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

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

CAMPAGNE 2016-2018

PAR

Sabesan SABARATNAM et Adrien ORIEZ

SECRÉTARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN - CHANGINS, CASE POSTALE 1080, CH - 1260 NYON 1

RÉSUMÉ

Les apports en azote, phosphore et chlorure, ont été suivis sur la période 2016-2018 comme chaque année depuis 1986 aux embouchures des principaux affluents du Léman (Rhône amont, Dranse, Aubonne, Venoge et Versoix) ainsi que dans le Rhône à l'aval de Genève (Rhône émissaire jusqu'en 2017, Rhône Pâquis ensuite). Une dizaine d'affluents secondaires sont par ailleurs aussi suivis. Ces diverses données permettent d'estimer les flux annuels de nutriments apportés au lac, et ainsi de mieux comprendre l'évolution des concentrations dans le lac. Pour connaître les exportations à l'aval du lac, le Rhône à Chancy est suivi depuis 1963 alors que ses affluents l'Arve et l'Allondon le sont respectivement depuis 1989 et 1988.

Après plusieurs années de baisse, le Rhône amont présente des valeurs de phosphore total particulièrement élevées en 2018, lié au débit moyen annuel le plus haut observé depuis 1986. Cette situation a participé à une hausse de la concentration de phosphore total dans le Léman, passant de 17.75 μgP/L (2017) à 19.9 μgP/L (2018).

Les flux de chlorure, d'azote minéral et d'orthophosphate restent en général stables sur la majorité des affluents.

ABSTRACT

Nitrogen, phosphorus and chloride inputs were monitored over the 2016-2018 period, as they have been every year since 1986, at the mouths of Lake Geneva main tributaries (upstream Rhône, Dranse, Aubonne, Venoge and Versoix) and in the Rhône downstream from Geneva (emissary Rhône until 2017, then Pâquis Rhône). About ten secondary tributaries are also monitored. These various data make it possible to estimate the annual nutrient fluxes brought to the lake, and thus to better understand the evolution of concentrations in the lake. To find out about exports downstream of the lake, the Rhône at Chancy has been monitored since 1963, while its tributaries, the Arve and Allondon, have been monitored since 1989 and 1988 respectively.

After several years of decline, the upstream Rhône shows particularly high total phosphorus values in 2018, linked to the highest average annual flow observed since 1986. This situation contributed to an increase in the total phosphorus concentration in Lake Geneva from 17.75 μ gP/L (2017) to 19.9 μ gP/L (2018).

Chloride, mineral nitrogen and orthophosphate flows generally remain stable on most tributaries.

1. GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODES

Le programme de surveillance sur la période 2016-2018 comprend le suivi de plusieurs rivières principales : le Rhône amont, la Dranse, la Venoge, l'Aubonne, la Versoix, le Rhône émissaire, l'Arve, l'Allondon et le Rhône à Chancy (Figure 1). Toutes les autres rivières du bassin lémanique sont suivies dans le cadre de programmes cantonaux ou des réseaux de surveillance français (réseau de contrôle RCO et Réseau du contrôle de surveillance RCS) mais les données correspondantes ne sont pas prises en considération dans le présent rapport, en raison de leur faible contribution au flux total (<3% en moyenne pour l'ensemble, sur le phosphore total par exemple).

Pour ces rivières, les prélèvements sont effectués, soit en continu (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).

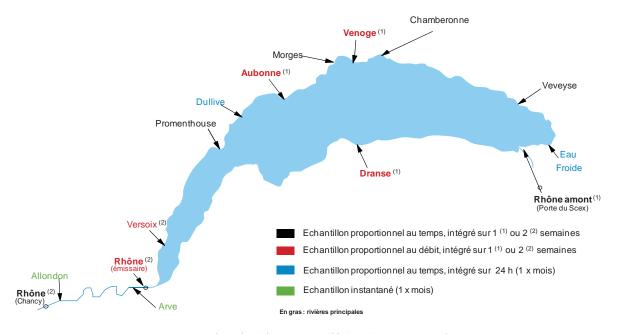


Figure 1 : Situation des diverses rivières étudiées et types d'échantillonnage, jusqu'en 2017.

