

LES APPORTS PAR LES AFFLUENTS AU LÉMAN ET AU RHÔNE À L'AVAL DE GENÈVE ET LEUR QUALITÉ

ASSESSMENT OF THE INPUT FROM THE TRIBUTARIES INTO THE LAKE GENEVA AND INTO THE RHÔNE DOWNSTREAM OF GENEVA

Campagne 2009

PAR

François RAPIN et Audrey KLEIN

SECRETARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN
ACW - Changins - Bâtiment DC, Case postale 1080, CH - 1260 NYON

RÉSUMÉ

Apports au lac et au Rhône aval : La CIPEL suit depuis de nombreuses années l'évolution temporelle des apports en nutriments au lac de 4 principaux affluents (le Rhône amont, la Dranse, l'Aubonne et la Venoge), ainsi que celle d'une dizaine d'affluents secondaires, les exportations du lac à Genève, du Rhône aval à Chancy et les apports de ses affluents (l'Arve et l'Allondon). Ce suivi permet d'estimer l'évolution des flux en nutriments apportés au lac, ce qui participe à la compréhension de l'évolution des concentrations dans le lac.

Les quantités de nutriments apportés au Léman et exportés par le Rhône à la sortie du territoire suisse en 2009 ont été calculées.

Suivi de la qualité des eaux des rivières : La qualité de l'eau des affluents est suivie pour 4 principaux paramètres de pollution (P-PO₄, N-NH₄, N-NO₃, COD) et montre qu'aucune rivière ne présente une mauvaise qualité et toutes sont de bonne, voire très bonne qualité, sauf la Venoge pour le nitrate, l'Allondon et l'Arve pour le phosphate.

Il est mis en évidence, pour le phosphore réactif soluble, l'effet de la déphosphatation dans les STEP, pour l'azote minéral total, l'absence de la dénitrification et le maintien d'une fertilisation azotée au même niveau pendant près de 20 ans, et pour le chlorure, l'impact des apports industriels, du salage des routes qui augmente et des échangeurs d'ions des lave-vaisselle.

ABSTRACT

Inputs into the Lake and downstream Rhône : For many years, CIPEL has been monitoring the change over time of nutrient inputs into the Lake from the 4 main tributaries (the upstream Rhône, the Dranse, the Aubonne and the Venoge), and from a dozen or so secondary tributaries, the discharges from the Lake in Geneva, from the downstream Rhône at Chancy and the inputs from its tributaries (the Arve and the Allondon). This monitoring has made it possible to estimate the change in the input of nutrients into the Lake, which helps us to understand the changes in concentrations in the Lake.

The quantities of nutrients carried into Lake Geneva and exported by the Rhône where it emerges from Swiss territory have been calculated for 2009.

Monitoring of the quality of the water of the rivers : The quality of the water in the tributaries was monitored with regard to the 4 main pollution parameters (P-PO₄, N-NH₄, N-NO₃, DOC), and showed that no river displayed poor water quality, and that they all had good or even very good quality data, apart from the Venoge for nitrate, and the Allondon and Arve for phosphate

In the case of soluble reactive phosphorus, the effect of dephosphatation in the WWTPs was demonstrated, in that of total inorganic nitrogen, the lack of denitrification and the persistence of nitrogenous fertilisation at the same level for nearly 20 years, and in that of chlorides, the impact of industrial inputs, and of road salting, which had increased, and of ion exchangers from dishwashers.

1. GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODES

En 2009, les débits et les concentrations ont été mesurés sur les quatre affluents principaux du Léman, le Rhône amont à la Porte du Scex, l'Aubonne et la Venoge près de l'embouchure et la Dranse. Plusieurs affluents secondaires, tous situés sur la côte suisse, ont également été suivis : la Versoix, le Canal Stockalper, la Veveyse, la Promenthouse, la Chamberonne, l'Eau Froide, la Morges, le Brassu, la Dullive, le Nant de Pry, le Vengeron et le Nant de Braille (situation des rivières - figure 1). Les exportations du lac sont déterminées sur le Rhône émissaire à Genève.

Pour ces rivières, les prélèvements sont effectués, soit en continu (les analyses réalisées sur des échantillons proportionnels au débit ou au temps prélevés sur 2 semaines, 1 semaine ou une fois 24 heures par mois), soit de manière ponctuelle 12 fois par an (Tableau 1).

Pour la Dranse, les prélèvements d'eau sont effectués au pont de Vongy, en amont de la STEP de Thonon et de la zone industrielle de Vongy. Depuis l'arrêt des mesures au pont de Bioge à fin 2002, les débits de la Dranse sont mesurés au pont de Couvaloup à Seytroux, en amont du pont de Bioge. Un facteur correctif est appliqué à partir d'une corrélation établie entre les 2 points de mesure à partir de 10'454 données journalières entre 1979 et 2002. Le coefficient de corrélation entre ces deux points est de 0.94. Toutefois, il faut relever qu'une mesure des débits plus à l'aval serait nécessaire.

Pour le bassin versant du Rhône en aval du lac, les analyses concernent le Rhône émissaire, le Rhône à Chancy dans le cadre du programme NADUF (programme de surveillance nationale des cours d'eau suisses), l'Arve et l'Allondon. Pour ces deux dernières rivières, les prélèvements sont effectués une fois par mois de façon ponctuelle.

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, 2010).

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, de la Versoix, du Rhône émissaire et d'un choix de trois affluents complémentaires parmi les affluents secondaires. Toutes les autres rivières sont suivies dans le cadre de programmes cantonaux ou de programmes propres aux laboratoires et sont valorisées dans ce rapport.

Le présent rapport est basé sur l'évolution temporelle des apports en nutriments par les affluents et de la qualité des eaux de ceux-ci. Il est rédigé en deux parties :

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

Dans la seconde partie, nous analyserons la qualité chimique des eaux de ces rivières pour des paramètres liés aux nutriments, comme le phosphore, l'azote et la matière organique (phosphore réactif soluble, azote : ammonium et nitrate, et carbone organique dissous). Dans cette partie, nous avons attribué des classes de qualité aux différentes rivières pour chacun de ces différents paramètres, suivant une grille physico-chimique élaborée par la CIPEL et commune aux différentes entités qui la composent. Les seuils de qualité de cette grille découlent d'une homogénéisation des méthodes suisse (Système modulaire gradué et diagnostic environnemental du Valais) et française (SEQ-Eau). Les résultats sont représentés par des box-plot comprenant les valeurs des médianes annuelles pondérées par le débit et les percentiles 25 % et 75 %, ainsi que les extrêmes, les percentiles 10 % et 90 %.

Paramètres/ Classification	COD (mg/L)	N-NH ₄ (mg N-NH ₄ /L)	P-PO ₄ (mg P-PO ₄ /L)	N-NO ₃ (mg N-NO ₃ /L)
Très bonne	<= 3	<= 0.1	<= 0.025	<= 1
Bonne	3 - 5	0.1 - 0.4	0.025 – 0.05	1 – 3
Moyenne	5 - 8	0.4 - 1	0.05 – 0.250	3 – 6
Mauvaise	> 8	> 1	> 0.250	> 6

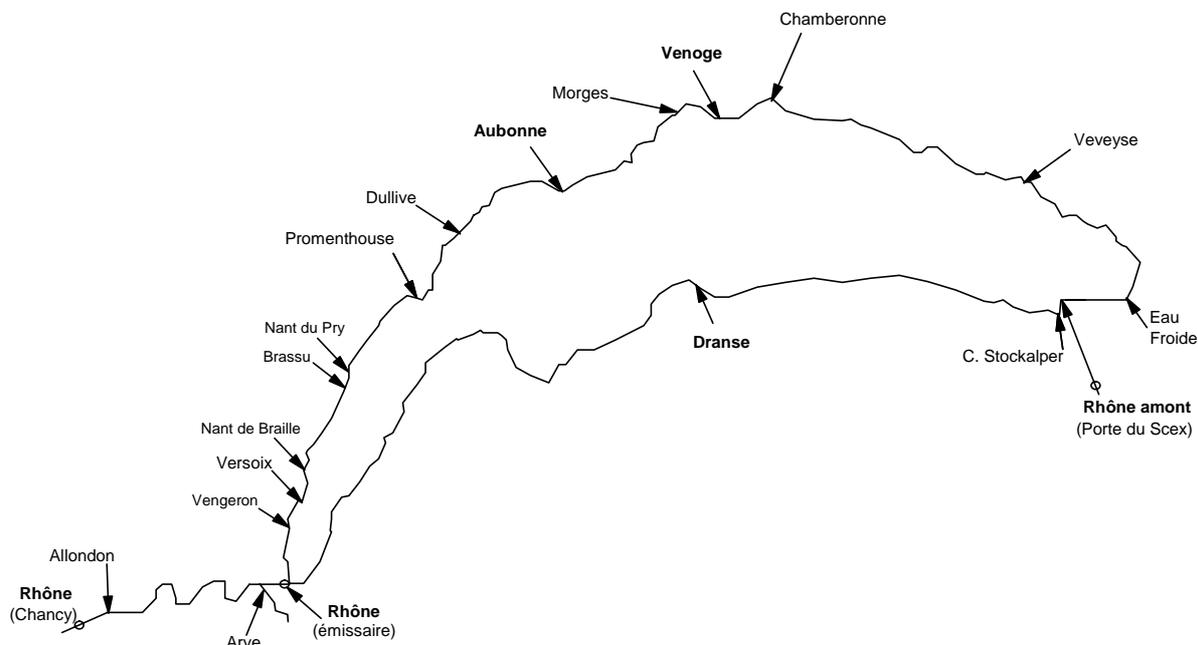


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées.

Figure 1 : Locations 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 ou 2 semaines	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			
Stockalper			x	
Veveyse		x		
Promenthouse		x		
Chamberonne		x		
Eau Froide			x	
Morges		x		
Brassu				x
Dullive			x	
Nant de Pry				x
Vengeron				x
Nant de Braille				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 annuels et des concentrations moyennes annuelles pondérées sont effectués de la façon suivante :

$$F_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{n} \qquad C_{\text{moy}} = \frac{F_{\text{moy}}}{Q_{\text{moy}}}$$

avec F_{moy} = flux moyen ($\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$)
 C_i = concentration dans l'échantillon prélevé ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
 Q_i = débit moyen de la période correspondante ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
 n = nombre d'échantillons
 Q_{moy} = débit moyen annuel

2. DÉBITS DES AFFLUENTS PRINCIPAUX DU LÉMAN ET DE L'ÉMISSAIRE (Tableau 2 et figure 2)

L'année 2009 est une année à pluviométrie faible avec une lame d'eau précipitée au niveau des inter-stations du Léman de l'ordre de 850 mm, la moyenne de ces trente dernières années étant de 1'022 mm (QUETIN, 2010). Les débits moyens annuels 2009 sont donc nettement à la baisse (Tableau 2).

La figure 2 représente les débits moyens annuels des principaux affluents du Léman et du Rhône émissaire ainsi que la pluviométrie moyenne annuelle à Thonon depuis 1980. Les débits sont influencés par la pluviométrie et le Rhône amont représente près de 75 % des apports au Léman avec un volume d'eau fortement lié à la fonte des neiges.

Tableau 2 : Débits des affluents et de l'émissaire à Genève ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$).

Table 2 : Flow rates of the tributaries and of the effluent river in Geneva ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$).

