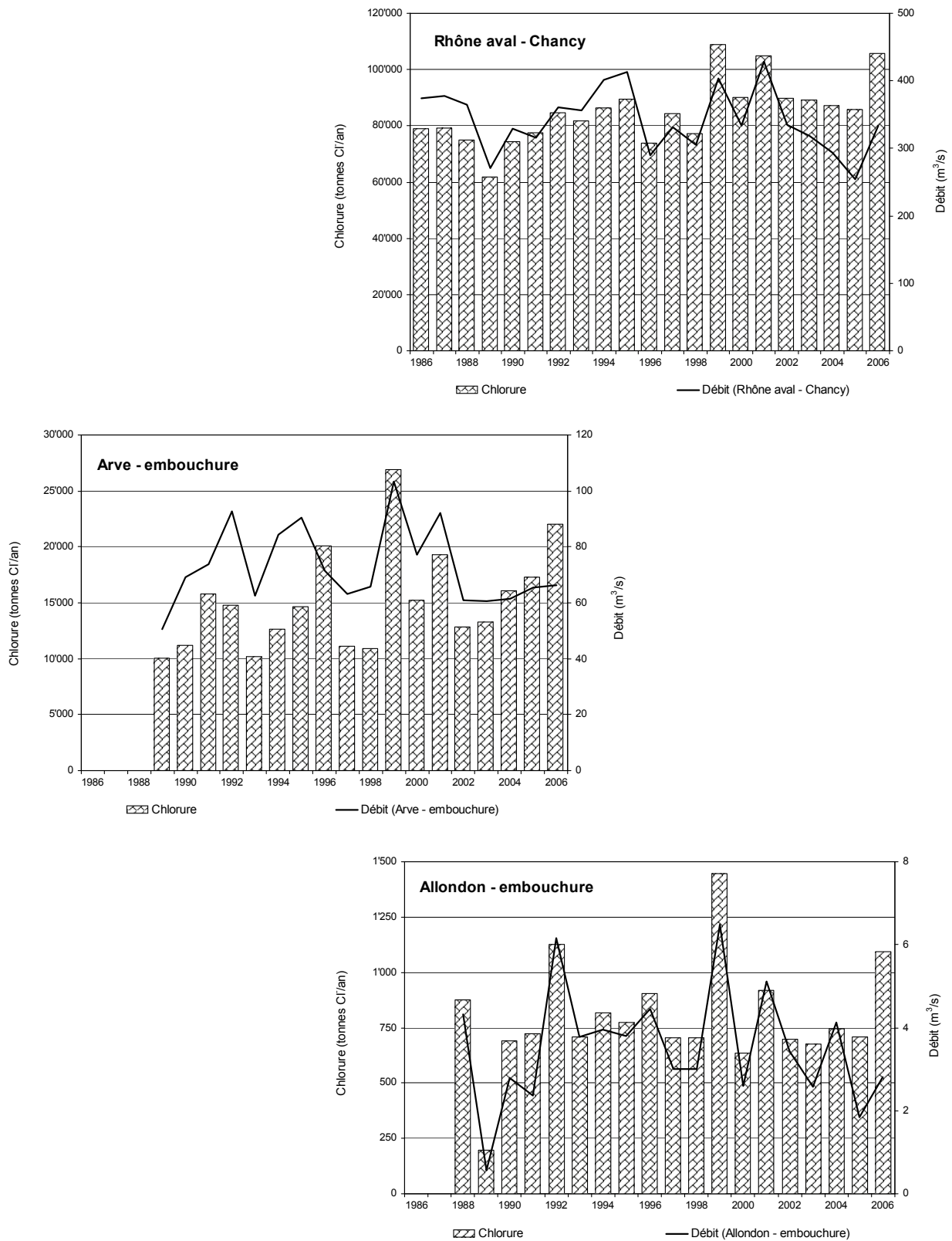


Figure 26 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

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 de 0,0014 mgP/L /an avec un R<sup>2</sup> de 0.84. Pour l'azote ammoniacal, les valeurs maximales sont en nette baisse depuis 2002. La concentration moyenne du COD est de 1.53 mgC/L.