Figure 1: Locations of the various rivers investigated, and types of sampling, until 2017.

Plusieurs changements sont à noter concernant le prélèvement des échantillons (Annexe 1). A partir de 2018, les stations Versoix-Embouchure et Rhône-Emissaire ont été remplacées par la station Versoix-Amont CFF et Rhône-Pâquis (prélèvements mensuels instantanés). A noter aussi que dans le cadre d'une homogénéisation du suivi des rivières, le canton de Vaud a décidé de n'effectuer plus que des prélevés instantanés à partir de 2018. Ainsi seuls des prélèvements instantanés mensuels sont disponibles en 2018 pour l'Aubonne et la Venoge. Cette situation requiert d'interpréter les résultats fournis avec précaution. Par ailleurs, le préleveur d'échantillons de la station de Dranse-Vongy étant tombé en panne en juin 2018, les flux présentés pour cette année ne peuvent pas être considérés comme représentatifs de l'année.

Les prélèvements et les analyses chimiques sont effectués dans les rivières suivantes par différents laboratoires :

- Versoix, Arve, Allondon et Rhône émissaire : Service de l'écologie de l'eau du canton de Genève ;
- Venoge et Aubonne: Division protection des eaux, Direction générale de l'environnement du canton de Vaud;
- Rhône amont à la Porte du Scex : Laboratoire du Service de la protection de l'environnement du canton du Valais et Laboratoire EAWAG (programme NADUF);
- Rhône à Chancy : Laboratoire EAWAG (programme NADUF) ;
- Dranse: Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA).

La validité des résultats est testée deux fois par année par des analyses interlaboratoires organisées dans le cadre de la CIPEL auxquelles participent environ 20 laboratoires accrédités pour ce type d'analyses (Vargas, 2017).

La plupart des analyses sont effectuées sur des échantillons d'eau filtrée (maille de $0.45~\mu m$) hormis pour les concentrations de phosphore total et d'azote total où elles sont déterminées sur les échantillons d'eau brute.

Le présent rapport est basé sur l'évolution temporelle des apports en nutriments par les affluents ainsi que les quantités exportées à l'aval.

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

$$\sum_{i=1}^{N} Ci \cdot Qi$$

Qmoy = débit moyen annuel

2. DEBITS, APPORTS ANNUELS DES AFFLUENTS DU LÉMAN ET EXPORTATIONS ANNUELLES DU RHÔNE AVAL ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS

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. Par rapport à la moyenne interannuelle 1965-2018, les débits 2018 sont souvent plus élevés (Tableau 1). Des épisodes pluviométriques intenses peuvent expliquer cette situation.

Année	Rhône amont	Dranse	Aubonne	Venoge	Versoix	Rhône émissaire	Arve	Allondon	Rhône Chancy
2016	181.5	23.1	6.1	4.6	3.5	267.8	93.0	2.89	341.5
2017	158.8	14.3	2.9	1.7	2.2	200.2	63.2	2.66	261.4
2018	210.7	30.1	6.4	5.4	3.9	320.3	84.6	3.37	353.1
Moyenne 1965-2018	184.3	20.3	5.3	4.5	3.2	245.6	72	3.4	335.1

Tableau 1 : Débits moyens annuels des affluents et de l'émissaire à Genève (m³ s⁻¹).

Table 1: Mean annual flow rates of the tributaries and of the effluent river in Geneva (m³ s⁻¹).

La Figure 2 représente la contribution des débits par chacun des principaux affluents du Léman ainsi que la pluviométrie moyenne annuelle à l'interstations (Genève, Changins, Pully, Montreux, Thonon). Les débits sont influencés par la pluviométrie et le Rhône amont représente, sur la moyenne interannuel 2000-2018, près de 86% des apports au Léman avec un volume d'eau fortement lié à la fonte des neiges. Avec 917mm, 2018 est une année inférieure à la moyenne interstations de 1002mm. D'intenses événements pluviométriques ont toutefois marqué cette année.

