

LES 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 2011

PAR

Audrey KLEIN

SECRÉTARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN
ACW - Changins - Bâtiment DC, CP 1080, CH - 1260 NYON 1

RÉSUMÉ

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 2011 ont été calculées. La baisse des apports constatée en 2011 pour l'ensemble des rivières suivies et des paramètres mesurés est essentiellement liée à la pluviométrie particulièrement faible en 2011. Les débits ont baissé en moyenne de 25% par rapport à 2010, entraînant ainsi une baisse conséquente des apports.

Toutefois, bien que les apports soient fortement influencés par la pluviométrie, la tendance générale montre bien 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 enfin pour le chlorure, l'impact des apports industriels et du salage des routes.

ABSTRACT

For many years, CIPEL has been monitoring the change over time of the inflow of nutrients into the Lake from 4 main tributaries (the upstream segment of the Rhône, the Dranse, the Aubonne and the Venoge) and about ten secondary tributaries, and the exportations from the Lake at Geneva and from the downstream segment of the Rhône at Chancy, and the inflows via its affluents (the Arve and the Allondon). This monitoring makes it possible to estimate the change in nutrient inputs into the Lake, which contributes to an understanding the changing concentrations in the Lake.

The quantities of nutrients carried into Lake Geneva, and exported by the Rhône where it leaves Swiss territory were calculated for 2011. The fall in inputs observed in 2011 for all the rivers monitored and all the parameters measured was essentially linked to the particularly low rainfall in 2011. On average, flow rates were 25% lower than in 2010, resulting in a considerable reduction of inputs.

However, even though the inputs were markedly influenced by the rainfall, the general tendency shows clearly the effects of dephosphatation in the WWTPs on soluble reactive phosphorus, and on total inorganic nitrogen, the absence of denitrification and the maintenance of the same level of nitrogenous fertilisation for nearly 20 years, and finally on chlorides, the impact of the industrial inputs and of road salting.

1. GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODES

En 2011, 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, la Veveysse, la Promenthouse, la Chamberonne, l'Eau Froide, la Morges, le Boiron-de-Morges et la Dullive (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 (figure 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.

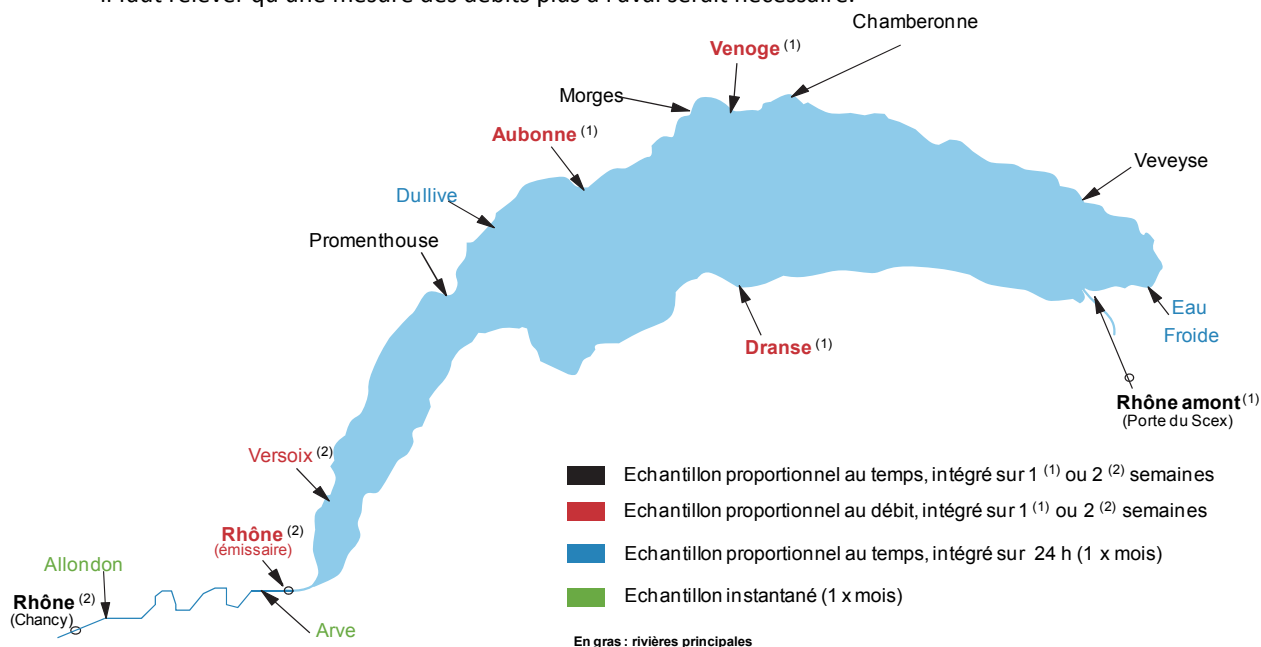


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées.

Figure 1 : Locations of the various rivers investigated.

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 de l'écologie de l'eau du canton de 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, 2012).

La plupart des analyses sont effectuées sur des échantillons d'eau filtrée (maille de 0.45 µm). Hormis pour 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 dont les résultats sont valorisés dans ce rapport.

Le présent rapport est basé sur l'évolution temporelle des apports en nutriments (phosphore total, phosphore réactif soluble et azote minéral total) et de chlorure apportés au lac par les 4 affluents principaux ou à l'exutoire du lac, ainsi que les quantités apportées au Rhône par les rivières en aval du lac.

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

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

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

2. DÉBITS DES AFFLUENTS PRINCIPAUX DU LÉMAN ET DE L'ÉMISSAIRE

La pluviométrie de l'année 2011 sur le pourtour du Léman est de 750.1 mm, très inférieure à la moyenne inter-stations (1'011 mm) relevée sur 4 stations entre 1980 et 2010 (QUETIN, 2012).

Les débits moyens annuels 2011 ont diminué d'environ 25% par rapport à 2010, voire jusqu'à 50% pour l'Aubonne et la Venoge. Par rapport à la moyenne inter-annuelle 1965-2010, les débits 2011 sont inférieurs de presque 50%, à l'exception du Rhône amont (Tableau 1).

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

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

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	9.5	235.4
2010	196.4	15.9	3.5	2.7	10.0	229.4
2011	144.9	10.6	2.1	1.3	7.8	118.1
Moyenne *	183.6	20.3	5.3	4.6	11.6	243.1

* : moyenne 1965-2011 (sauf pour les rivières complémentaires 1989-2011)

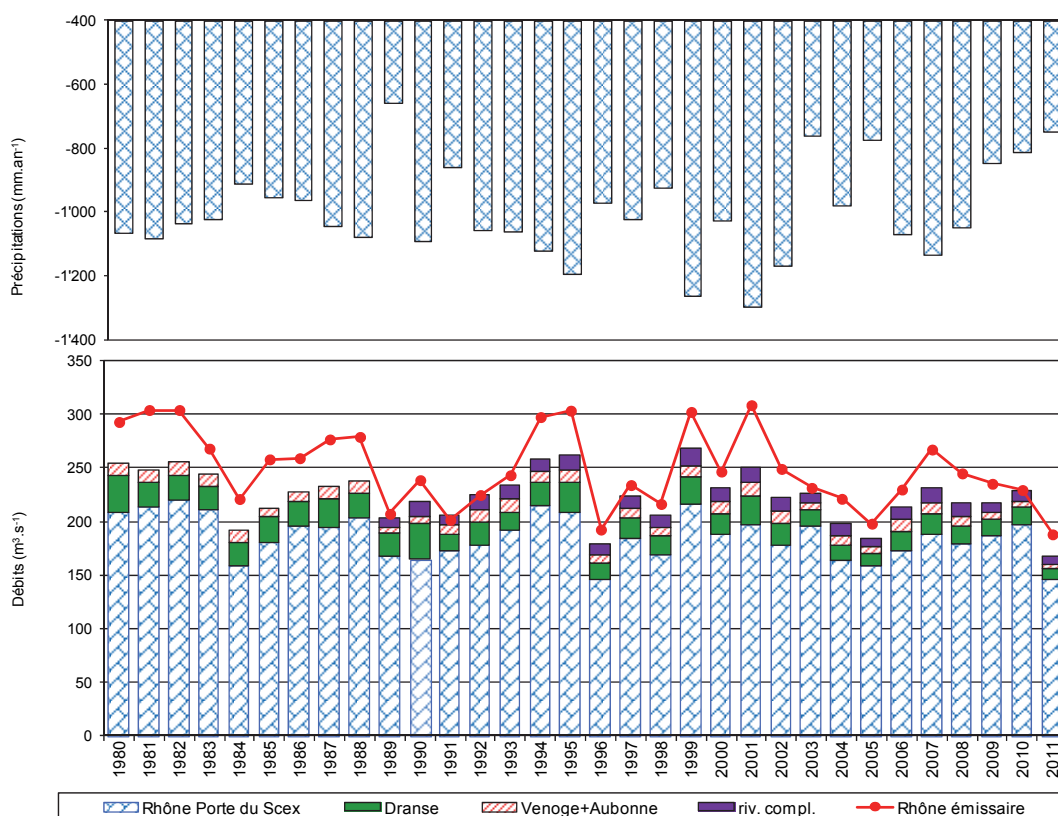


Figure 2 : Débits moyens annuels des diverses rivières et précipitations annuelles à la station de Thonon.