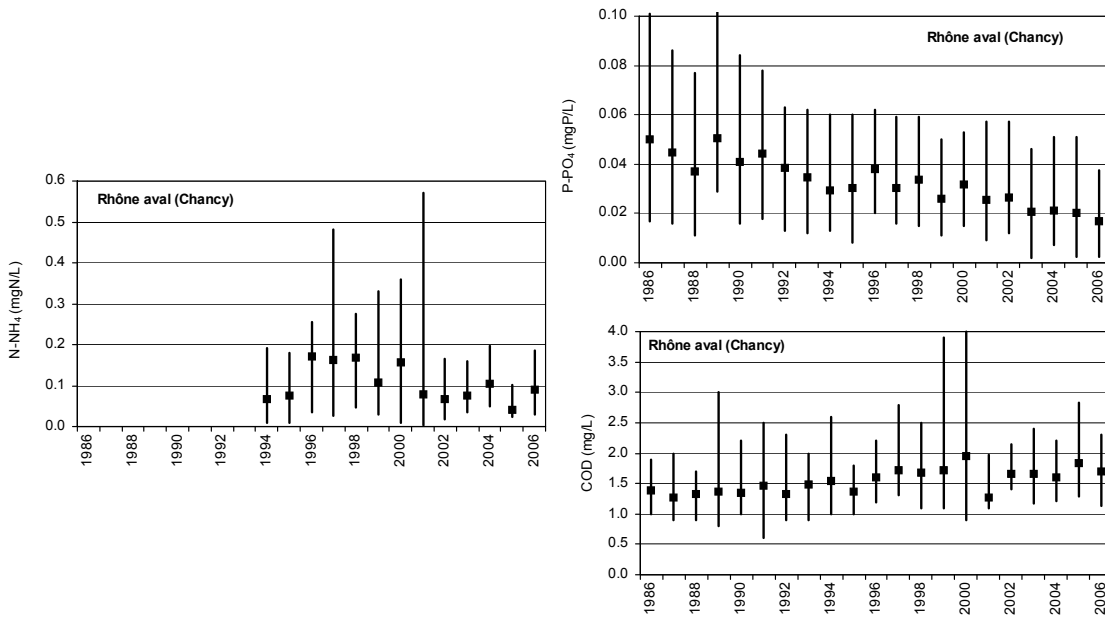


Figure 27 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne annuelles du phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>), de l'azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>) et du carbone organique dissous (COD) - Rhône aval (Chancy).

Figure 27 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>), ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>4</sub>) and dissolved organic carbon (DOC) - Rhône downstream (Chancy).

### 6.2 Arve (figure 28)

Pour les 3 paramètres, il y a une certaine stabilité dans le temps. La concentration moyenne en phosphore dissous est de 0.056 mgP/l. Pour l'azote ammoniacal, la moyenne est de 0.097 mgN/L. A part en 1994, tous les maximums sont supérieurs à 0.2 mgN/L. La moyenne du COD est de 1.17 mg/L.