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
2007	187.0	19.8	6.1	4.0	13.5	267.1
2008	179.0	15.5	5.3	3.9	12.4	244.9
2009	187.5	14.5	3.5	3.0	7.3	235.4
Moyenne *	184.2	20.6	5.4	4.7	11.8	244.7

* : moyenne 1965-2009 (sauf pour les rivières complémentaires 1989-2009)

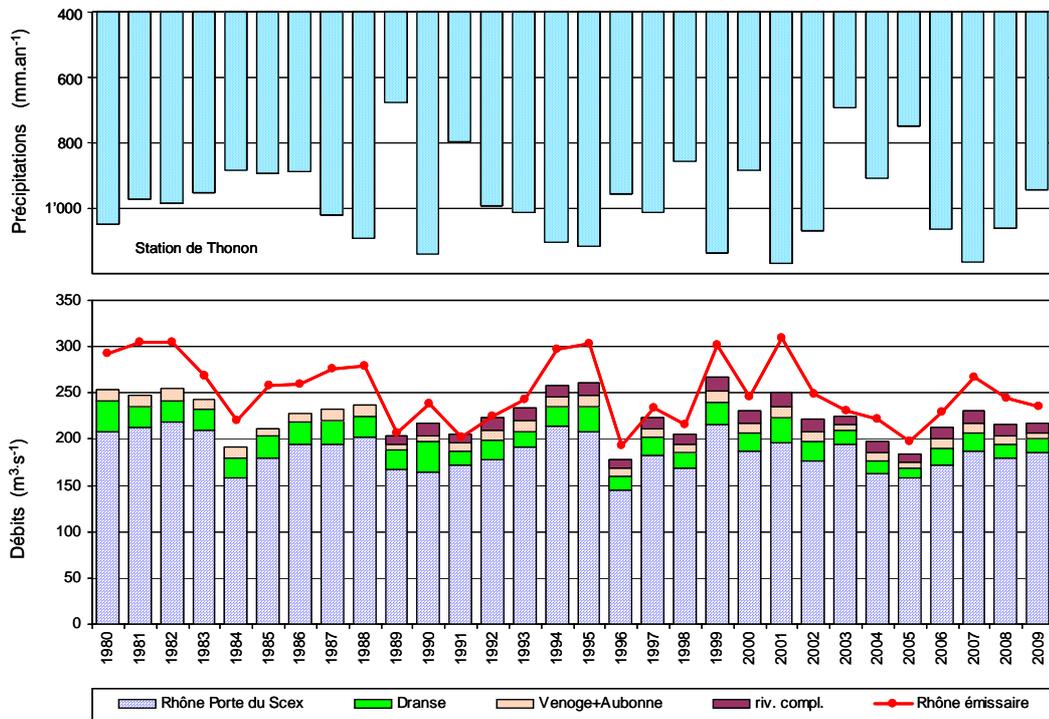


Figure 2 : Débits moyens annuels des diverses rivières et précipitations annuelles à la station de Thonon.
 Figure 2 : Mean annual flow rates of the various rivers, and annual rainfall at the Thonon station.

3. APPORTS ANNUELS DES AFFLUENTS DU LÉMAN

3.1 Phosphore (Tableau 4 et figures 3 à 6)

Le phosphore apporté par les affluents peut être subdivisé en :

- fraction dissoute :
 phosphore réactif soluble (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 les formes dissoutes de phosphore ou se transformant en formes dissoutes.

La fraction dissoute est donc la plus importante au plan biologique : le phosphore réactif soluble (P-PO₄) est directement biodisponible, de même que certains composés phosphorés provenant d'eaux usées. Sous certaines conditions (faible teneur en phosphore réactif soluble), les algues peuvent métaboliser la forme organique dissoute du phosphore. En faisant abstraction du phénomène secondaire de fixation sur les particules qui sédimentent, la majeure partie du phosphore réactif soluble apporté par les affluents est potentiellement à disposition des algues.

► **Phosphore total (dissous + particulaire)**

La figure 3 illustre la relation entre les quantités de phosphore total et les débits des principaux affluents du Léman et du Rhône émissaire.

En 2009, les apports en phosphore total au lac par les rivières sont constitués par environ 91 % de phosphore particulaire et 9 % de phosphore réactif soluble (Tableaux 3 et 4). Ils sont principalement influencés par l'érosion des sols et donc par la pluviométrie. A noter que c'est notamment l'intensité des événements pluvieux qui agit sur le transport des particules et les valeurs moyennes annuelles peuvent masquer cette relation.

Les graphiques de la figure 5 montrent que la relation apports en phosphore total / débits moyens est relativement bonne pour la Venoge et éventuellement l'Aubonne. Par contre pour la Dranse et surtout le Rhône amont, elle n'est pas évidente. Pour le Rhône amont, on relève une forte baisse des apports en phosphore total depuis 3 ans et pour l'instant, il n'y a pas d'explication. La Dranse présente aussi une nette baisse des apports en phosphore total depuis les années 90.

La figure 6 confirme un changement entre les années 80 et les années 90 jusqu'en 2007 au niveau des apports en phosphore par le Rhône amont, constitués principalement par du phosphore particulaire. Sur le graphique, la taille des années est fonction du rapport P-PO₄ / Ptot. Pendant les années 80, la proportion de P-PO₄ dans le Ptot représentait environ 12 %, alors que pour les années 1990 à 2007, cette proportion n'est en moyenne plus que de 4 %.

Cette évolution est liée à l'assainissement et la suppression du phosphate dans les lessives et à la baisse de la fertilisation phosphatée. Par contre, les années 2008 et 2009 se singularisent par des apports en phosphore total en nette baisse, cette baisse est due au phosphore particulaire.

Dans le lac se produit la sédimentation du phosphore particulaire, ce qui explique que dans l'émissaire, la proportion de phosphore réactif soluble est beaucoup plus grande (env. 50 %). Depuis le milieu des années 80, il suit la baisse des teneurs dans le lac grâce notamment à l'assainissement des eaux usées (figure 3).

► **Phosphore réactif soluble (P-PO₄)**

La figure 4 montre qu'il n'y a pas de relation entre les quantités de phosphore réactif soluble et les débits. La baisse des teneurs est liée à l'assainissement domestique et à la modification des pratiques agricoles qui sont les deux principales sources d'apports en phosphore réactif soluble.

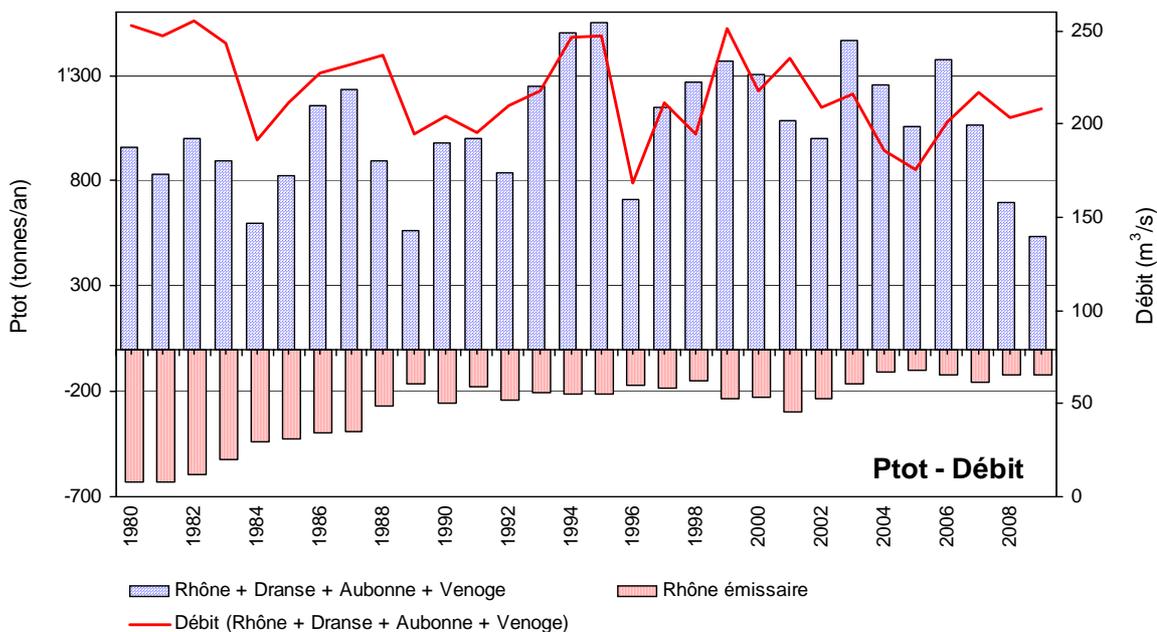


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les 4 affluents principaux et perte annuelle par l'émissaire.
 Figure 3 : Total phosphorus - Annual inflow from the 4 main tributaries, and annual loss via the effluent river.

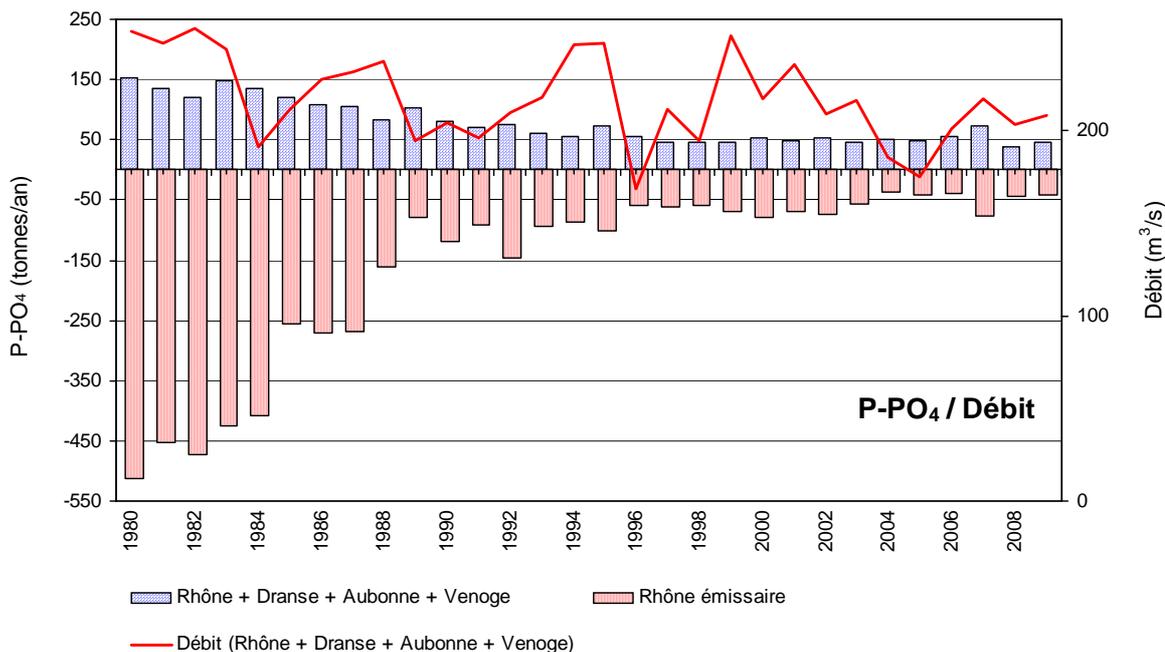


Figure 4 : Phosphore réactif soluble (P-PO₄) - Apports annuels par les 4 affluents principaux et perte annuelle par l'émissaire.
 Figure 4 : Soluble reactive phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the 4 main tributaries, and annual loss via the effluent river.