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

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.

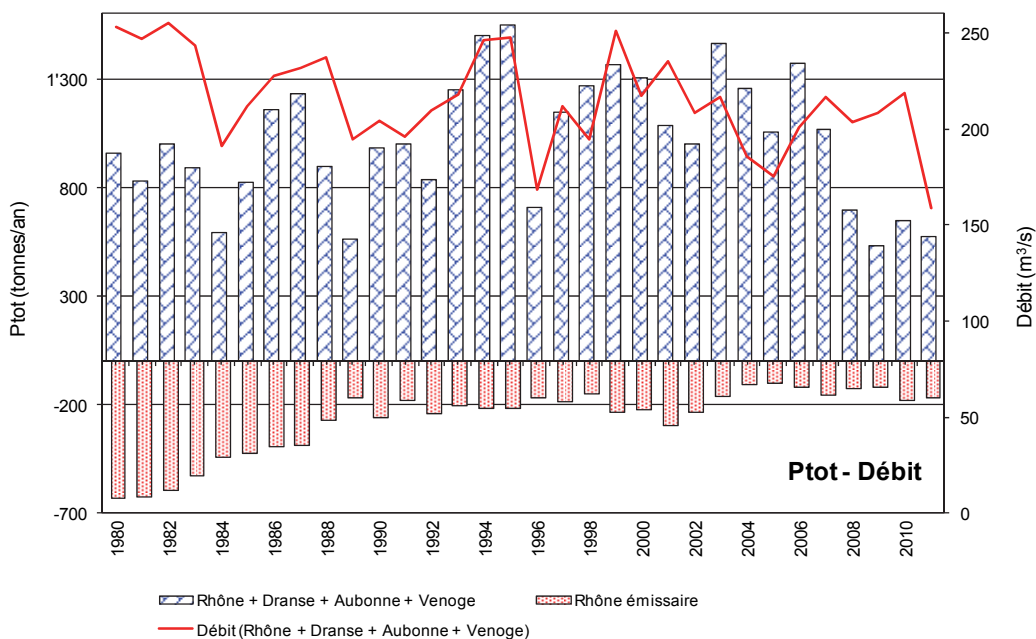


Figure 3 : Phosphore total - Apports annuels par les 4 affluents principaux et perte annuelle par l'émissaire.

Figure 3 : Total phosphorus - Annual inflow from the 4 main tributaries, and annual loss via the effluent river

En 2011, les apports en phosphore total au lac par les rivières sont constitués par environ 89% de phosphore particulaire et 11% 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, l'Aubonne et le Rhône amont. Elle est moins évidente pour la Dranse ;

le barrage du Jotty pourrait avoir une influence sur le stockage des sédiments. Les apports en phosphore par le Rhône amont sont constitués principalement par du phosphore particulaire. On relève depuis 2008 une très nette baisse des apports en phosphore total et la situation est assez comparable à celle du début des années 80. Il n'y a pour l'instant pas d'explication à cette baisse. La Dranse présente elle aussi une nette baisse des apports en phosphore total depuis les années 90.

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. 25 à 40% depuis le début des années 2000). Depuis le milieu des années 80, il suit la baisse des teneurs dans le lac grâce notamment à l'assainissement des eaux usées (figure 4).

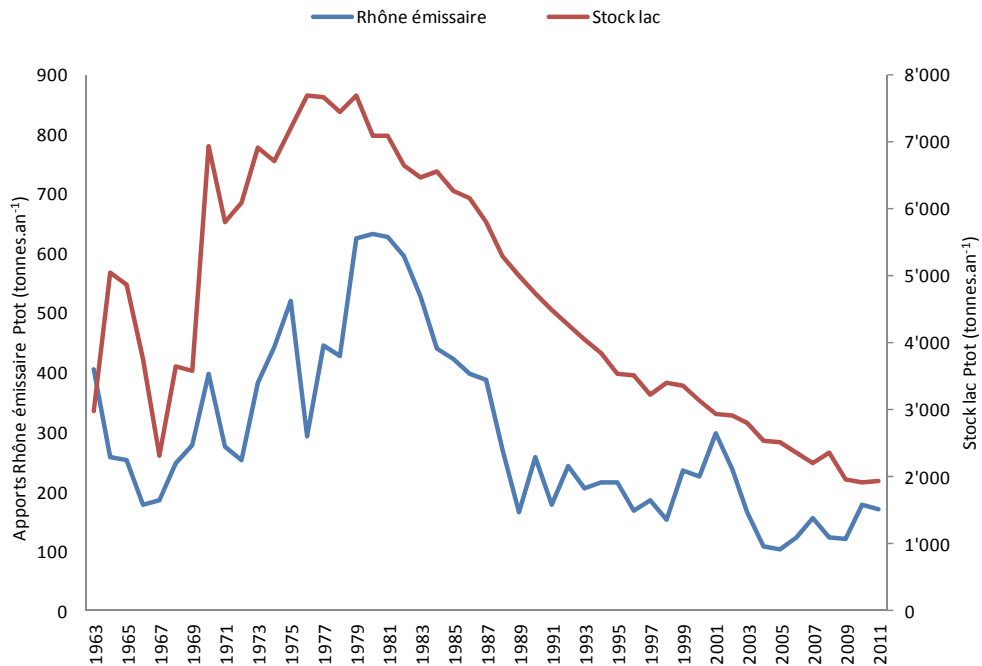
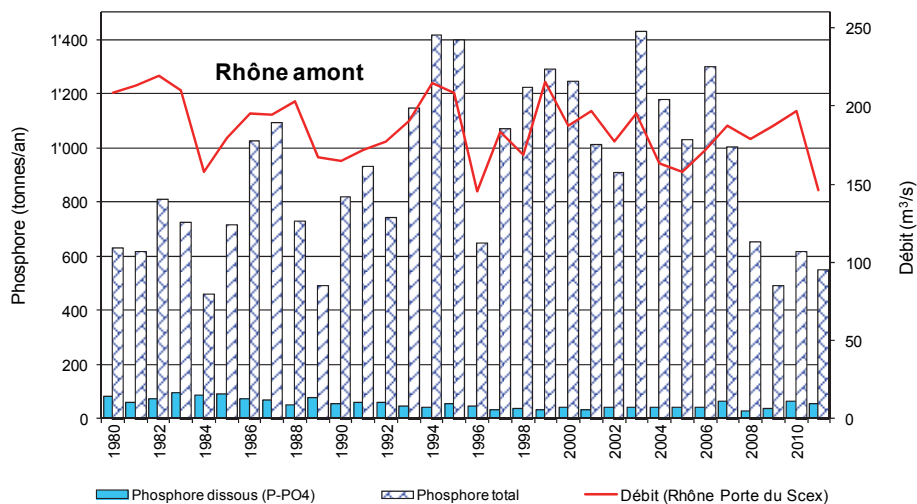


Figure 4 : Évolution du stock en phosphore total dans le lac et des pertes annuelles par l'émissaire

Figure 4 : Change in the total phosphorus content of the Lake and in the annual depletions in outflows.