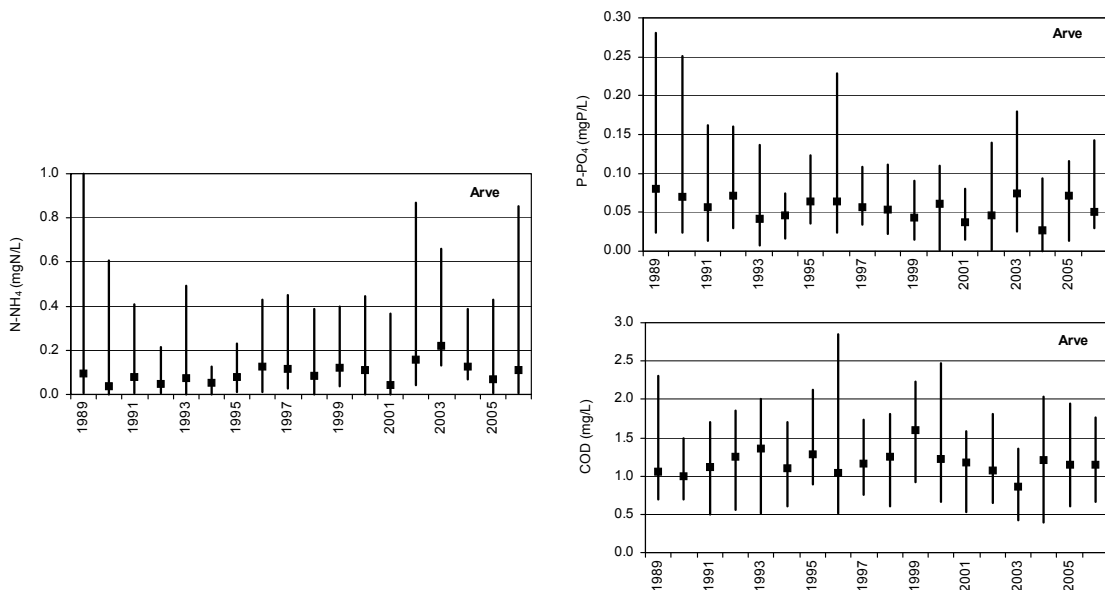


Figure 28 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne annuelles du phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>), de l'azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>) et du carbone organique dissous (COD) - Arve.

Figure 28 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>), ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>4</sub>) and dissolved organic carbon (DOC) - Arve.

### 6.3 Allondon (figure 29)

La valeur moyenne pour le phosphore dissous est de 0.114 mgP/L. Les valeurs maximales de l'azote ammoniacal dépassent fréquemment 0.400 mgN/L comme cette année. Le COD montre une stabilité de la concentration moyenne (valeur moyenne : 1.9 mg/L).

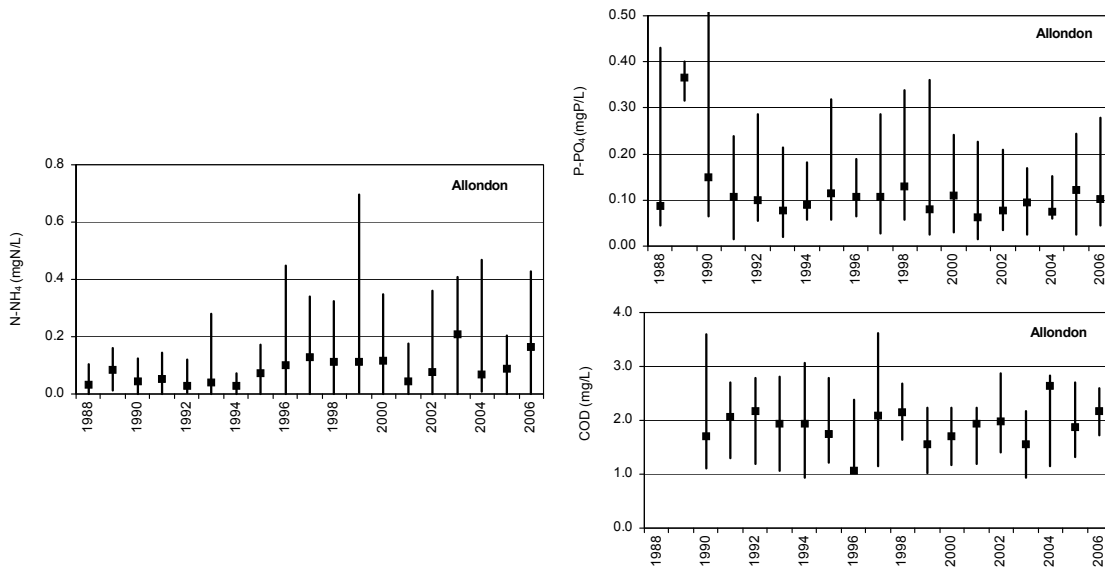


Figure 29 : Evolution des concentrations minimale, maximale et moyenne, annuelles du phosphore dissous (P-PO<sub>4</sub>), de l'azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>) et du carbone organique dissous (COD) - Allondon.

Figure 29 : Change in the minimum, maximum and mean annual concentrations of dissolved phosphorus (P-PO<sub>4</sub>), ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>4</sub>) and dissolved organic carbon (DOC) - Allondon.

## 7. CONCLUSIONS

Avec une lame d'eau précipitée de l'ordre de 1'069 mm sur le bassin versant proche du Léman, 2006 est une année à pluviométrie normale. 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 213 m<sup>3</sup>/s. Le débit moyen à la sortie du lac (émissaire à Genève) est de 230 m<sup>3</sup>/s.