A signaler par ailleurs qu'en raison d'un manque de données sur l'interstations avant 1981, ce sont les données disponibles à la station de Genève-Cointrin qui sont affichés de façon distinctive sur la Figure 2.

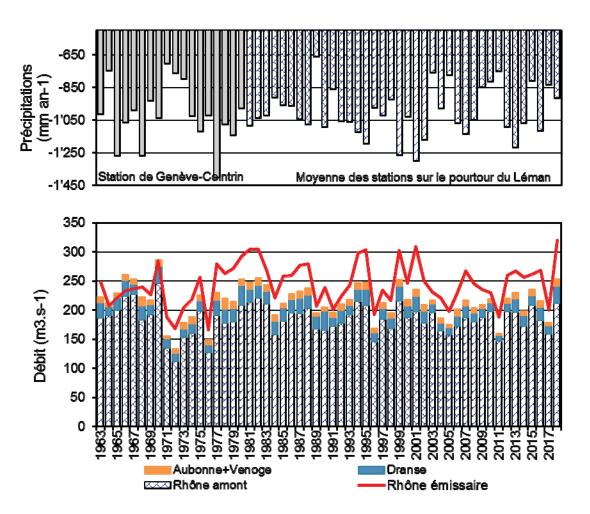


Figure 2: Débits moyens annuels des diverses rivières et pluviométrie annuelle pour l'interstations.

Figure 2: Mean annual flow rates of various rivers and annual rainfall at the interstations.

3. APPORTS ANNUELS DES AFFLUENTS DU LÉMAN

3.1 PHOSPHORE

Les flux de phosphore seront subdivisés en deux catégories (Klein, 2016) :

- 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 les 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^{3-}) 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. Une action enzymatique peut aussi être à l'origine d'une augmentation du P-assimilable. 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 peut être considérée comme à disposition des algues.

A contrario le phosphore particulaire est essentiellement constitué de phosphore apatitique très difficilement, voire non assimilable au plan biologique.

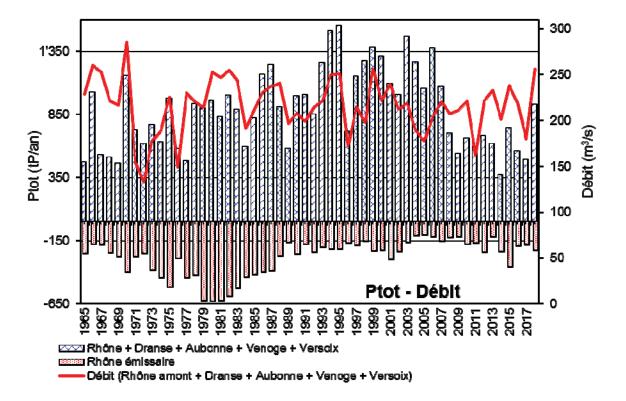


Figure 3 : Apports annuels de phosphore total par les quatre affluents principaux du Léman et exportation annuelle par l'émissaire.

Figure 3: Annual total phosphorus inputs by the four main tributaries of Lake Geneva and annual loss by the outfall.

Alors que les flux entrants de phosphore total avaient entamé une tendance à la baisse depuis les années 2000, les forts débits de l'année 2018 ont fait remonter ces flux à des valeurs observées il y a 20 ans (Figure 3). C'est notamment le Rhône amont qui a vu ses flux augmenter fortement sur cette année. Sur la période étudiée, un coefficient de corrélation r=0.35 s'observe entre le flux annuel des principaux affluents et le débit moyen annuel correspondant, malgré la grossièreté de l'estimation du débit moyen. Nous remarquons par ailleurs que les flux de sortie sont systématiquement inférieurs aux entrées, ce qui dénote probablement un phénomène de sédimentation du phosphore particulaire.