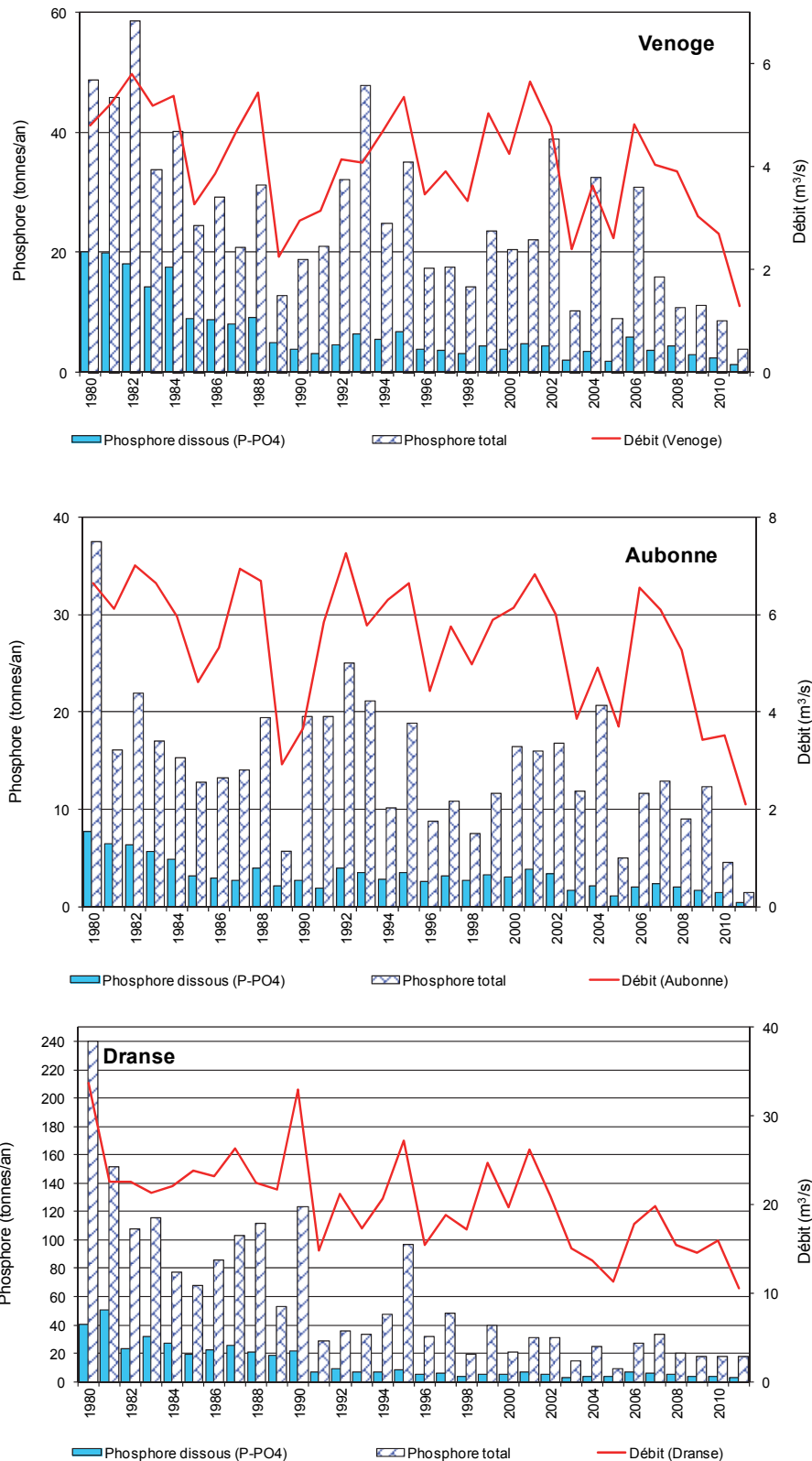


Figure 5 : Phosphore total et phosphore réactif soluble (P-PO₄) - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex), la Dranse, la Venoge et l'Aubonne.

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.

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

La figure 5 et 6 montrent bien qu'il n'y a pas de relation entre les quantités de phosphore réactif soluble et les débits. La baisse des teneurs constatée depuis les années 80 est liée à l'assainissement domestique, à la suppression du phosphate dans les lessives et à la modification des pratiques agricoles (baisse de la fertilisation phosphatée) qui sont les principales sources d'apports en phosphore réactif soluble.

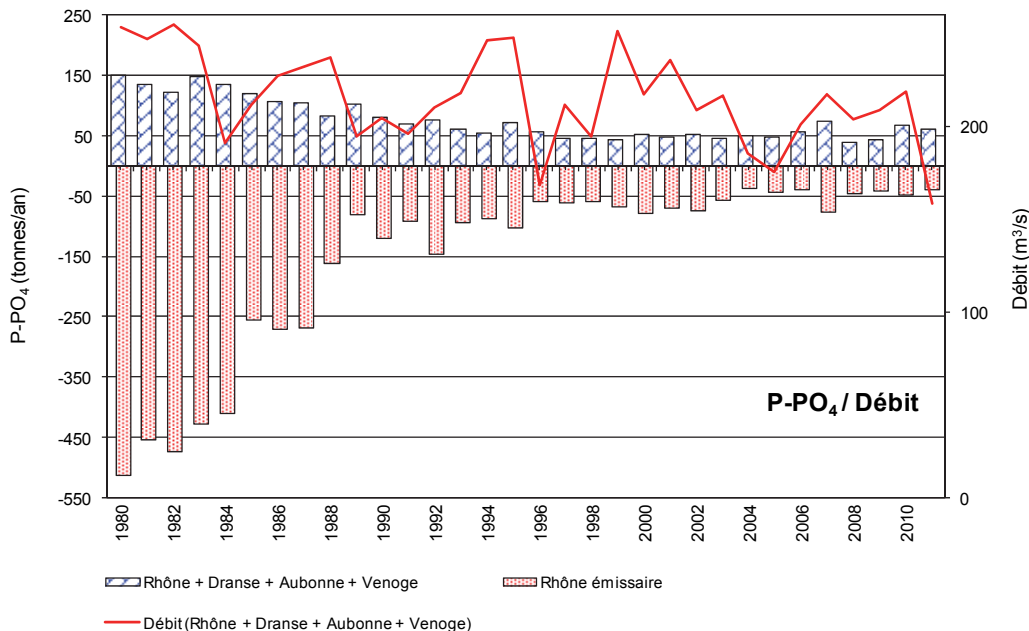


Figure 6 : Phosphore réactif soluble (P-PO₄) - Apports annuels par les 4 affluents principaux et perte annuelle par l'émissaire.

Figure 6 : Soluble reactive phosphorus (P-PO₄) - Annual inflow from the 4 main tributaries, and annual loss via the effluent river.

3.2 Azote minéral total

Les apports en azote minéral total, ainsi que les quantités exportées par le Rhône émissaire sont relativement stables depuis les années 80 et fluctuent en fonction du débit. Cette relative 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 avec des excédents d'azote qui peuvent polluer les eaux (Office fédéral de la statistique, OFS, 2010 – Bilan de l'azote).