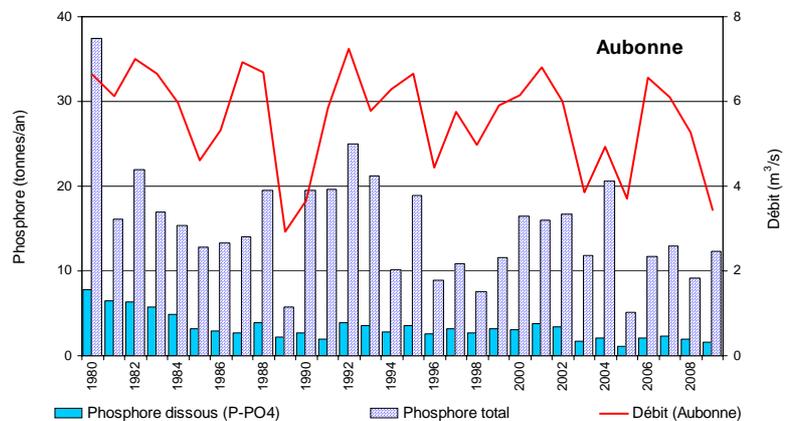
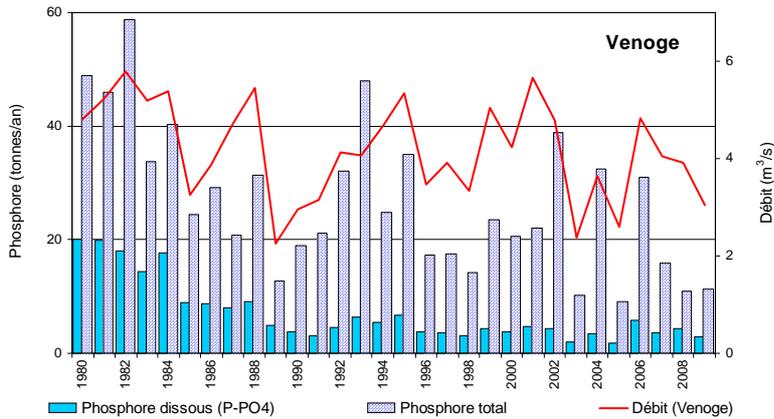
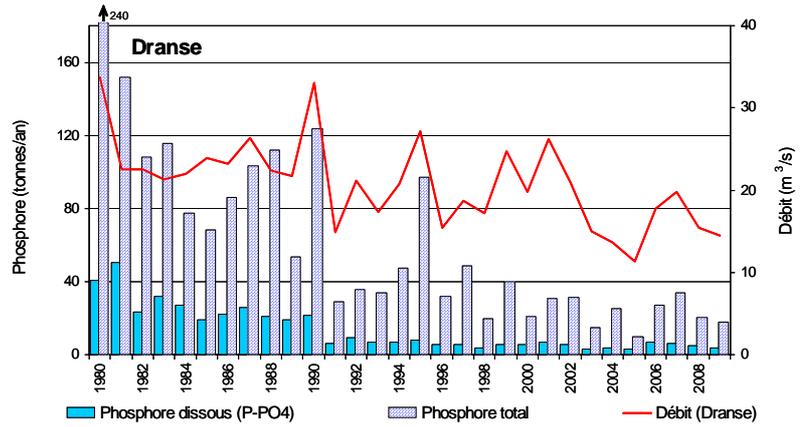
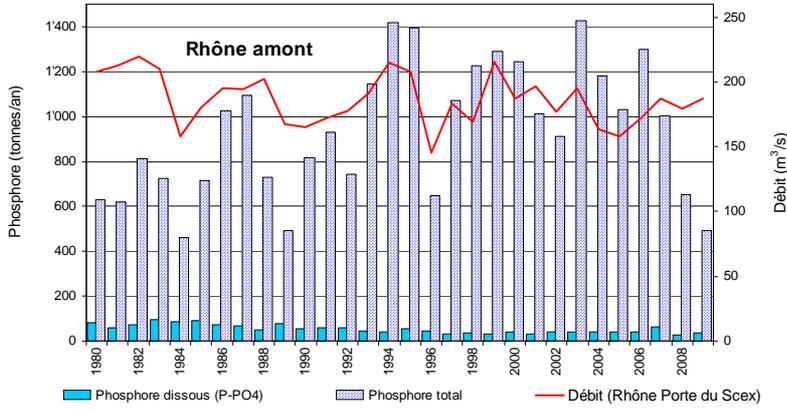


Figure 5 : Phosphore total et phosphore réactif soluble (P-PO₄) - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex), la Dranse, la Venoge et l'Aubonne.

Figure 5 : Total phosphorus and Soluble reactive phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the upstream segment of the Rhône (Porte du Scex), the Dranse, the Venoge and the Aubonne.

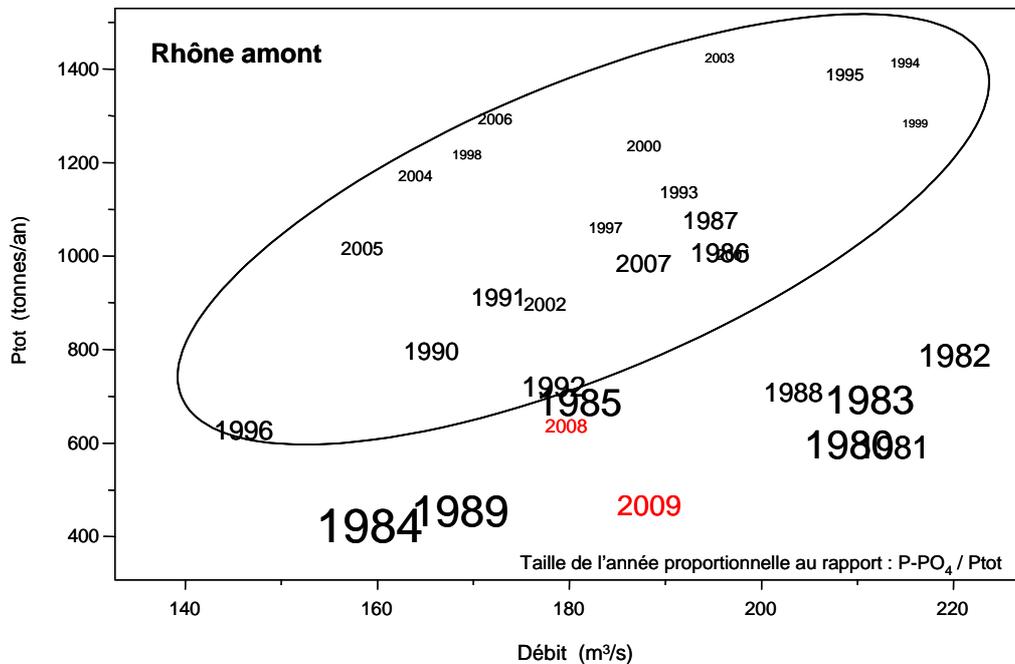


Figure 6 : Relation phosphore total / débit du Rhône amont à la Porte du Scex. La taille du chiffre de l'année est proportionnelle au rapport P-PO₄ / Ptot.

Figure 6 : Total phosphorus / mean annual flow rate ratio for the upstream section of the Rhone, at the Porte du Scex. The figure for the year is proportional to the P-PO₄/Ptot ratio.

3.2 Azote minéral total (figures 7 et 8)

Les apports en azote minéral total, ainsi que les quantités dans le Rhône émissaire sont relativement stables depuis les années 80 et fluctuent en fonction du débit. La relation apports/débits est bonne pour la Dranse, l'Aubonne et la Venoge un peu moins pour le Rhône amont. Cette stabilité semble liée, d'une part à l'absence de dénitrification dans la majorité des STEP du bassin du Léman et, d'autre part, à la fertilisation azotée des cultures qui n'a pas évolué depuis le milieu des années 90 et où les excédents d'azote n'en demeurent pas moins élevés (33 % des quantités entrantes) et qui peuvent polluer les eaux (Office fédéral de la statistique, OFS, 2007, figure p. 30).

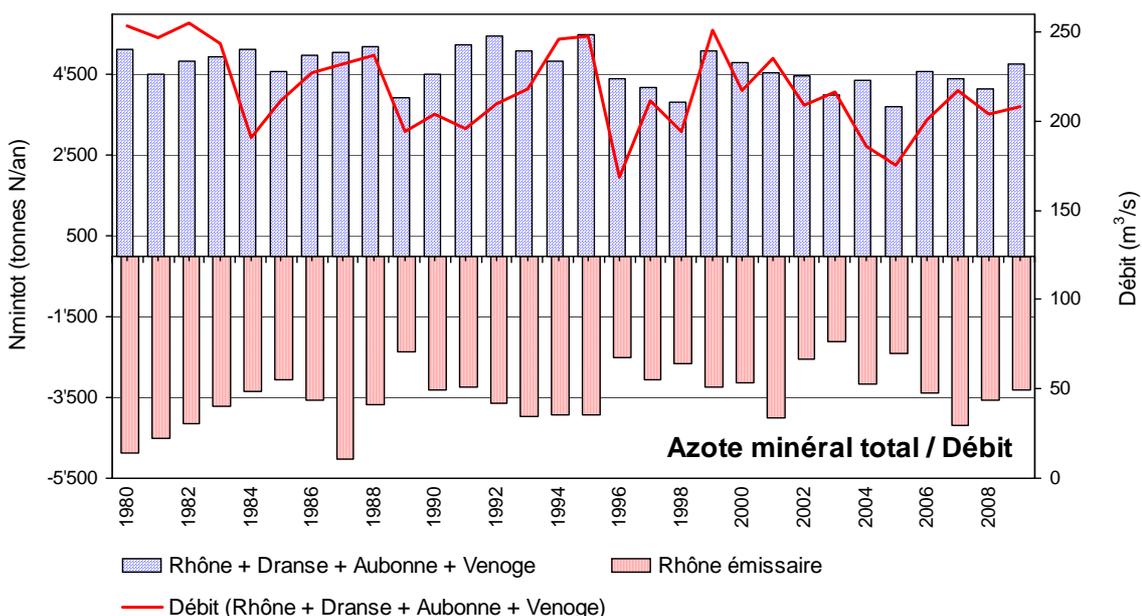


Figure 7 : Azote minéral total - Apports annuels par les 4 affluents principaux et perte annuelle par l'émissaire.
 Figure 7 : Total inorganic nitrogen - Annual inflow from the 4 main tributaries, and annual loss via the effluent river.