La valeur particulièrement élevée en 2018 sur la Dranse (Figure 5) nécessite d'être considérée avec prudence en raison de la panne du préleveur d'échantillon. Pour cette raison, la station n'a exceptionnellement pas été intégrée dans le flux des affluents principaux en Figure 3. Sur la période 2000-2017, le flux de phosphore total moyen annuel de la Dranse se monte à 25t. Environ 3% des apports en Ptot au Léman proviennent de cet affluent.

Il n'y a pas de tendance marquée au niveau du Rhône-émissaire depuis les années 90. En moyenne, sur la période 2000-2018, environ 190 tonnes de phosphore total sortent du lac chaque année.

La limitation du phosphore total passe notamment par des mesures de contrôle d'érosion sur des sols dont le mode d'utilisation est jugé à risque. Il faut toutefois garder en tête que la limitation des flux de phosphore total n'entraîne pas forcément un effet sur la végétation aquatique. Le phosphore apatitique, d'origine détritique allochtone principalement, est par exemple pratiquement insoluble et par conséquent peu mobilisable. Son importance dans les phénomènes d'eutrophisation est donc faible, voire nulle. Dans le premier centimètre de sédiment, jusqu'à 45% du phosphore total est apatitique (Rapin et al., 1985).

D'autre part, une étude de Burrus et al. (1990) montrait que sur le Rhône amont seule une petite partie du phosphore particulaire, qui représente 94% du Ptot sur ce bassin, pouvait être considérée comme biodisponible : 14% en hiver et 7% en été.

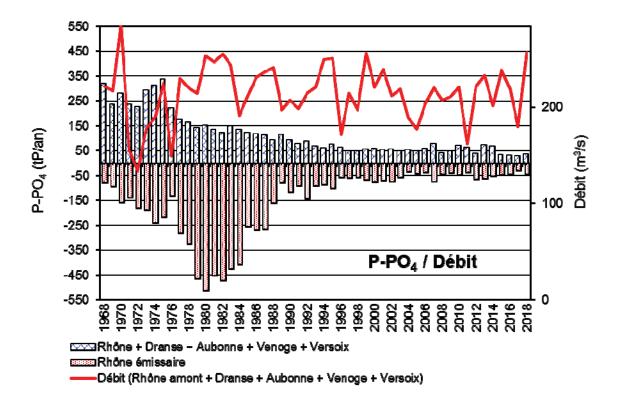


Figure 4 : Apports annuels de phosphore réactif soluble par les quatre affluents principaux du Léman et perte annuelle par l'émissaire.

Figure 4: Annual inputs of soluble reactive phosphorus from the four main tributaries of Lake Geneva and annual loss by the outfall.

Concernant le phosphore réactif soluble, la Figure 4 permet de remarquer rapidement qu'il ne semble pas exister de relation avec le débit moyen annuel. Un coefficient de corrélation r=-0.12 confirme cette observation. Concernant le bilan de masse, après une large domination des flux sortants jusqu'à la fin des années 80, nous observons une stabilisation. Sur les quatre dernières années, les exportations ont été en moyenne supérieures de 9t aux apports des affluents. Une relative stabilité des apports sur la majorité des affluents s'observe sur ces quatre années (Figure 5).

Contrairement au Ptot, les STEP restent des contributeurs non-négligeables pour ce paramètre. En effet, près d'un quart du P-PO4 mesuré à l'exutoire du Rhône-amont, qui représente pour ce paramètre 75% des apports au lac, s'explique par des intrants ponctuels. Et en sachant que les informations fournies sont lacunaires, l'importance des flux ponctuels est probablement sous-estimée (Sabaratnam et Oriez, 2019). Une transmission complète des flux de P-PO4 par les STEP, aussi bien en entrée qu'en sortie, permettrait de connaître l'importance réelle des apports ponctuels ainsi que le rendement de traitement sur cet élément. Une discussion concernant la possibilité d'amélioration du rendement nécessite d'être engagée, dans un but de limitation des apports en éléments nutritifs au lac.