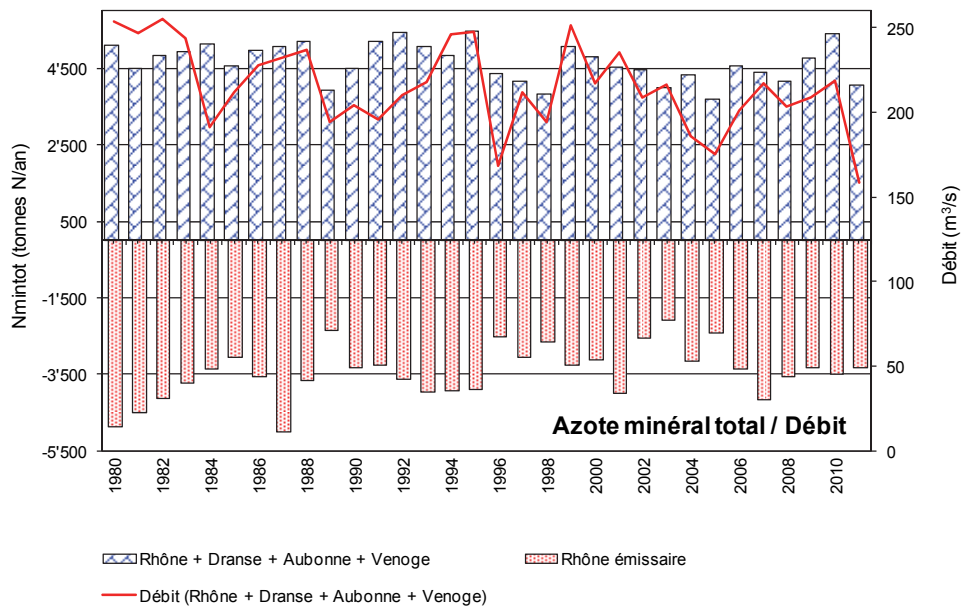
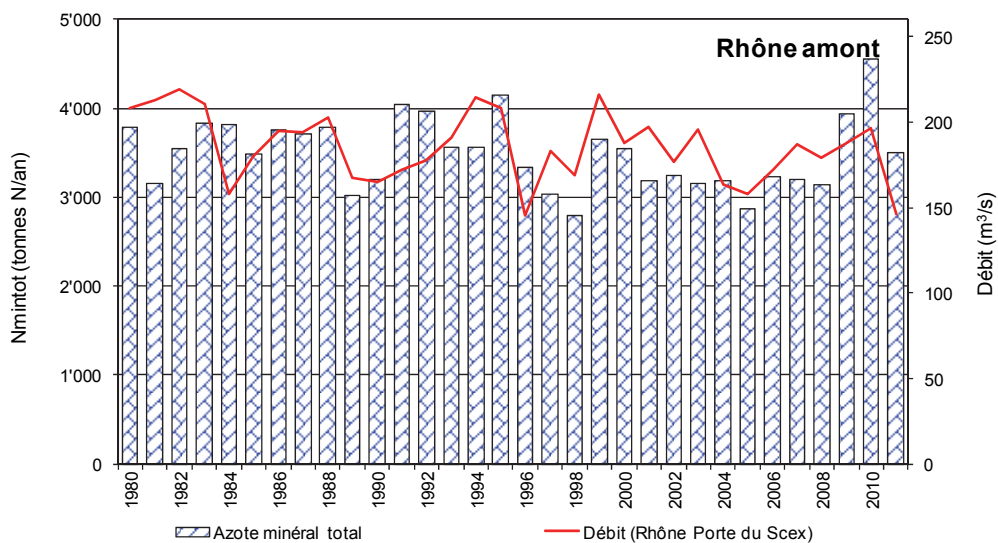


Figure 7 : Azote minéral total - Apports annuels par les 4 affluents principaux et perte annuelle par l'émissaire.

Figure 7 : Total inorganic nitrogen - Annual inflow from the 4 main tributaries, and annual loss via the effluent river.



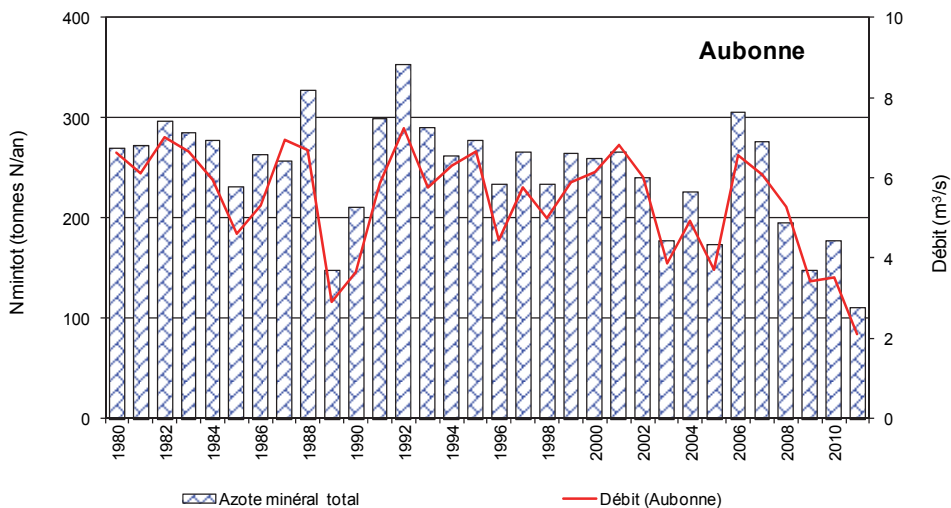
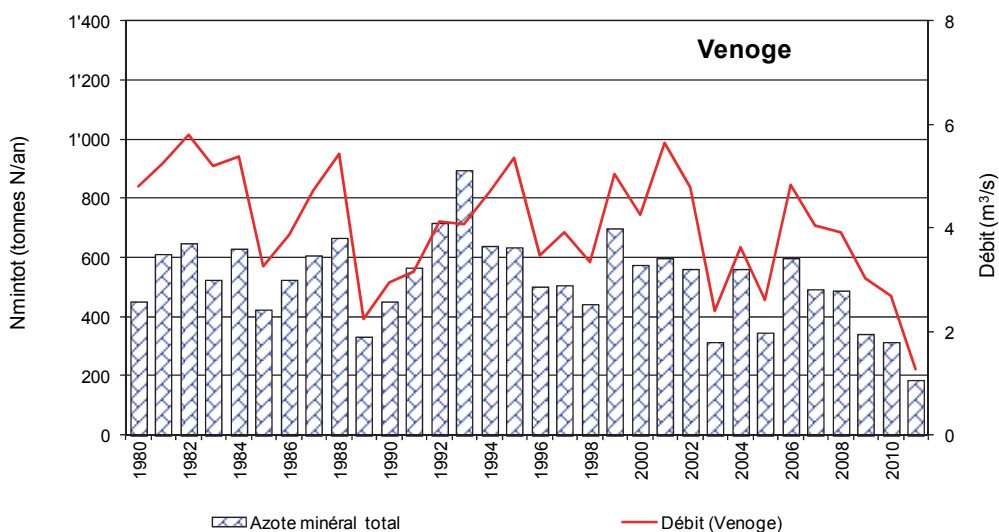
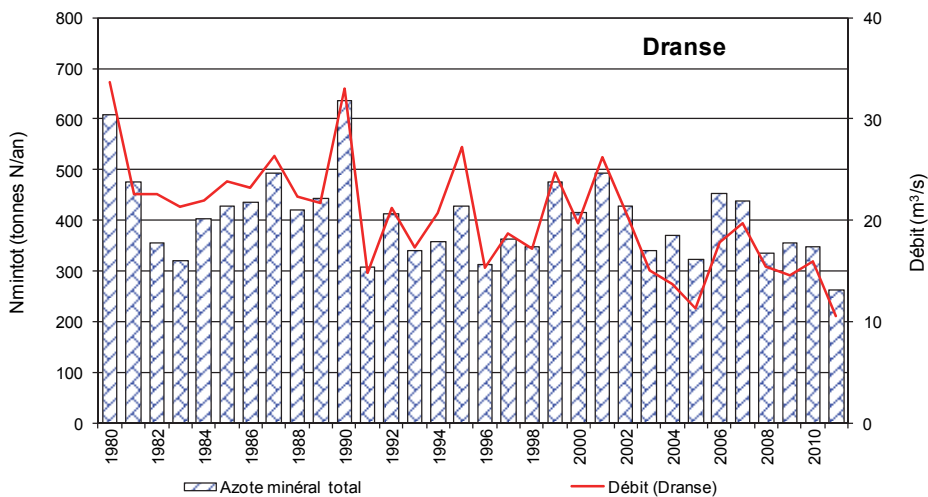


Figure 8 : Azote minéral total - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex), la Dranse, la Venoge et l'Aubonne.