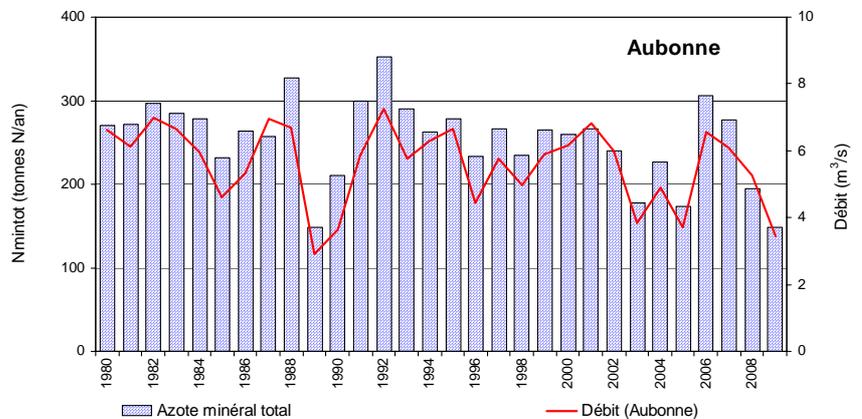
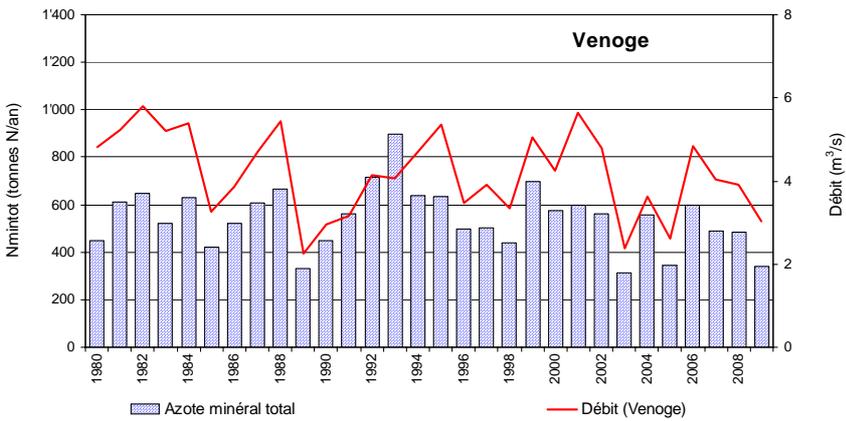
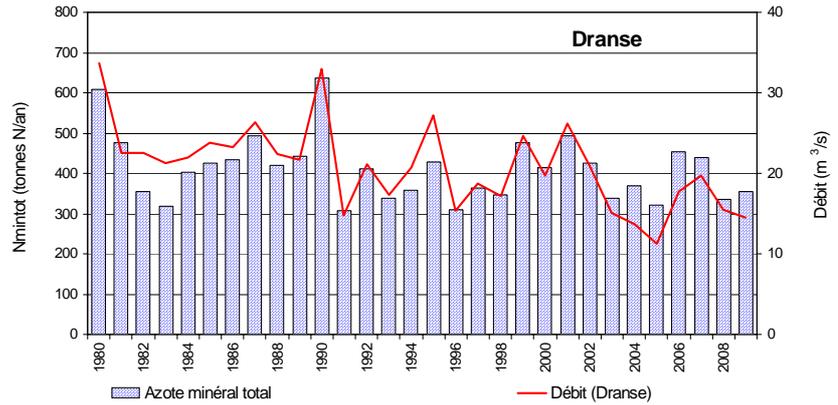
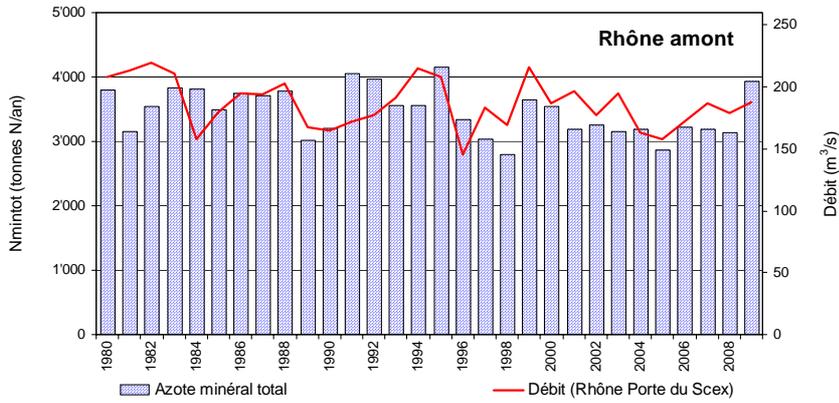


Figure 8 : Azote minéral total - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex), la Dranse, la Venoge et l'Aubonne.

Figure 8 : Total inorganic nitrogen - Annual inflow from the upstream segment of the Rhône (Porte du Scex), the Dranse, the Venoge and the Aubonne.

3.3 Chlorure (figures 9 et 10)

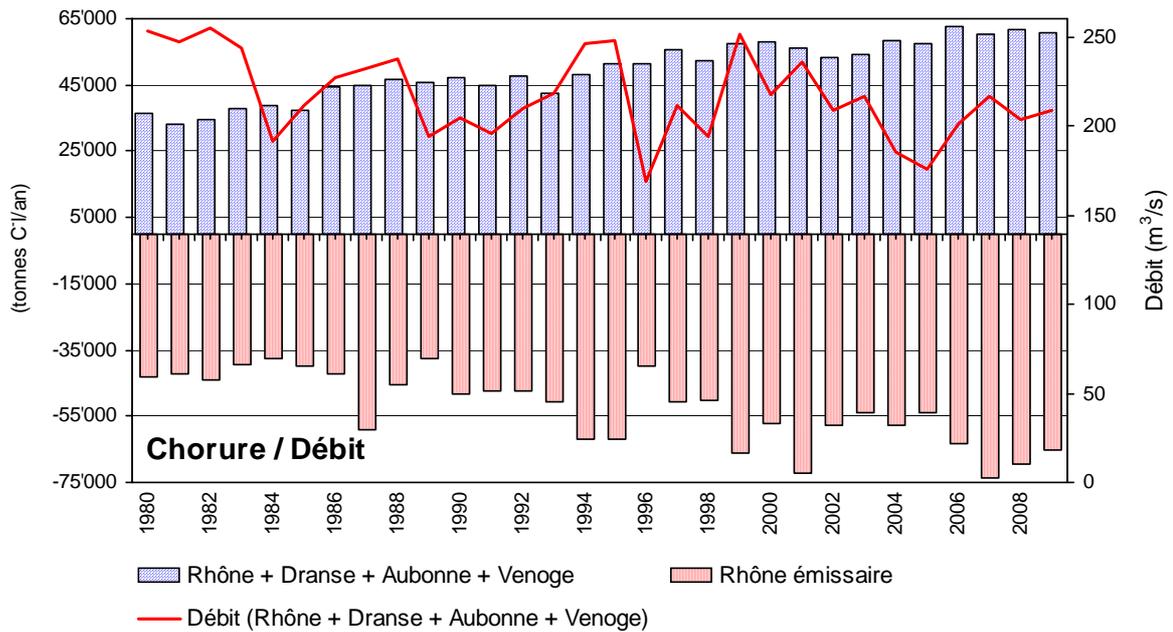


Figure 9 : Chlorure - Apports annuels par les 4 affluents principaux et perte annuelle par l'émissaire.
 Figure 9 : Chloride - Annual inflow from the 4 main tributaries, and annual loss via the effluent river.

Globalement, les apports en chlorure sont moins bien corrélés aux débits que pour l'azote, du fait notamment des apports d'origine industrielle.

Une hausse des apports en chlorure est constatée pour le Rhône depuis les années 80 et pour la Dranse depuis le milieu des années 90, ainsi que pour d'autres rivières de montagne qui ne sont pas représentées ici (par exemple l'Eau Froide). Cette augmentation semble liée à celle du salage des routes, qui a tendance à augmenter pendant la période hivernale. En effet, la vente du sel par la Saline de Bex (SALINE DE BEX, 2008, 2010) pour le traitement des routes était en moyenne de 11'900 tonnes pour la période de 1980-1989, de 15'300 tonnes pour la période de 1990-1999 et de 19'063 tonnes pour la période 2000-2009, mais ce tonnage ne représente pas la totalité de l'utilisation dans le bassin versant du Léman, car il est tiré de statistique d'un seul fournisseur.

Pour le Rhône amont, une étude montrait en 2001 que les apports en chlorure provenaient pour l'essentiel des rejets industriels (GUMY et De ALENCASTRO, 2001). Dès 2006, l'une des industries fournie par la Saline de Bex n'utilise plus les saumures dans ses procédés industriels (moyenne 1998-2005 : 14'750 tonnes de sel - SALINE DE BEX, 2008, p. 9). Par contre, cette baisse est actuellement entièrement compensée par les livraisons pour les sels à dégelier (SALINE DE BEX, 2010, p. 9), cela explique que l'on ne constate pas de baisse des apports.

Pour l'Aubonne et la Venoge qui sont des rivières de plaine et de contrefort du Jura, on constate une bonne corrélation entre les débits annuels et les apports. Cette corrélation laisse supposer que ces apports sont influencés par du lessivage des chlorures présents dans les sols agricoles issus de l'utilisation d'engrais à base de chlorure.

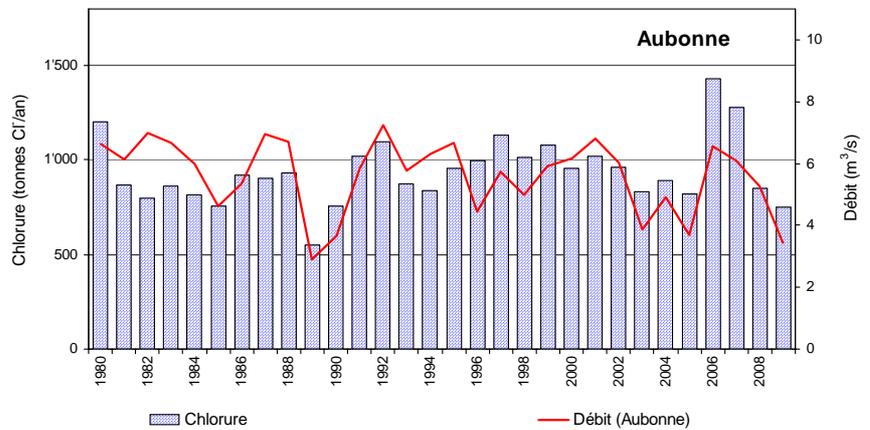
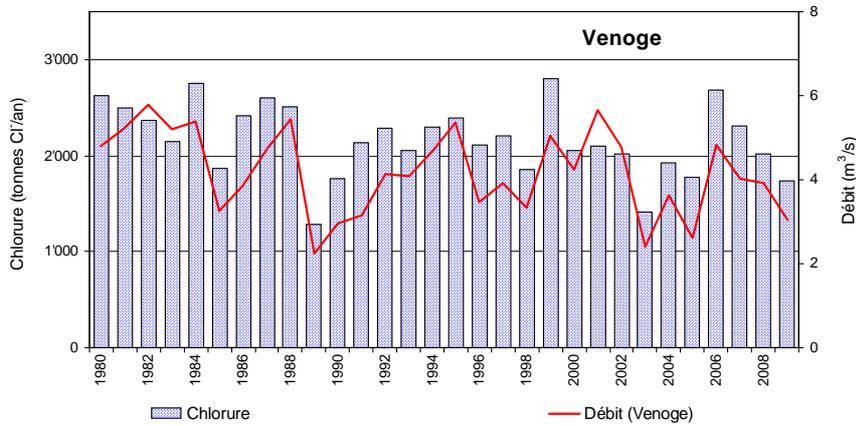
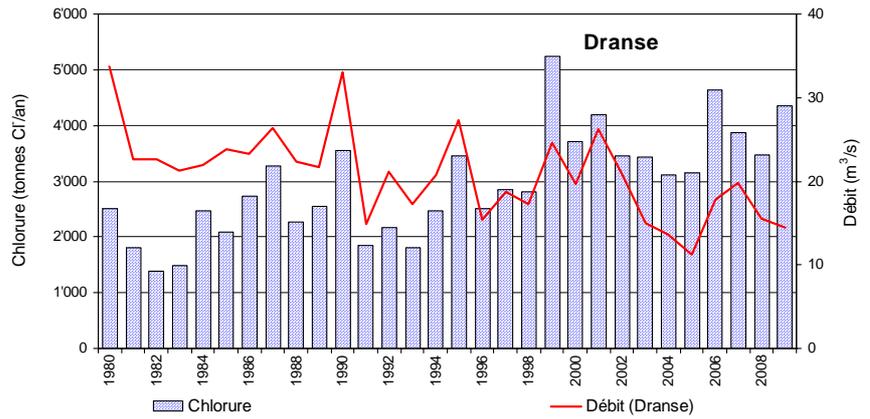
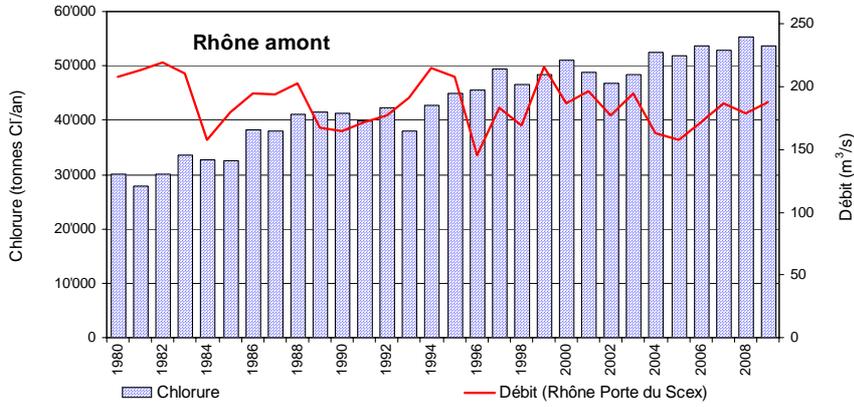


Figure 10 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex), la Dranse, la Venoge et l'Aubonne.
 Figure 10 : Chlorure - Annual inflow from the upstream segment of the Rhône (Porte du Scex), the Dranse, the Venoge and the Aubonne.