Un autre point concerne la diminution drastique observée après les années 70 qui s'explique par la mise en place de mesures d'assainissement domestique ainsi que par l'interdiction des lessives contenant du phosphate (1986 en Suisse, 2007 en France). Les mesures de contrôle d'épandage de phosphore dans l'agriculture participent probablement aussi à la diminution de ces apports. En Suisse, les prestations écologiques requises exigent désormais des agriculteurs un bilan de fumure équilibré. En France, le Ministère de l'agriculture préconise une gestion durable de la ressource qui passe notamment par des pratiques agricoles plus responsable, par exemple avec l'utilisation de variétés ayant des meilleures performances dans l'acquisition/utilisation du P ou encore par des mesures de protection contre l'érosion et le ruissellement.

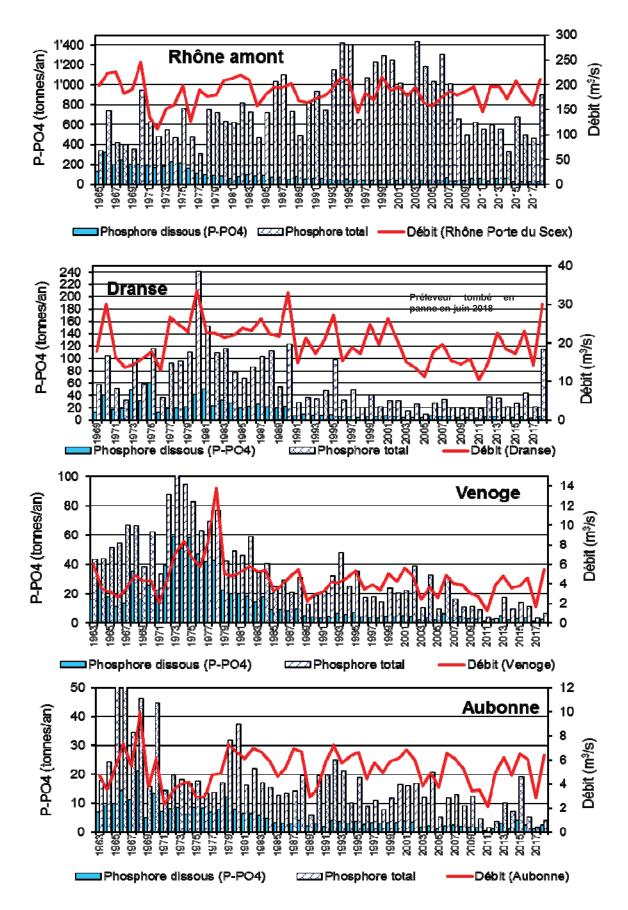


Figure 5 : Phosphore total et phosphore réactif soluble (P-PO4) par les quatre principaux affluents. Figure 5 : Total phosphorus and soluble reactive phosphorus (P-PO4) on the four main tributaries.

3.2 AZOTE MINÉRAL TOTAL

Après une forte augmentation de l'azote minéral total au début des années 1960, nous assistons depuis à une stabilité avec en moyenne 4700t par an sur les 20 dernières années (Figure 6). Cette situation s'explique probablement par des pratiques agricoles qui n'ont pas changées drastiquement au niveau des intrants azotés. Ainsi même si l'utilisation comme engrais a diminué, une plus grande utilisation d'aliments pour animaux riches en azote compense largement la diminution. L'interdiction d'utilisation des boues d'épuration comme engrais agricole en 2006 par la Suisse ne semble pas avoir eu un impact au niveau des flux dans les eaux. Dans son rapport concernant les *Flux d'azote en Suisse en 2020*, l'OFEV déclare que « seule l'agriculture présente encore de gros potentiels de réduction » (OFEV, 2013). Les objectifs de réduction de pertes au niveau suisse à l'horizon 2021 (95'000t pour Ntot et 41'000t pour NH3) ne seront pas atteints selon l'OFAG (OFAG, 2018).