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

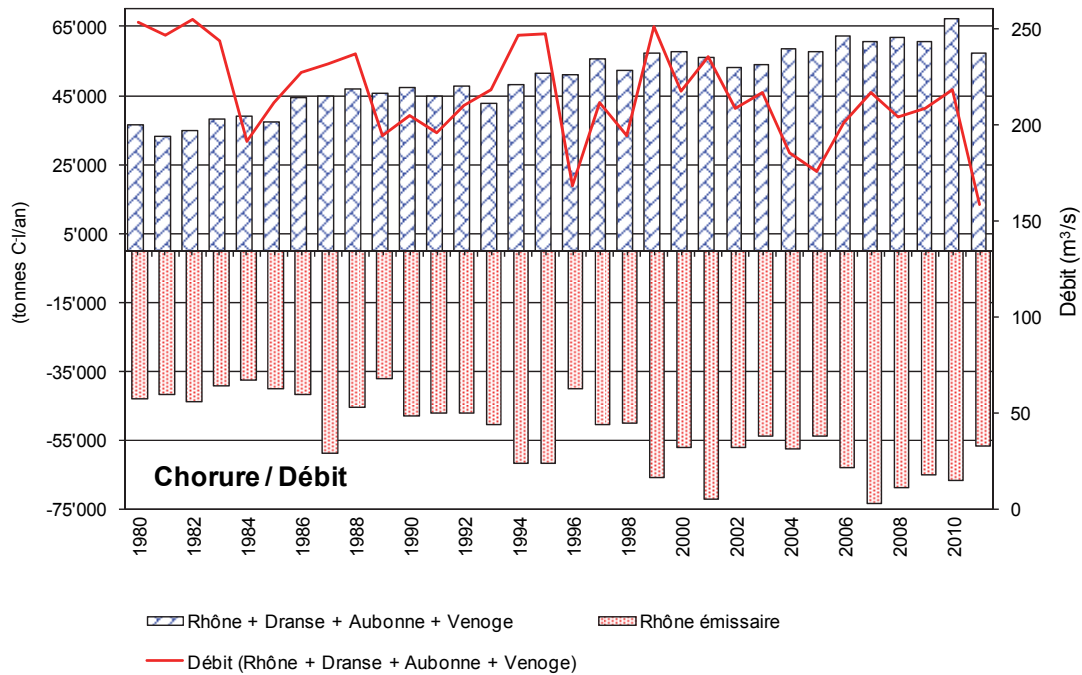


Figure 9 : Chlorure - Apports annuels par les 4 affluents principaux et perte annuelle par l'émissaire.

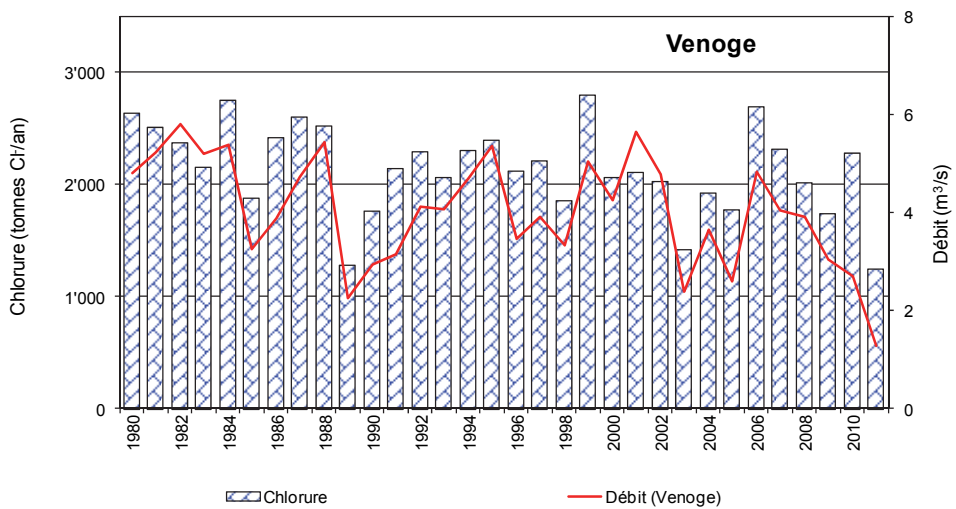
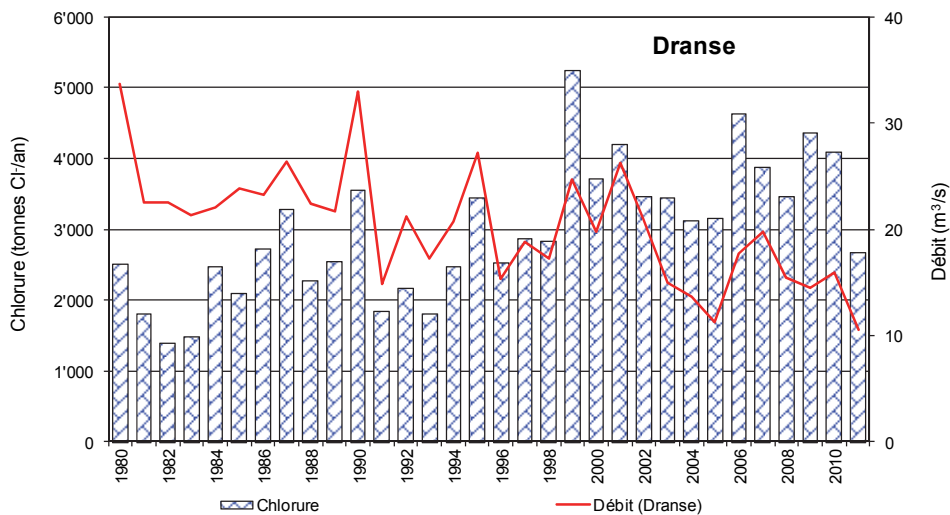
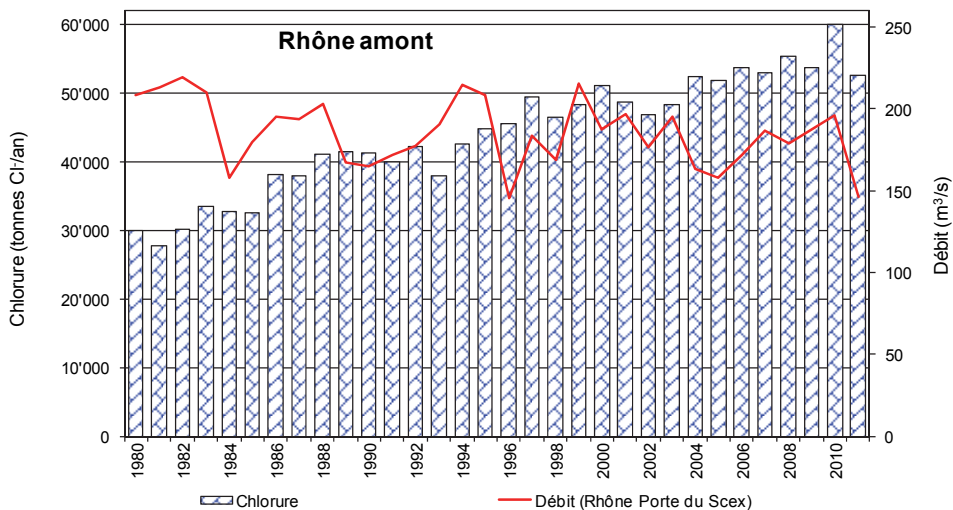
Figure 9 : Chloride - Annual inflow from the 4 main tributaries, and annual loss via the effluent river.

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

Une augmentation des apports en chlorure est constatée pour le Rhône amont depuis les années 80 et pour la Dranse depuis le milieu des années 90 (figure 10).

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). En 2011, les apports par le Rhône amont s'élevaient 52'601 tonnes et sont en baisse par rapport à 2010 (60'000 tonnes). Toutefois, cette baisse est supposée être essentiellement liée à la baisse des débits et devra être confirmée en 2012, tout comme pour les autres rivières (Dranse, Aubonne, Venoge).

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 surtout influencés par le lessivage des sols agricoles et de l'utilisation d'engrais à base de chlorure (chlorure de potassium).