4. EXPORTATIONS ANNUELLES DU RHÔNE AVAL À CHANCY ET APPORTS DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS

En aval du lac, le Rhône traverse le territoire du canton de Genève et quitte la Suisse à Chancy-Pougny (débit moyen 1986-2009 : 341 m³/s). Le long de son parcours, il reçoit les eaux de quelques affluents, les deux principaux étant l'Arve (débit moyen 1988-2009 : 71.2 m³/s) et l'Allondon (débit moyen 1988-2009 : 3.47 m³/s). Les débits du Rhône émissaire et de l'Arve constituent 93 % du débit mesuré à Chancy. Nous disposons 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 dernières rivières doivent donc être considérés avec une relative prudence.

4.1 Phosphore (figure 11)

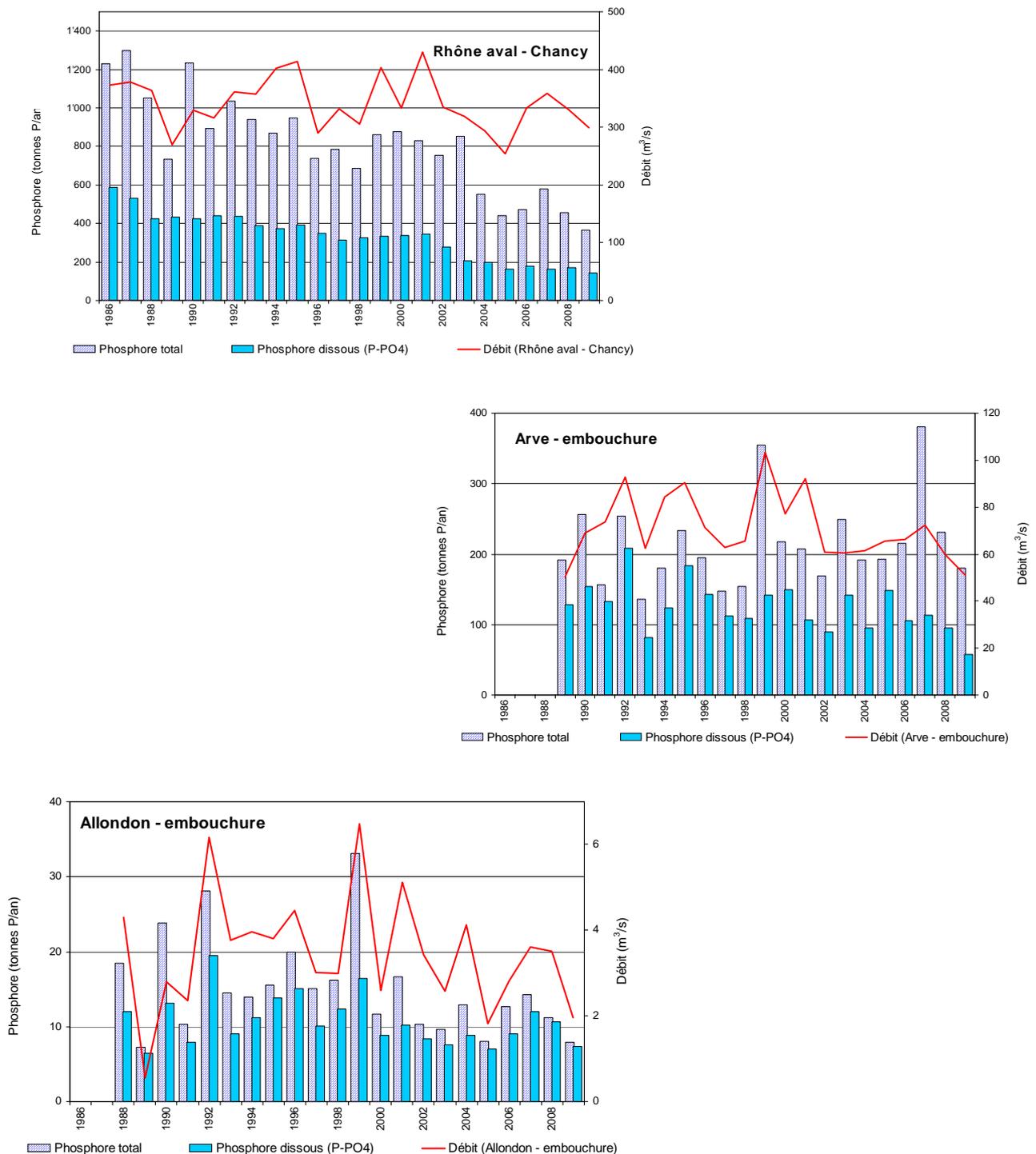


Figure 11 : Phosphore total et phosphore réactif soluble (P-PO₄) - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

Figure 11 : Total phosphorus and soluble reactive phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the Rhône (Chancy), the Arve and the Allondon.

► **Phosphore total**

Comme expliqué au paragraphe 3.1, c'est le phosphore réactif soluble qui domine dans le Rhône en aval du lac, du fait de la sédimentation du phosphore particulaire dans le lac. La diminution du phosphore total est surtout liée aux mesures d'assainissement domestique et agricole, qui sont les 2 principales sources d'apports en phosphore réactif soluble. Une baisse encore plus importante est constatée dès 2003-2004, période qui correspond à la mise en place de la déphosphatation pour la STEP d'Aire, la plus grande de tout le territoire de la CIPEL avec 600'000 EH et qui rejette ses eaux après traitement dans le Rhône. Ce nouveau dispositif a permis de diminuer la concentration en phosphore total en sortie de moitié, puisqu'elle est passée de 1.8 mgP/L au milieu des années 90 à 0.9 mgP/L en 2008 et 1.0 mgP/L en 2009.

► **Phosphore réactif soluble (P-PO₄)**

Pour l'Arve et l'Allondon, le phosphore réactif soluble domine dans les apports du fait de l'absence d'obligation de déphosphatation pour les STEP situées dans ces bassins versants. Toutefois, on relève une baisse du phosphore depuis 2007.

Concernant l'Allondon, l'abandon des STEP du Journans et de l'Allondon, avec le raccordement des eaux usées sur la STEP de Bois-de-Bay dans le canton de Genève, réalisé à fin 2009, se marque par une très nette amélioration de la qualité de l'eau de l'Allondon dès la fin 2009.

4.2 Azote total ou minéral total (figure 12)

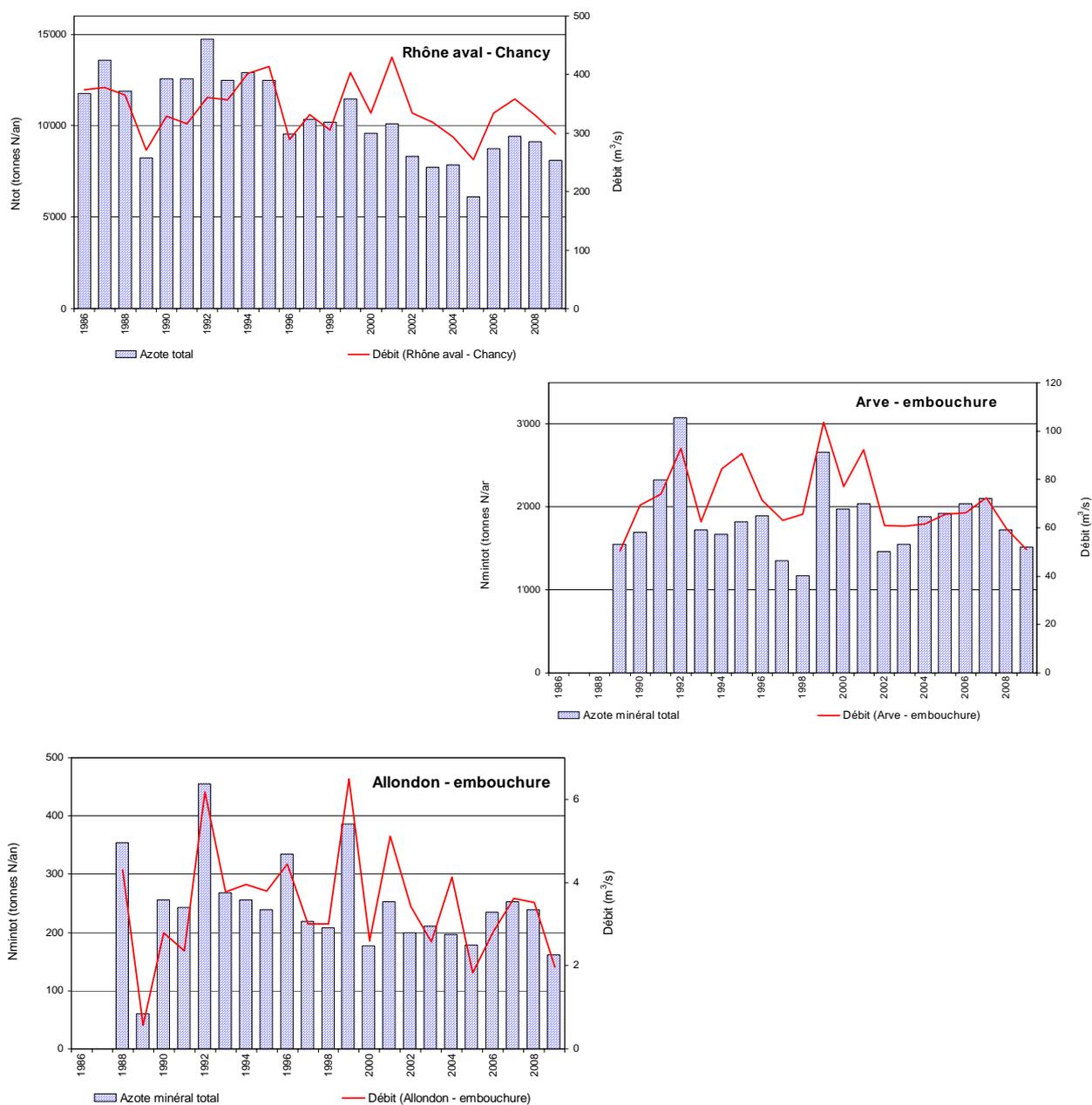


Figure 12 : Azote total ou azote minéral total - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

Figure 12 : Total nitrogen or total inorganic nitrogen - Annual inflow from the Rhône (Chancy), the Arve and the Allondon.

Tout comme pour le bassin versant du Léman, les apports en azote minéral total par les rivières en aval du lac fluctuent en fonction du débit et montrent une légère tendance à la baisse pour l'Arve, l'Allondon et le Rhône aval à Chancy.

4.3 Chlorure (figure 13)

Globalement, les apports en chlorure fluctuent avec les débits, provenant pour l'essentiel du lessivage des sols agricoles et en partie de l'utilisation de sels de déneigement. On note tout de même, surtout depuis ces quatre dernières années, une tendance à la hausse pour le Rhône à Chancy.

Cette tendance à la hausse observée sur le Rhône à Chancy peut s'expliquer par l'arrivée des eaux du Léman plus riches en chlorure.