Pendant une large partie de la période 1963-2018, les apports des principaux affluents étaient supérieurs aux exportations par le Rhône émissaire, toutefois depuis cinq ans les exportations semblent augmenter jusqu'à dépasser les apports. Il est nécessaire de vérifier si cette tendance se poursuit sur les prochaines années.

Les relations débit/flux sont particulièrement bonnes sur ce paramètre pour tous les affluents, excepté pour le Rhône amont (Figure 7). La situation est par ailleurs généralement stable sur tous les affluents. Une augmentation des apports est observée sur le Rhône et sur la Dranse en 2018. Dans ce dernier cas la valeur obtenue n'est pas représentative de l'année, comme il en a été mentionné plus haut.

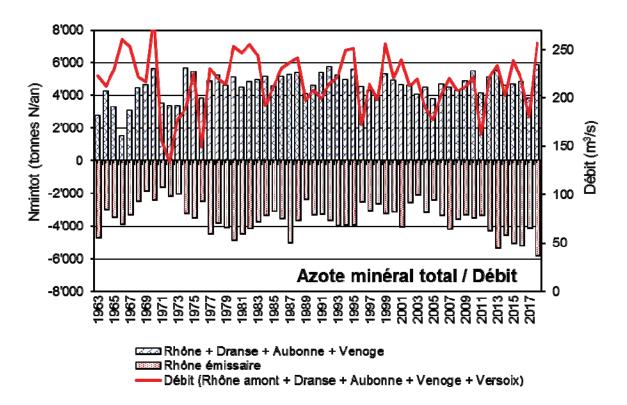


Figure 6 : Apports annuels d'azote minéral total par les quatre affluents principaux du Léman et exportation annuelle par l'émissaire.

Figure 6: Annual contributions of total mineral nitrogen from the four main tributaries of Lake Geneva and annual loss by the outfall.

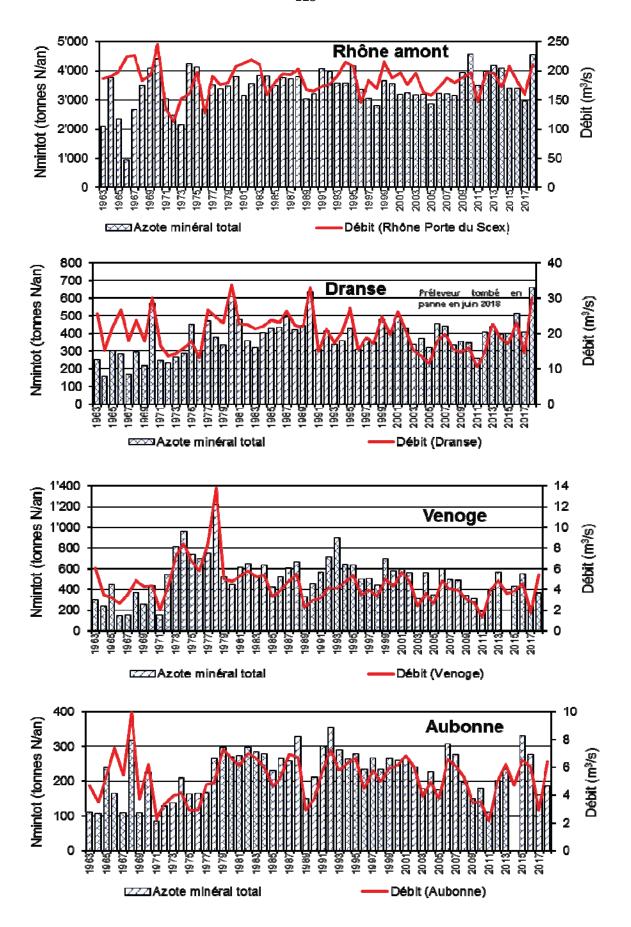


Figure 7 : Apports annuels d'azote minéral total par les quatre principaux affluents du Léman.

Figure 7: Annual contributions of total mineral nitrogen from the four main tributaries of Lake Geneva.