En 2006, les apports en phosphore total au lac par les onze rivières suivies ont été de 1'405 tonnes. Le Rhône amont représente 95 % de ces apports. Il sort du lac 122 tonnes. Pour le phosphore dissous, les apports sont de 61.6 tonnes et 38.4 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.

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 2006 ont été de 66'100 tonnes. L'exportation par l'émissaire s'est élevée à 63'070 tonnes.

En ce qui concerne la qualité chimique des eaux (évolution des concentrations en P-PO<sub>4</sub>, N-NH<sub>4</sub> 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 (bassin versant sans obligation de déphosphatation dans les STEP) 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.

## BIBLIOGRAPHIE

QUETIN, P. (2007) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2006, 21-32.

STRAWCZYNSKI, A. (2007) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2006, 225-233.

Tableau 3 : Concentrations moyennes en 2006.

Table 3 : Mean concentrations in 2006.

Nom Rivière	Débit	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Nmintot	NtotBrut	P-PO <sub>4</sub>	ProtBrut	Ppartic	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	SiO <sub>2</sub>	DOC	TOC	MES
	(m <sup>3</sup> /sec)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgP/L)	(mgP/L)	(mgP/L)	(mg/L)	(mg/L)	(méq/L)	(méq/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
<b>Bassin versant Léman</b>																			
Concentrations moyennes																			
Rhône amont	171.7	0.046		0.549		0.625	0.010	0.240		9.92	51.74	2.01	0.44	6.31	1.51	2.91	1.17	2.39	171.0
Dranse	17.8	0.049	0.008	0.751	0.808	0.767	0.012	0.049	0.033	8.27	53.29	3.39	0.74	4.72	0.91	3.38	1.34		36.9
Aubonne	6.55	0.015	0.010	1.455	1.480		0.010	0.057	0.042	6.92	5.71	3.51	0.49	4.21	1.36	2.70	2.99		30.2
Venoge	4.83	0.110	0.030	3.782	3.922		0.039	0.203	0.156	17.63	19.17	4.12	0.62	9.03	2.90	4.22	3.25		130.2
Versoix	2.75	0.033	0.018	1.257	1.308	1.478	0.021	0.049		11.92	7.78	3.44	0.48	6.41	0.87	3.15			
Veveyse	2.31	0.043	0.005	0.965	1.012		0.003	0.167		12.38	14.28	3.31	0.56	8.49	1.92	4.20	2.74		183.9
Promenthouse	1.91	0.041	0.005	2.258	2.304		0.011	0.082		8.99	6.70	3.98	0.59	4.87	1.79	3.85	2.44		71.4
Chamberonne	1.00	0.084	0.028	3.031	3.143		0.047	0.253		21.08	37.04	3.91	0.71	12.62	3.32	5.61	2.81		220.1
Eau Froide	0.70	0.042	0.011	4.086	4.139		0.008	0.040		5.53	26.34	3.14	0.50	8.41	2.43	3.78	2.61		35.7
Morges	0.50	0.074	0.027	5.932	6.034		0.042	0.193		20.34	30.16	4.91	0.95	9.91	4.15	8.24	3.67		123.1
Dullive	0.19	0.027	0.014	3.076	3.116		0.026	0.106		12.45	21.90	4.60	0.93	7.77	3.05	7.28	3.06		32.3
<b>Bassin versant du Rhône aval</b>																			
Rhône émissaire	229.9	0.021	0.012	0.432	0.465	0.656	0.005	0.017		8.70	46.13	2.07	0.49	5.91	1.33	0.96			
Arve	66.2	0.113	0.072	0.791	0.975	1.068	0.051	0.103		10.56	46.02	2.72	0.48	6.62	1.13		1.14		
Couchefatte	2.82	0.164	0.036	2.448	2.648	3.033	0.102	0.143		12.30	9.44	3.87	0.49	6.99	1.15		2.17		
Allondon	0.03	0.064	0.038	10.480	10.582	12.808	0.037	0.117		21.27	54.57	6.69	0.88	8.15	2.56		2.63		
Rhône Chancy	333.6	0.089	0.022	0.712	0.823	0.745	0.045			10.04	45.09	2.34	0.51	6.14	1.58	1.63	1.70	2.16	24.6
La Laitre	0.35	0.043	0.034	4.535	4.612	5.348	0.147			29.82	31.80	4.54	0.79	16.44	2.44		3.55		



Tableau 4 : Flux en 2006.  
Table 4 : Flow in 2006.