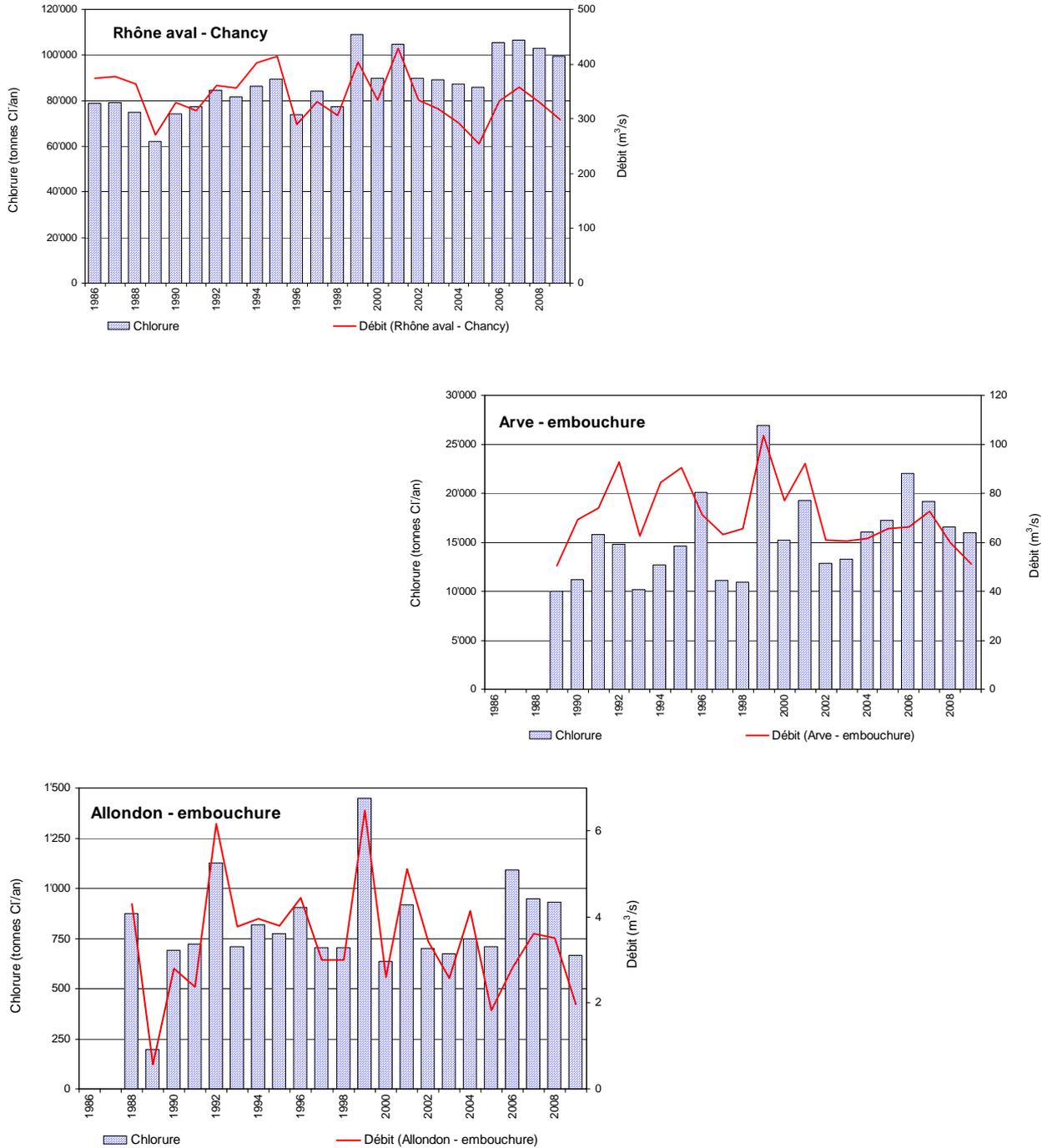


Figure 13 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

Figure 13 : Chloride - Annual inflow from the Rhône (Chancy), the Arve and the Allondon.

5. ÉTUDE DE LA QUALITÉ CHIMIQUE DES EAUX DES PRINCIPALES RIVIÈRES DU BASSIN LÉMANIQUE (Tableau 3 et figures 14 à 17)

5.1 Phosphore réactif soluble (figure 14)

Dans le bassin versant du Léman, la qualité de l'eau du Rhône en amont du lac est très bonne depuis plus de deux décennies. Pour la Dranse et l'Aubonne, elle est passée de bonne à très bonne. L'amélioration est particulièrement nette pour la Versoix, où la qualité est passée de mauvaise à moyenne à bonne, voire très bonne. Pour la Venoge, la qualité s'est également très nettement améliorée. La diminution de la taille des box-plot indique que globalement, la qualité de l'eau varie moins au cours de l'année pour ces rivières, signe d'une bonne stabilité de la qualité de l'eau.

Dans le bassin versant Rhône aval, la qualité du Rhône mesurée à Chancy, suit la baisse de la concentration mesurée dans le Léman. La qualité de l'Arve se situe entre les classes moyenne et bonne depuis ces quatre dernières années. L'Allondon ne sort pas de la classe moyenne à cause notamment de l'absence d'obligation de déphosphatation pour les STEP. Une amélioration se marque dès 2010 avec la suppression des rejets des STEP situées dans ce bassin versant et le raccordement des eaux usées sur Genève à fin 2009.

5.2 Azote ammoniacal (figure 15)

La qualité de l'eau est globalement très bonne pour les affluents étudiés du bassin versant du Léman, Rhône amont, Dranse, Aubonne et Versoix. Elle s'est améliorée de façon spectaculaire pour la Venoge dès 1997 où elle est passée de moyenne à bonne voire très bonne certaines années. Il faut relever toutefois que la situation s'est légèrement dégradée en 2009 pour la Venoge. D'une façon générale, l'amélioration de l'assainissement dans les différents bassins versants a permis une meilleure nitrification dans les STEP et donc de rejeter moins d'ammoniaque.

La qualité de l'Arve et de l'Allondon a tendance à se dégrader au cours du temps, notamment pour l'Allondon, signe de la saturation des STEP dans le Pays de Gex. Mais cette situation va s'améliorer dès 2010 avec le raccordement des eaux usées sur Genève. La qualité de l'eau de ces deux rivières montre une variabilité assez importante, même si la qualité oscille entre bonne et très bonne, avec des valeurs médianes plutôt proches de cette dernière.

La qualité du Rhône à Chancy s'est améliorée depuis la fin des années 90 et se trouve actuellement à la limite entre bonne et très bonne.

5.3 Nitrate (figure 16)

Dans le bassin versant du Léman, la qualité de l'eau est très bonne pour le Rhône amont et la Dranse, bonne pour l'Aubonne et la Versoix mais tout de même assez proche d'une très bonne qualité pour cette dernière. La qualité de l'eau de la Venoge est passée de bonne au début des années 80 à moyenne. Les STEP du bassin versant du Léman n'étant pas astreintes à la dénitrification, le traitement de l'azote engendre des rejets plus chargés en nitrates, mais par contre appauvris en ammoniacale et donc moins toxiques pour le milieu (cf. 5.2). Le niveau de qualité assez moyen et constant en nitrates pour la Venoge doit aussi être mis en relation avec l'occupation des sols de ce bassin versant, en bonne partie de nature agricole. Globalement, on relève une certaine stabilité des teneurs en nitrates sur ces 30 dernières années.

La qualité de l'eau du Rhône à Chancy et de l'Arve est très bonne pour ce paramètre et bonne pour l'Allondon.

5.4 Carbone organique dissous (figure 17)

Pour ce paramètre, la qualité de l'eau des différentes rivières est très bonne depuis plus de 20 ans pour le Rhône en amont et en aval du lac ainsi que pour la Versoix et depuis plus de 15 ans pour l'Arve et l'Allondon. Pour la Venoge et l'Aubonne, elle est passée de bonne à très bonne et l'on constate également une nette diminution des valeurs élevées (percentiles 90%).

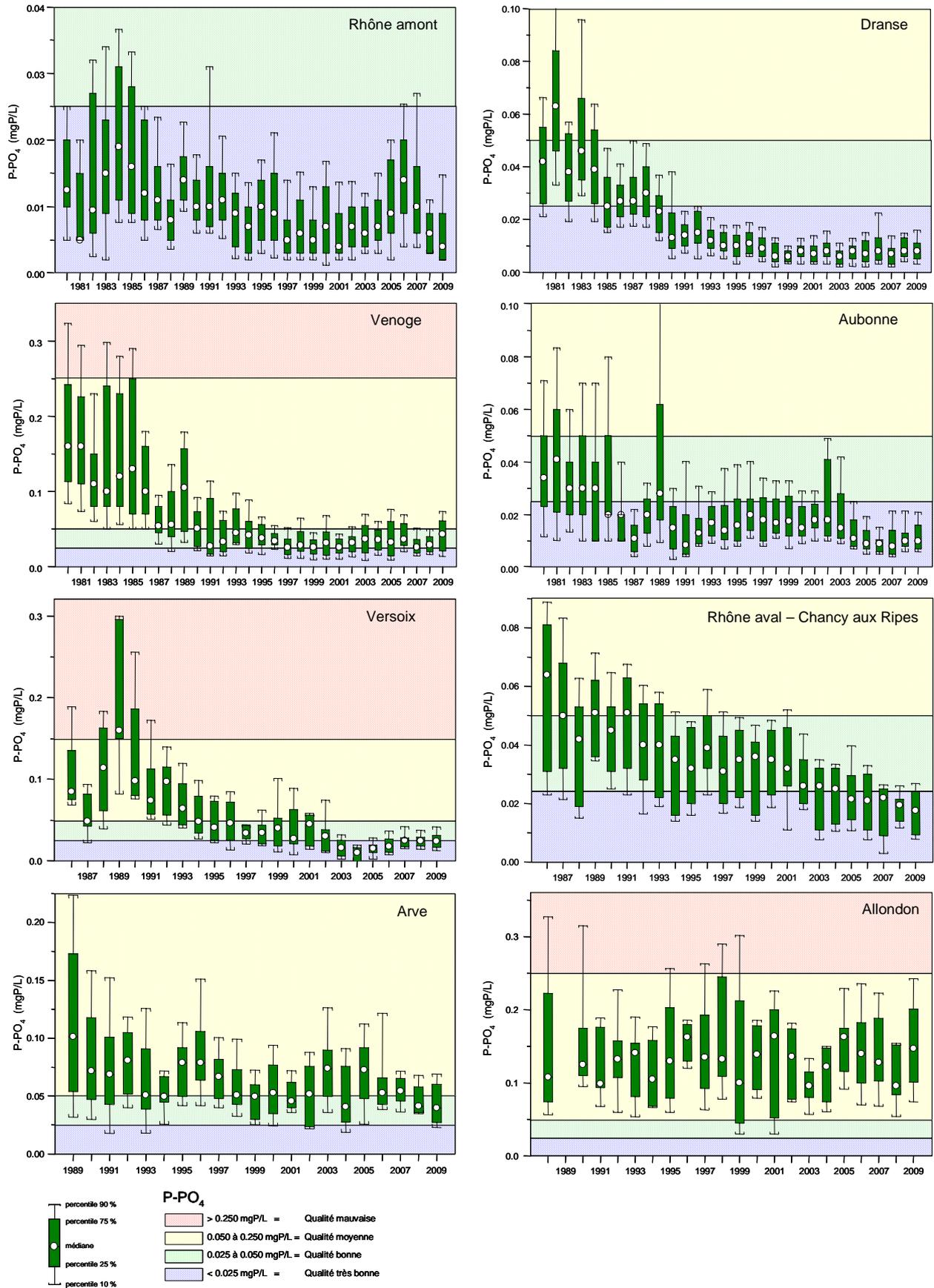


Figure 14 : Phosphore réactif soluble (P-PO₄) - dans des rivières du bassin du Léman et du Rhône aval.