3.3 CHLORURE

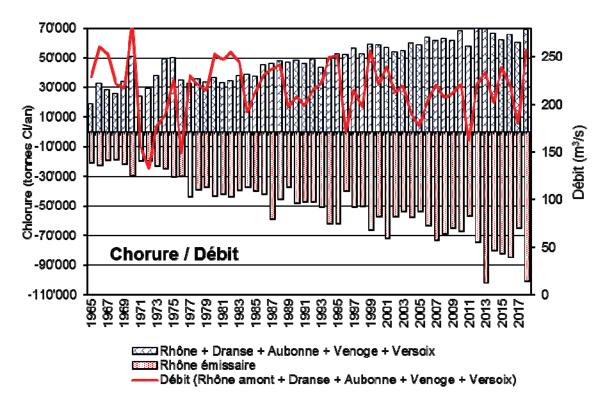


Figure 8 : Apports annuels de chlorure par les quatre affluents principaux du Léman et exportation annuelle par l'émissaire.

Figure 8: Annual chloride inputs by the four main tributaries of Lake Geneva and annual loss by the outfall.

Comparé à l'azote, il semble n'exister aucun lien entre les apports de chlorure et le débit moyen annuel (Figure 8). Ceci s'explique en particulier par des apports anthropiques importants via le salage des routes, notamment au niveau du bassin du Rhône (voir Rapin et Klein, 2011). La relation entre ces deux paramètres est nettement meilleure sur les rivières de plaine telles que la Venoge et l'Aubonne (Figure 9). A noter que de façon similaire aux autres paramètres, les flux de la Dranse pour 2018 n'ont pas été intégrés au bilan de masse (Figure 8). Sur la période 2000-2017, les apports de la Dranse se montaient à 3600t/an.

Après une période de forte augmentation, notamment sur le Rhône et la Dranse, les apports semblent se stabiliser depuis les années 2010. Par ailleurs depuis cette période les exportations sont systématiquement supérieures aux apports par les principaux affluents. Les concentrations dans le lac ont par contre entamé une stabilisation qu'à partir de 2015 (Tran Khac et al., 2019). Une analyse détaillée s'avère nécessaire afin de préciser ces différentes évaluations.

En 2018, la concentration pondérée par le débit des principaux affluents s'élève à 9.26 mg/L. Elle est de 9,96 mg/L sur le Rhône Emissaire.

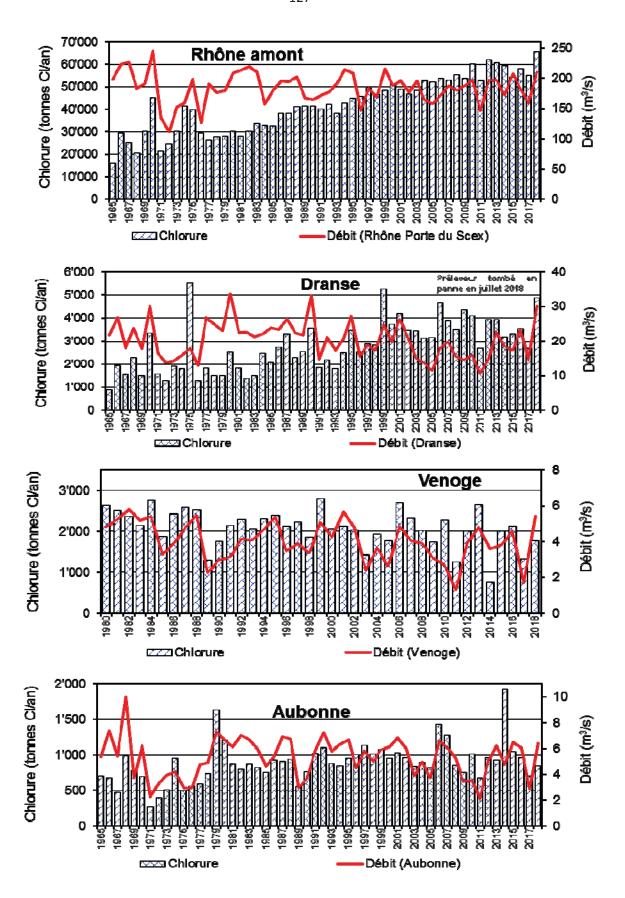


Figure 9 : Apports annuels en chlorure par les quatre principaux affluents du Léman.