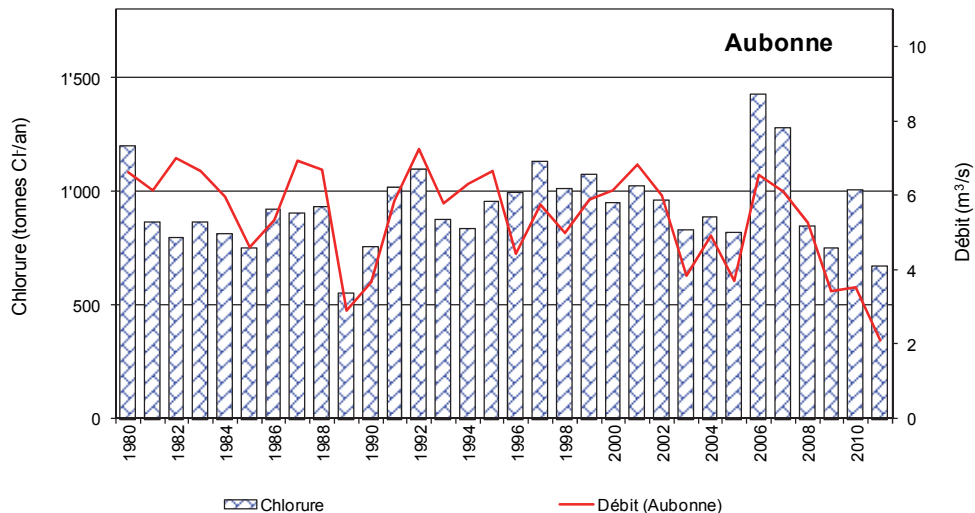


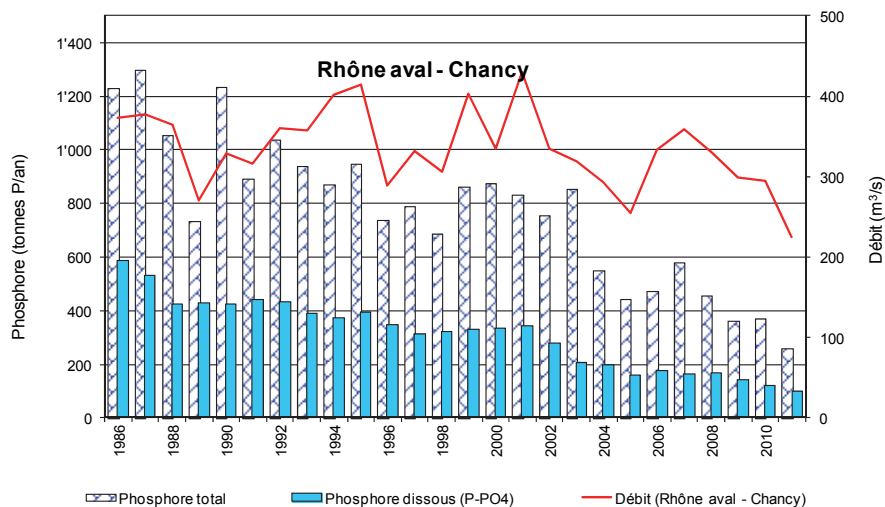
Figure 10 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône amont (Porte du Scex), la Dranse, la Venoge et l'Aubonne.

Figure 10 : Chloride - 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 1986-2011 : 243 m³/s). Le long de son parcours, il reçoit les eaux de quelques affluents, le principal étant l'Arve (débit moyen 1988-2011 : 69.3 m³/s) puis l'Allondon (débit moyen 1988-2011 : 3.3 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



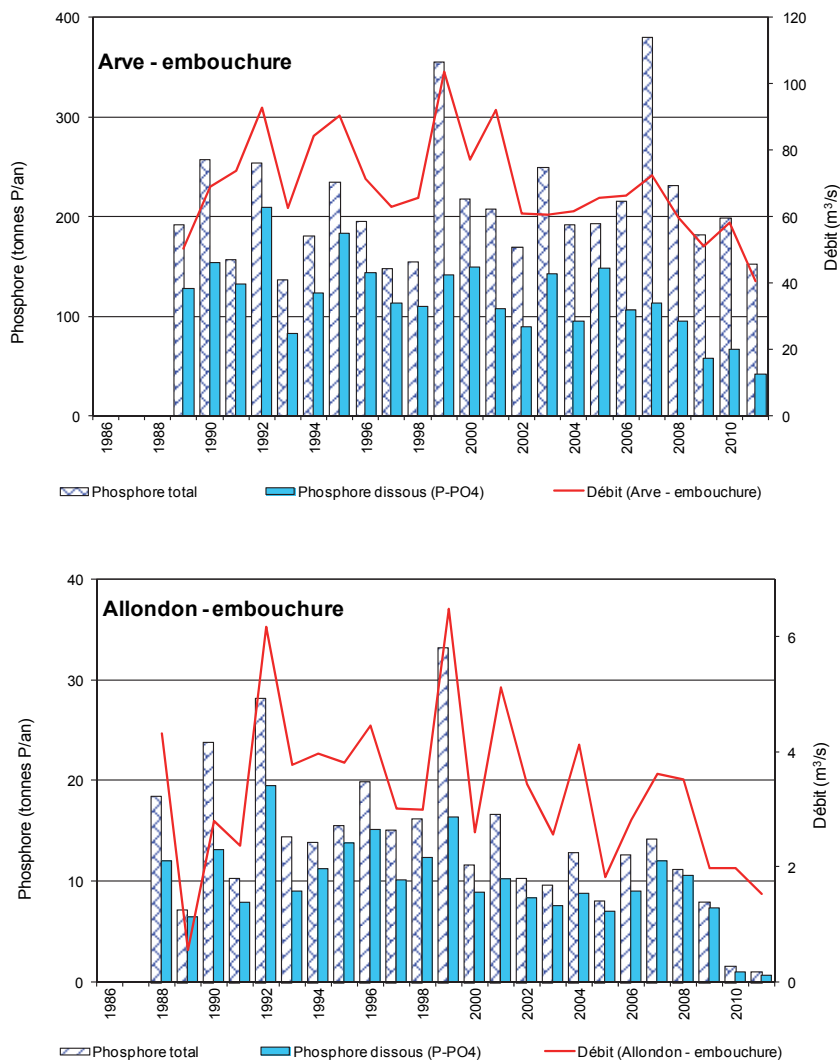


Figure 11 : Phosphore total et phosphore réactif soluble (P-PO₄) - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

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

➤ **Phosphore total et Phosphore réactif soluble (P-PO₄)**

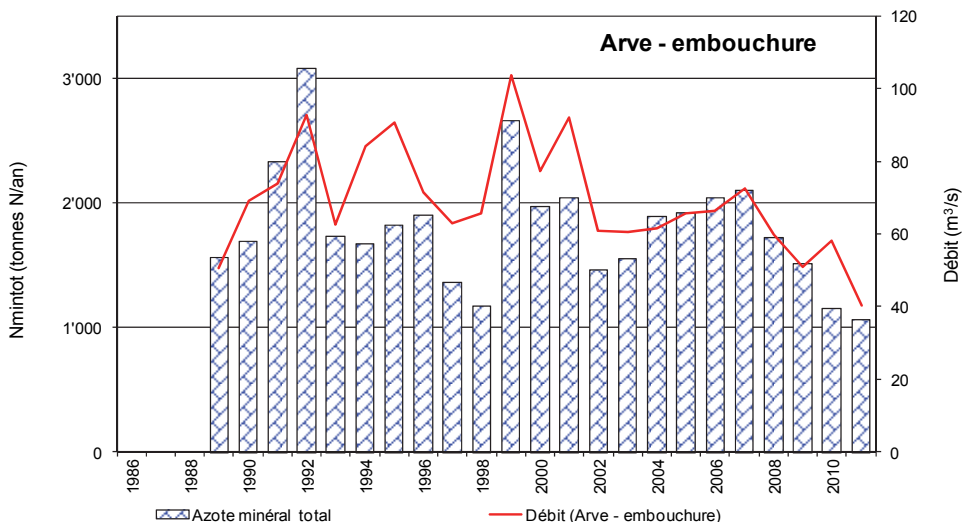
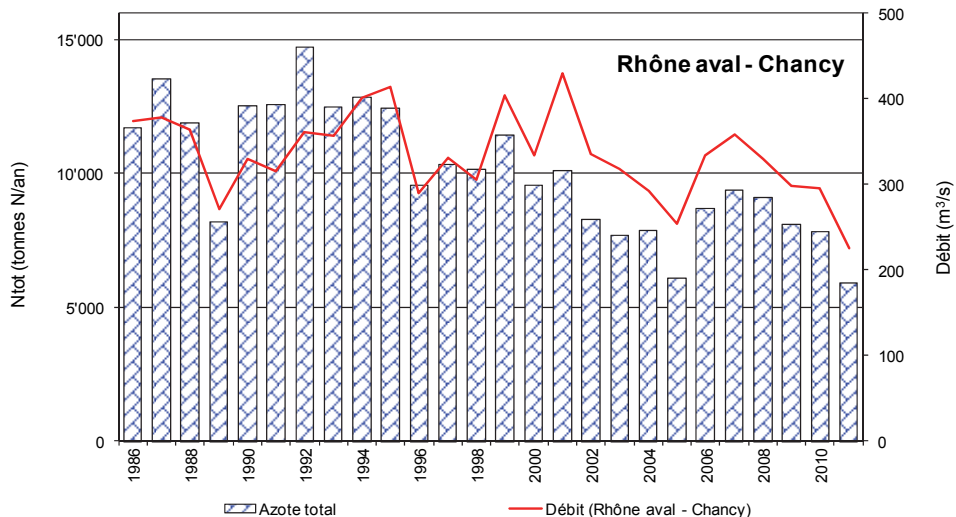
Comme expliqué au paragraphe 3.1, c'est le phosphore réactif soluble qui domine dans le Rhône en aval du lac, du fait de la sédimentation du phosphore particulaire dans le lac. La diminution du phosphore total est surtout liée aux mesures d'assainissement domestique et agricole, qui sont les 2 principales 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'Aïre, 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⁻¹ au milieu des années 90 à des valeurs oscillant entre 0.9 et 1.0 mgP·L⁻¹ depuis 2008.