Figure 14 : Soluble reactive phosphorus (P-PO₄) - in rivers in the catchment area of Lake Geneva and the downstream segment of the Rhône.

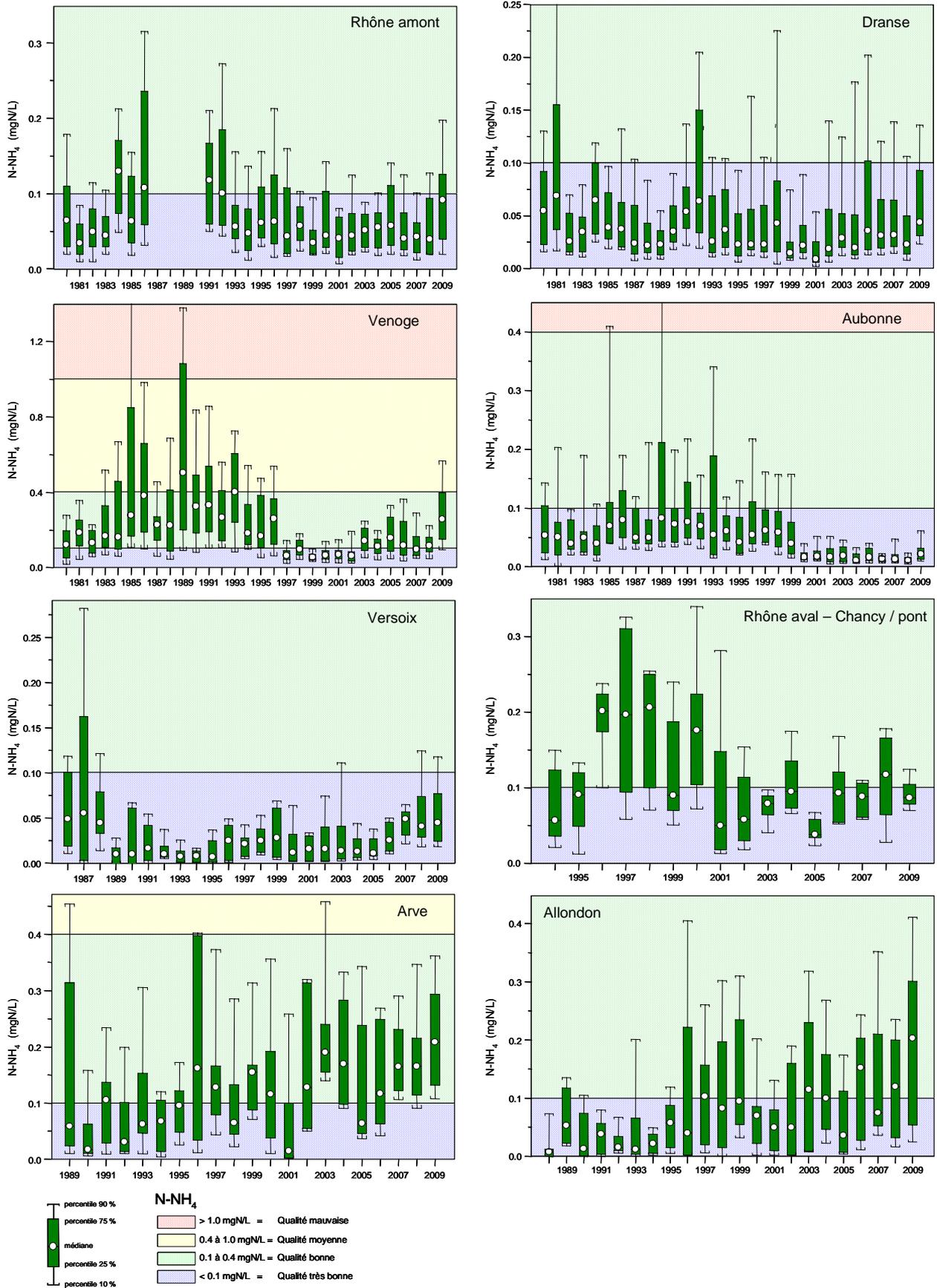


Figure 15 : Azote ammoniacal - dans des rivières du bassin du Léman et du Rhône aval.

Figure 15 : Ammoniacal nitrogen - in rivers in the catchment area of Lake Geneva and the downstream segment of the Rhône.

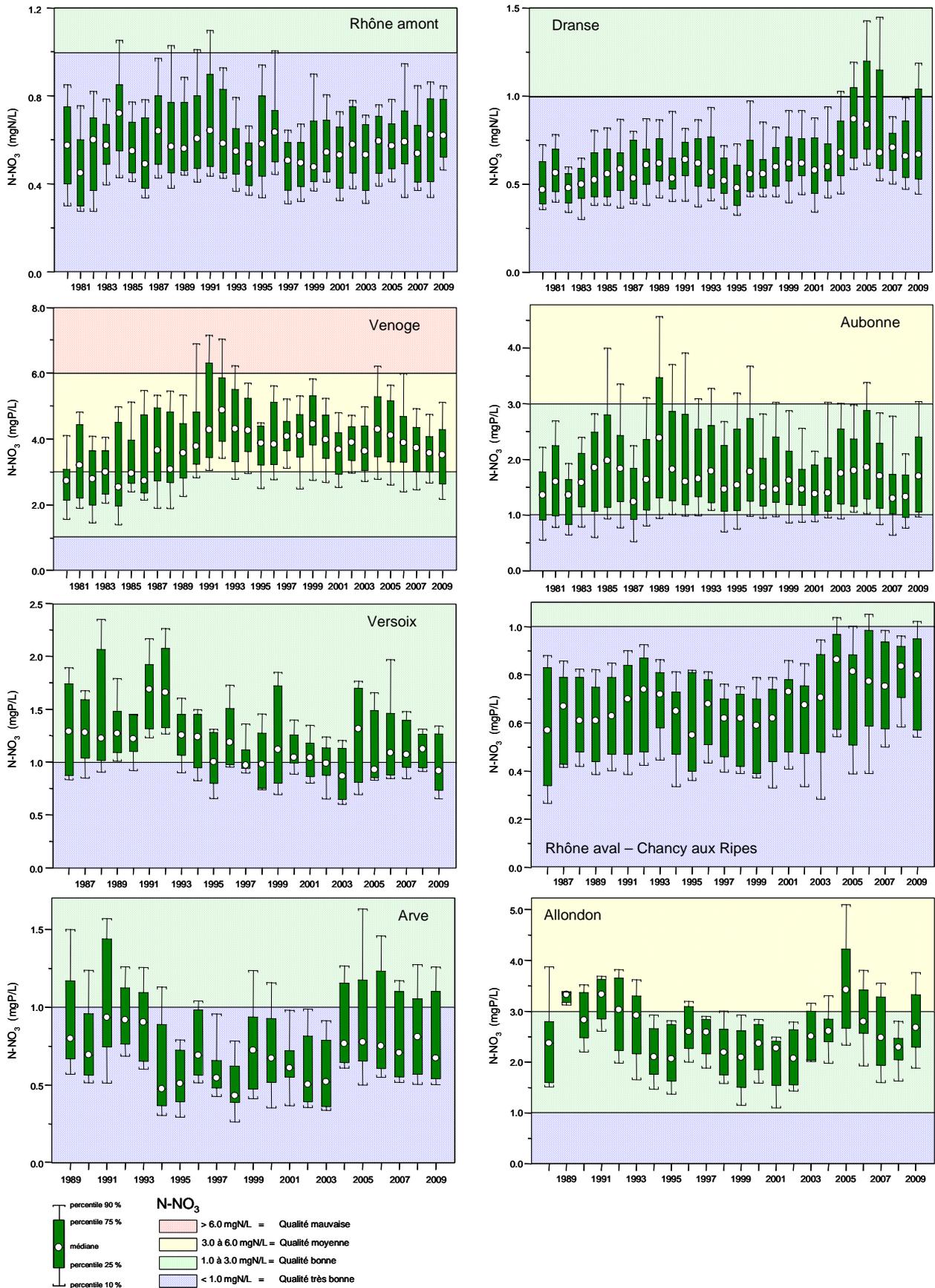


Figure 16 : Azote nitrique - dans des rivières du bassin du Léman et du Rhône aval.

Figure 16 : Nitric nitrogen - in rivers in the catchment area of Lake Geneva and the downstream segment of the Rhône.

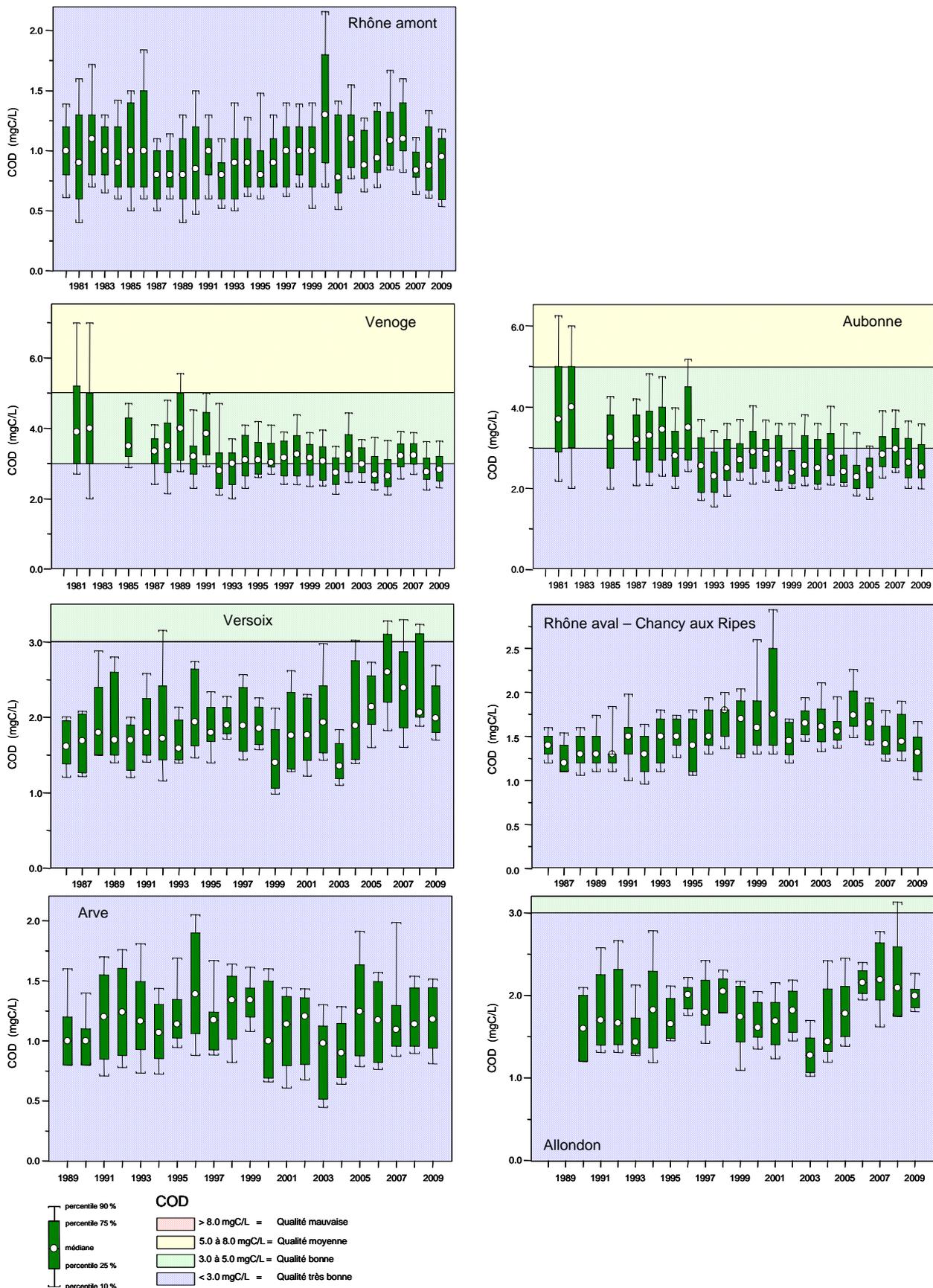


Figure 17 : Carbone organique dissous - dans des rivières du bassin du Léman et du Rhône aval.
 Figure 17 : Dissolved organic carbon - in rivers in the catchment area of Lake Geneva and the downstream segment of the Rhône.