Nom Rivière	Débit	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Nmintot	NtotBrut	P-PO <sub>4</sub>	PlotBrut	Ppartic	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	SiO <sub>2</sub>	DOC	TOC	MES	
	(m <sup>3</sup> /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)	(t/an)
<b>Bassin versant Léman</b>																				
Rhône amont	171.7	249.9		2'973		3'383	41.6	1'301		53'694	280'165	2'18'214	29'263	34'179	8'155	15'747	6'357	12'923	925'782	
Dranse	17.8	27.66	4.30	421	453	430	6.8	27.3	18.59	4'632	29'862	38'113	5'051	2'646	512	1'892	753		20'651	
Aubonne	6.55	3.07	2.02	301	306		2.1	11.7	8.63	1'429	1'180	14'539	1'240	870	280	558	617		6'246	
Venoge	4.83	16.69	4.60	576	597		5.9	31.0	23.69	2'685	2'919	12'581	1'149	1'375	442	643	495		19'826	
Versoix	2.75	2.88	1.56	109	113	128	1.8	4.3		1'034	675	5'979	505	555	76	273				
Veveyse	2.31	3.14	0.35	70	74		0.2	12.2		903	1'042	4'835	496	620	140	307	200		13'422	
Promenthouse	1.91	2.48	0.33	136	139		0.7	4.9		541	403	4'795	432	293	108	232	147		4'298	
Chamberonne	1.00	2.63	0.89	95	99		1.5	7.9		662	1'164	2'460	269	396	104	176	88		6'914	
Eau Froide	0.70	0.93	0.23	90	91		0.2	0.9		121	578	1'380	133	185	53	83	57		784	
Morges	0.50	1.17	0.43	94	95		0.7	3.0		321	476	1'553	182	156	65	130	58		1'943	
Dullive	0.19	0.16	0.08	18	18		0.2	0.6		73	129	543	67	46	18	43	18		190	
Total BV Léman	210.2	310.7		4'882			61.6	1'405		66'096	318'594	304'992	38'787	41'321	9'954	20'086	8'790			
<b>Bassin versant du Rhône aval</b>																				
Rhône émissaire	229.9	152.3	84.3	3'135	3'371	4'755	38.4	122		63'070	334'418	300'204	42'752	42'842	9'630	6'980				
Arve	66.2	234.9	150.2	1'651	2'036	2'231	105.8	215		22'049	96'078	113'778	12'146	13'818	2'369		2'381			
Allondon	2.8	14.6	3.21	217	235	269	9.0	12.7		1'093	839	6'895	532	621	102		193			
Couchefatte	0.03	0.06	0.04	10	10	13	0.0	0.1		21	53	131	10	8	3		3			
Rhône Chancy	333.6	986.5	246.1	7'490	8'723	7'842	177.8	471		105'608	474'283	492'691	65'826	64'603	16'568	17'153	17'923	22'773	258'584	
La Laitte	0.35	0.48	0.38	50.6	51	59.7	0.76	1.65		333	355	1'016	109	184	27		40			

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 2006-2010  
**CAMPAGNE 2006**

*Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.,  
Campagne 2006, 2007*

**Editeur :**

Commission internationale pour la protection  
des eaux du Léman contre la pollution

ACW - Changins - Bâtiment DC  
50, route de Duillier  
Case postale 1080  
CH - 1260 NYON 1

Tél. : CH - 022 / 363 46 69  
FR - 00 41 22 / 363 46 69

Fax : CH - 022 / 363 46 70  
FR - 00 41 22 / 363 46 70

E-mail : [cipel@cipel.org](mailto:cipel@cipel.org)

Site web : <http://www.cipel.org>

La reproduction partielle de rapports et d'illustrations publiés dans les  
"*Rapports de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution*"  
est autorisée à la condition d'en mentionner la source.  
La reproduction intégrale de rapports doit faire l'objet d'un accord avec l'éditeur.