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.

Il faut relever la très nette baisse du phosphore dans le bassin de l'Allondon du fait de 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 dont l'exutoire est le Rhône aval, réalisé à fin 2009 (arrêt définitif : 19.01.2010).

4.2 Azote total ou minéral total

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 et le Rhône aval à Chancy. Cette baisse est plus nette pour l'Allondon du fait de la suppression des rejets de deux STEP à fin 2009 (cf. paragraphe précédent).



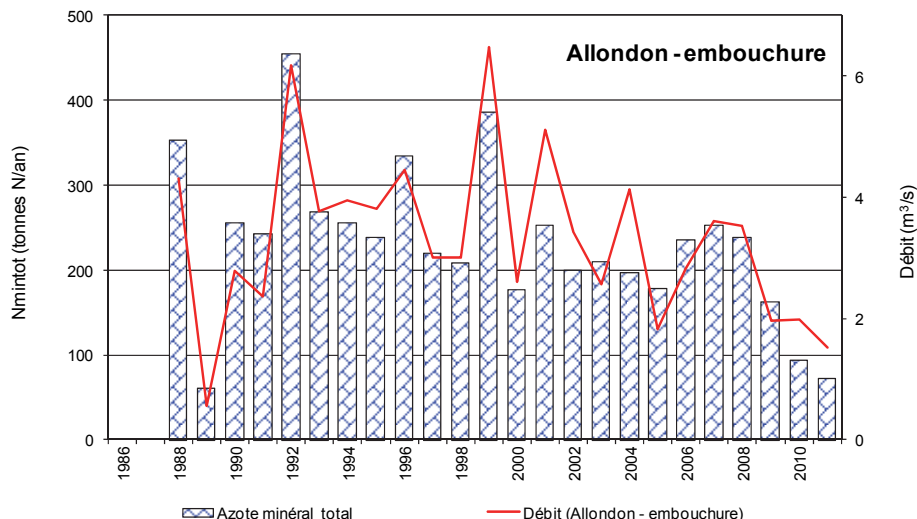


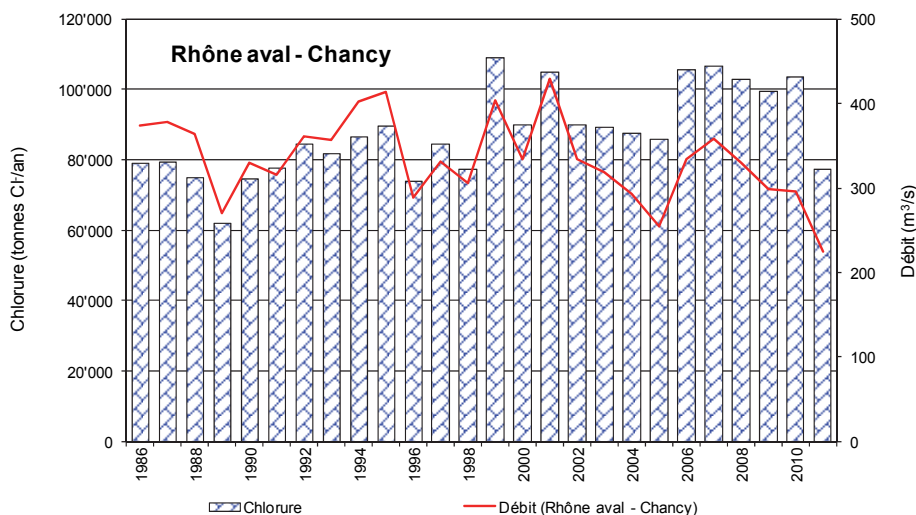
Figure 12 : Azote total ou azote minéral total - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.

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

4.3 Chlorure

Globalement, les apports en chlorure par les rivières du bassin Rhône aval sont mieux corrélés avec les débits que pour les rivières du bassin du Léman. Les apports proviennent du lessivage des sols agricoles et de l'utilisation de sels de déneigement. On note tout de même, surtout depuis ces cinq dernières années, une tendance à la hausse pour le Rhône à Chancy, exceptée pour l'année 2011 du fait d'une plus faible pluviométrie.

Cette tendance à la hausse observée sur le Rhône à Chancy peut s'expliquer en partie par l'arrivée des eaux du Léman plus riches en chlorure (LAZZAROTTO, KLEIN, 2012).



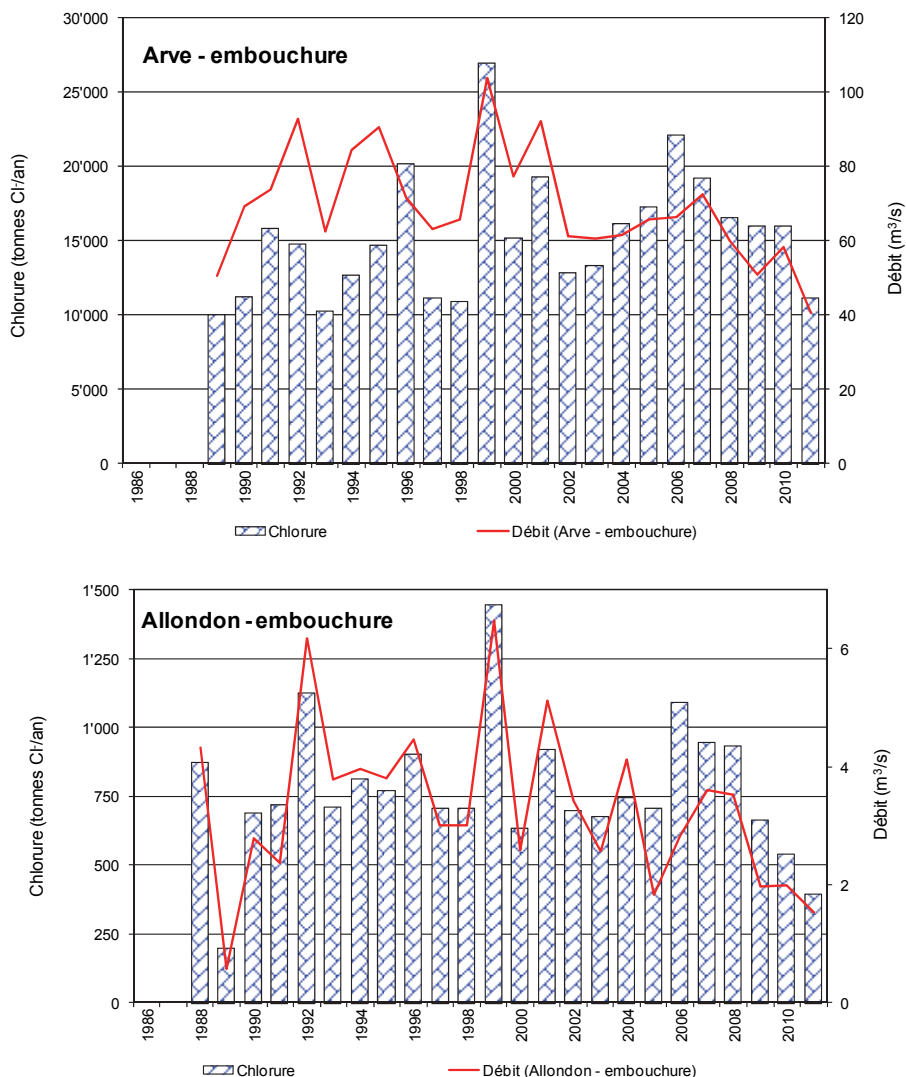


Figure 13 : Chlorure - Apports annuels par le Rhône à Chancy, l'Arve et l'Allondon.
Figure 13 : Chloride - Annual inflow from the Rhône (Chancy), the Arve and the Allondon.

5. CONCLUSIONS

Les débits moyens annuels des affluents du Léman 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 2011 présente une pluviométrie de 750.1 mm, très inférieure à la moyenne inter-stations relevée sur 4 stations entre 1980 et 2011 (1'011 mm).