6. CONCLUSIONS

Les débits moyens annuels des affluents et de l'émissaire à Genève montrent une stabilité sur le long terme, mais présentent des fluctuations d'une année à l'autre, liées à la pluviométrie. L'année 2009 est une année à pluviométrie faible, 850 mm d'eau précipitée au niveau des inter-stations du Léman, la moyenne de ces trente dernières années étant de 1'022 mm.

L'analyse des flux de nutriments des principaux affluents du territoire de la CIPEL montre certaines différences selon les bassins versants de rivières.

- Les apports en **phosphore réactif soluble** ont diminué pour l'ensemble des rivières suivies sauf pour l'Allondon et l'Arve qui se trouvent dans le bassin versant à l'aval du lac, car seules les STEP du bassin versant du Léman sont astreintes à la déphosphatation. Une amélioration se marque dès 2010 pour l'Allondon du fait du raccordement à fin 2009 des eaux usées de ce bassin à une STEP du canton de Genève qui déverse dans le Rhône aval.
- Les apports en **phosphore total** au lac ont nettement diminué pour le Rhône amont, la Dranse, et la Venoge. Les raisons de ces variations sont donc principalement liées à la faible pluviosité de l'année. Pour le Rhône amont, le phosphore total est constitué à plus de 93 % par du phosphore particulaire.
- L'absence de dénitrification dans les STEP et une fertilisation azotée stable depuis près de 20 ans expliquent que les apports en **azote minéral total** sont stables et suivent principalement la variation des débits.
- Les quantités de **chlorure** sont en hausse, notamment dans le Rhône amont. Cette augmentation trouve deux explications possibles : la présence d'industries et surtout l'utilisation de plus en plus importante de sels de déneigement. Une tendance à la hausse depuis les années 90 est également constatée dans la Dranse, mais en l'absence d'industries importantes dans ce bassin versant, l'augmentation proviendrait davantage du salage des routes qui ne cesse de croître. Pour les rivières autres que le Rhône amont, les apports varient avec les débits et seraient par conséquent en plus du salage des routes, liés au lessivage des sols agricoles et à l'utilisation des engrais contenant des chlorures. Pour l'ensemble des rivières, il y a aussi un apport qui est lié aux échangeurs d'ions des lave-vaisselle.

L'utilisation d'une grille d'évaluation de la qualité des rivières pour 4 paramètres (phosphore réactif soluble : P-PO₄, l'azote ammoniacal: N-NH₄, l'azote nitrique: N-NO₃ et le carbone organique dissous: COD) a montré que toutes les rivières étaient de bonne voire très bonne qualité pour le COD et le N-NH₄, que seules l'Arve et l'Allondon étaient de qualité moyenne pour le P-PO₄ à cause de l'absence de déphosphatation dans les STEP et que seule la Venoge était de qualité moyenne pour le N-NO₃ à cause de la densité des rejets des STEP couplée à une activité agricole assez importante dans ce bassin versant. Toutefois, pour cette rivière, du fait de la nitrification dans les STEP, la qualité pour le N-NH₄ est bonne.

Parmi les rivières suivies et étudiées par la CIPEL, aucune n'atteint une situation de mauvaise qualité pour ces 4 principaux paramètres pris en compte et la variabilité intra-annuelle de la qualité de l'eau s'est atténuée.

BIBLIOGRAPHIE

GUMY, D., de ALENCASTRO, F. (2001) : Origine de la pollution du Léman par le chlorure. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000, 261-278.

OFS (2007) : Bilans de l'azote et du phosphore. Office fédéral de la statistique, Berne, 30 p.

QUÉTIN, P. (2010) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2009, 21-32.

SALINE DE BEX (2008) : Rapport de gestion 2007. Saline de Bex, Bex (Suisse), 30 p.

SALINE DE BEX (2010) : Rapport de gestion 2009. Saline de Bex, Bex (Suisse), 24 p.

STRAWCZYNSKI, A. (2010) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2009, 153-163.

Tableau 3 : Concentrations moyennes en 2009.

Table 3 : Mean concentrations in 2009.

Nom Rivière	Débit	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Nmintot	NtotBrut	P-PO ₄	PtotBrut	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	DOC	TOC	MES
	(m ³ /sec)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/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)
Concentrations moyennes Bassin versant Léman																		
Rhône amont	187.5	0.078		0.592		0.782	0.006	0.084	9.15	50.69	40.31	5.02	6.22	1.96	3.05	0.88	1.67	144.5
Dranse	14.50	0.061	0.008	0.699	0.768	0.840	0.009	0.039	9.42	69.51	75.45	9.71	5.67	0.97	3.63	1.29		16.7
Aubonne	3.46	0.026	0.012	1.321	1.359		0.015	0.113	6.86	4.44	70.44	6.04	4.17	0.91	2.83	2.91		79.7
Venoge	3.03	0.186	0.036	3.550	3.772		0.032	0.125	19.38	17.45	86.25	8.30	10.43	2.51	4.52	3.00		38.8
Versoix	2.80	0.053	0.010	1.036	1.099	1.200	0.025	0.075	11.34	6.70	70.55	5.93	6.52	0.84				
Stockalper	2.62	0.690	0.042	1.102	1.834		0.012	0.109	11.00							1.66	1.94	55.8
Veveyse	1.52	0.041	0.007	0.599	0.647		0.004	0.143	16.20	11.36	65.12	6.22	10.83	1.44	3.87	2.64		163.4
Promenthouse	1.09	0.026	0.005	1.900	1.931		0.008	0.080	8.36	5.37	78.34	7.82	4.88	1.29	3.98	2.14		41.4
Chamberonne	0.76	0.057	0.019	1.852	1.928		0.030	0.105	26.96	36.57	68.91	7.87	16.54	2.36	4.49	2.43		30.8
Eau Froide	0.54	0.062	0.005	3.824	3.891		0.018	0.055	6.73	28.77	65.34	6.01	9.94	2.07	3.83	2.54		10.8
Morges	0.29	0.056	0.026	4.545	4.627		0.040	0.125	21.97	25.86	96.92	11.58	12.36	3.13	8.08	3.04		52.9
Brassu	0.16	0.048	0.023	1.864	1.935	2.235	0.037	0.080	11.74	6.61	70.18	6.17	6.88	1.11		3.51		
Dullive	0.16	0.213	0.014	2.216	2.443		0.041	0.086	11.25	17.02	87.43	11.25	6.91	2.03	6.88	2.56		16.9
Nant de Pry	0.13	0.018	0.008	1.481	1.507	1.778	0.041	0.080	19.53	6.84	72.34	6.82	12.29	1.25		2.81		
Vengeron	0.09	0.688	0.049	1.297	2.034	2.287	0.135	0.278	17.55	18.98	52.76	7.32	12.51	3.88		4.01		
Nant de Braille	0.04	0.036	0.013	1.728	1.777	2.104	0.069	0.095	17.96	9.36	70.29	8.12	10.70	1.91		4.23		
Bassin versant du Rhône aval																		
Rhône émissaire	235.4	0.030	0.006	0.410	0.446	0.515	0.005	0.016	8.76	45.19	42.55	5.87	6.19	1.35				
Arve	51.0	0.191	0.032	0.717	0.940	0.879	0.036	0.112	9.92	50.99	57.47	6.28	6.74	1.25		1.18		
Allondon	1.97	0.250	0.048	2.307	2.605	2.687	0.118	0.128	10.72	8.48	80.36	6.36	6.85	1.29		2.04		
Rhône Chancy	298.5	0.091	0.016	0.743	0.850	0.871	0.015	0.039	10.69	47.43	48.47	5.78	6.95	1.72	1.33	1.29	1.82	24.4

Tableau 4 : Flux en 2009

Table 4 : Flows in 2009

Nom Rivière	Débit	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Nmintot	NtotBrut	P-PO ₄	PtotBrut	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)
Bassin versant Léman																		
Rhône amont	187.5	455		3'477		4'593	36.6	492.9	53'732	297'586	236'662	29'462	36'499	11'525	17'915	5'185	9'794	848'042
Dranse	14.50	28.28	3.79	322.7	354.7	387.8	3.97	18.05	4'351	32'100	34'840	4'483	2'620	447	1'675	598		7'704
Aubonne	3.46	2.87	1.26	144.2	148.3		1.63	12.38	749	485	7'692	660	455	100	309	317		8'698
Venoge	3.03	16.69	3.20	318.9	338.8		2.86	11.23	1'740	1'567	7'747	745	936	226	406	269		3'482
Versoix	2.80	4.71	0.74	91.6	97.0	106.1	2.22	6.64	1'003	592	6'239	524	577	75		151		
Stockalper	2.62	56.9	3.50	90.9	151.3		0.98	8.97	907							137	160	4'604
Veveyse	1.52	1.98	0.36	28.7	31.1		0.17	6.85	778	545	3'127	299	520	69	186	127		7'848
Promenthouse	1.09	0.90	0.17	65.5	66.6		0.26	2.76	288	185	2'701	270	168	44	137	74		1'428
Chamberonne	0.76	1.36	0.46	44.4	46.3		0.72	2.52	647	877	1'653	189	397	57	108	58		740
Eau Froide	0.54	1.06	0.08	65.0	66.1		0.3	0.93	114	489	1'110	102	169	35	65	43		183
Morges	0.29	0.52	0.24	42.1	42.8		0.37	1.16	203	239	897	107	114	29	75	28		490
Brassu	0.16	0.24	0.12	9.5	9.8	11.4	0.19	0.41	60	34	357	31	35	6		18		
Dullive	0.16	1.06	0.07	11.0	12.2		0.20	0.43	56	85	435	56	34	10	34	13		84
Nant de Pry	0.13	0.07	0.03	6.0	6.1	7.2	0.17	0.32	79	28	293	28	50	5		11		
Vengeron	0.09	1.93	0.14	3.6	5.7	6.4	0.38	0.78	49	53	148	20	35	11		11		
Nant de Braille	0.04	0.04	0.02	2.1	2.2	2.6	0.08	0.12	22	11	86	10	13	2		5		
Total BV Léman	218.6	574		4'722			51.1	566	64'778	334'876	303'987	36'986	42'622	12'641		6'235		
Bassin versant du Rhône aval																		
Rhône émissaire	235.4	221.8	52.26	3'045	3'319	3'817	40.76	119.9	65'002	335'266	315'681	43'551	45'955	10'041		11'236		
Arve	51.0	307.8	52.07	1'153	1'513	1'413	57.76	180.7	15'947	81'948	92'367	10'098	10'837	2'014		1'891		
Allondon	1.97	15.6	2.98	143.5	162.0	167.1	7.32	7.96	666	527	4'997	396	426	80		127		
Rhône Chancy	298.5	932.5	168.6	6'910	8'011	8'099	143.8	363.6	99'407	441'058	450'717	53'779	64'602	16'000	12'393	11'968	16'881	226'790