L'analyse des flux de nutriments des principaux affluents du territoire de la CIPEL montre certaines différences selon les bassins versants de rivières. Toutefois, l'année 2011 est marquée pour l'ensemble des rivières, par une baisse significative des apports avec des débits inférieurs de près de 25% par rapport à 2010.

Les apports en phosphore total par les principaux affluents du Léman ont diminué ces 5 dernières années, notamment pour le Rhône amont. Les apports en phosphore réactif soluble ont également diminué pour l'ensemble des rivières suivies, avec une baisse spectaculaire dès 2010 pour l'Allondon du fait du raccordement à fin 2009 des eaux usées de deux STEP de ce bassin à une STEP du canton de Genève qui déverse dans le Rhône aval.

L'absence de dénitrification dans la majeure partie des STEP du bassin du Léman et une fertilisation azotée stable depuis près de 20 ans expliquent que les apports en azote minéral total sont relativement stables et suivent principalement la variation des débits.

Les quantités de chlorure sont en hausse, notamment dans le Rhône amont, exceptée en 2011 en raison de la faible pluviométrie. Cette augmentation trouve deux explications possibles : la présence d'industries et l'utilisation de sels de déneigement. Une tendance à la hausse depuis les années 90 est également constatée dans la Dranse. 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 surtout influencés par l'utilisation d'engrais à base de chlorure et au lessivage des sols agricoles.

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.
- LAZZAROTTO, J., KLEIN, A., (2012) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2011, 26-50.
- OFS (2010) : Bilan de l'azote. Office fédéral de la statistique.
- QUÉTIN, P. (2012) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2011, 14-25.
- RAPIN, F., KLEIN, A., (2011) : Apports par les affluents au Léman et au Rhône à l'aval de Genève et leur qualité. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2010, 157-178
- STRAWCZYNSKI, A. (2012) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2011, 151-160.

Tableau 2 : Concentrations moyennes en 2011.

Table 2 : Mean concentrations in 2011.

Nom Rivière	Débit (m ³ /sec)	N-NH4 (mgN/L)	N-NO2 (mgN/L)	N-NO3 (mgN/L)	Nmintot (mgN/L)	Ntot (mgN/L)	P-PO4 (mgP/L)	ProtBrut (mgP/L)	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	Ca (méq/L)	Mg (méq/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	SiO2 (mg/L)	DOC (mg/L)	TOC (mg/L)	MES (mg/L)
Rhône amont	145.91	0.168		0.676		0.760	0.012	0.120	11.43	53.26	39.82	4.80	7.66	1.88	2.82	0.61	1.74	190.29
Dranse	10.56	0.028	0.007	0.748	0.784	0.864	0.007	0.055	7.99	88.64	84.91	11.38	5.50		3.72	1.72		
Aubonne	2.10	0.040	0.018	1.604	1.664		0.006	0.022	10.10	6.31	61.76	6.18	6.71	1.20	3.35	3.49		5.00
Venoge	1.28	0.627	0.058	3.919	4.619		0.033	0.098	30.74	26.84	73.82	8.20	17.04	3.56	4.59	3.44		30.05
Versoix	2.03	0.206	0.006	1.054	1.260	1.326	0.023	0.294	10.12	7.31	70.45	6.21	5.92	0.95		2.53		
Veveyse	1.13	0.059	0.009	0.536	0.606		0.005	0.457	9.76	13.49	51.54	5.65	7.58	1.47	3.86	3.28		520.44
Promenthouse	0.63	0.019	0.006	2.011	2.063		0.010	0.047	8.17	6.35	63.79	6.83	4.84	1.29	3.97	2.74		18.26
Chamberonne	0.67	0.099	0.019	1.420	1.537		0.034	0.072	19.22	42.33	59.62	7.54	11.84	2.50	3.34	2.25		14.01
Eau Froide	0.45	0.166	0.006	8.049	8.238		0.014	0.051	10.90	72.52	78.78	9.39	19.22	2.70	4.61	2.97		9.73
Morges	0.17	0.074	0.038	4.595	4.716		0.057	0.106	26.42	34.66	92.92	12.38	14.92	4.22	8.43	3.63		17.40
Boiron-de-Morges	0.07	0.558	0.030	4.186	4.819		0.082	0.143	21.14	35.23	71.90	9.77	14.62	3.91	9.40	3.84		29.05
Dullive	0.17	0.214	0.016	2.964	3.189		0.057	0.102	16.67	18.61	89.75	10.24	9.53	2.35	6.33	3.66		18.19
Bassin versant du Rhône aval																		
Rhône émissaire	188.08	0.032		0.419	0.450	0.563	0.007	0.029	9.55	46.43	41.14	5.79	6.44	1.33		1.41		
Arve	40.45	0.129	0.044	0.646	0.810	0.833	0.033	0.119	8.73	52.30	51.11	5.87	5.81	1.27				
Allondon	1.53	0.009	0.004	1.468	1.482	1.508	0.014	0.022	8.24	7.98	76.88	6.51	4.43	0.62				
Rhône Chancy	225.15		0.016	0.718	0.718	0.834	0.014	0.036	10.89	49.07	47.25	1.43	7.07	1.80	1.34	1.26		19.56

Tableau 3 : Flux en 2011.

Table 3 : Flows in 2011.

Nom Rivière	Débit (m3/sec)	N-NH4 (t/an)	N-NO2 (t/an)	N-NO3 (t/an)	Nmintot (t/an)	Ntot (t/an)	P-PO4 (t/an)	ProtBrut (t/an)	Cl (t/an)	SO4 (t/an)	Ca (t/an)	Mg (t/an)	Na (t/an)	K (t/an)	SiO2 (t/an)	DOC (t/an)	TOC (t/an)	MES (t/an)	
Bassin versant du Léman																			
Rhône amont	145.91	772.85		3'108.5		3'495.4	56.30	551.79	52'601	245'064	183'230	22'109	35'235	8'654	1'2965	2'793	8'011	875'607	
Dranse	10.56	9.16	3.05	248.9	261.1	287.5	2.46	18.31	2659	29507	28268	3788	1832		1238	573			
Aubonne	2.10	2.69	1.32	106.4	110.4		0.41	1.49	670	419	4098	410	446	80	222	231		332	
Venoge	1.28	25.30	2.92	158.0	186.3		1.35	3.97	1239	1082	2977	331	687	144	185	139		1212	
Versoix	2.03	13.21		67.5	80.7	85.0	1.46	18.85	648	469	4515	398	379	61		162			
Veveyse	1.13	2.11	0.35	19.1	21.6		0.18	16.26	347	480	1834	201	270	52	138	117		18523	
Promenthouse	0.63	0.38	0.12	40.0	40.5		0.19	0.93	163	126	1270	136	96	26	79	55		364	
Chamberonne	0.67	2.08	0.40	29.9	32.4		0.73	1.51	405	893	1257	159	250	53	70	47		295	
Eau Froide	0.45	2.36	0.32	114.0	116.7		0.20	0.72	154	1027	1116	133	272	38	65	42		138	
Morges	0.17	0.38	0.25	24.0	24.6		0.30	0.55	138	181	484	65	78	22	44	19		91	
Boiron-de-Morges	0.07	1.20	0.16	9.0	10.3		0.18	0.31	45	76	154	21	31	8	20	8		62	
Dullive	0.17	1.17	0.06	16.2	17.4		0.31	0.56	91	102	490	56	52	13	35	20		99	
Total BV Léman		832.89	8.95	3'941.50	902.00	3'867.90	64.07	615.25	59'160	279'426	229'693	27'807	39'628	9'151	15'061	4'206	8'011	896'723	
Bassin versant du Rhône aval																			
Rhône émissaire	188.08	187.18		2'484.6		3'338.2	38.67	169.61	56'671	275'393	244'018	34'357	38'224	7'872		8'337			
Arve	40.45	164.12	46.01	823.5	1'033.6	1'062.1	41.59	152.00	11'134	66'714	65'203	7'492	7'406	1'625					
Allondon	1.53	0.44	0.23	70.7	71.3	72.6	0.69	1.05	397	384	3'702	313	213	30					
Rhône Chancy	225.15			5'100.0	5'100.0	5'921.6	99.38	257.44	77'303	348'455	335'481	10'183	50'198	12'789	9'537	8'932	11'962	138'919	