Figure 9: Chloride inputs on the four main tributaries of Geneva Lake.

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

4.1 PHOSPHORE

A l'aval du lac, le Rhône poursuit son chemin sur le territoire genevois et quitte la Suisse à Chancy-Pougny (débit moyen 1986-2018 : 335 m³/sec). Sur son parcours le Rhône reçoit les eaux de deux affluents principaux : l'Arve (débit moyen 1988-2018 : 71.6 m³/sec) et l'Allondon (débit moyen 1988-2018 : 3.4 m³/sec). Le débit du Rhône aval mesuré en aval de Chancy est constitué en moyenne à plus de 95% par les débits du Rhône émissaire et de l'Arve.

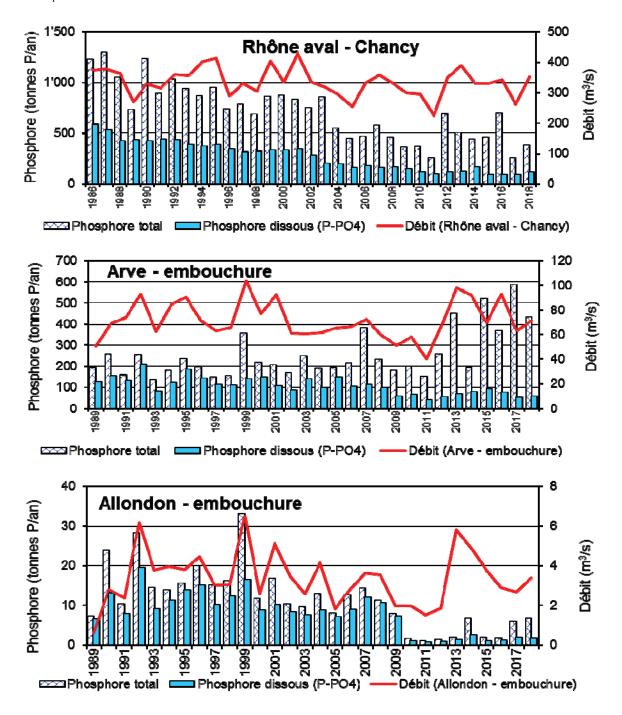


Figure 10: Phosphore total et phosphore réactif soluble (P-PO4) sur le Rhône Chancy et ses principaux affluents.

Figure 10: Total phosphorus and soluble reactive phosphorus (P-PO4) on the Rhône Chancy and its main tributaries.

En raison de la sédimentation du phosphore particulaire, essentiellement constitué de phosphore apatitique dans le lac, le phosphore réactif soluble (P-PO4) prend plus d'importance dans les flux de phosphore en aval du lac. Ainsi sur la période 1986-2018, le P-PO4 représente en moyenne 6% du Ptot sur le Rhône amont et 37% sur le Rhône à Chancy. Depuis le début des analyses sur le Rhône à Chancy et jusqu'en 2012, le phosphore réactif soluble n'a cessé par ailleurs de diminuer (Figure 10), notamment grâce aux mesures d'assainissement mises en place en amont ainsi qu'à l'évolution des pratiques agricoles. Une stabilisation semble s'opérer depuis 2012, avec des fluctuations. Ainsi en 2018, les flux de P-PO4 se montaient à 125t. Sur l'Arve la situation semble aussi être stabilisée sur les 8 dernières années. Finalement sur l'Allondon une baisse importante a été observée après 2009, avec l'abandon des STEP du Journans et de l'Allondon et un raccordement sur la STEP de Bois-de-Bay dans le canton de Genève. Cependant trois années (2014, 2017 et 2018) présentent des flux plus élevés, avec un lien possible à des précipitations importantes.

Concernant le phosphore total, nous observons aussi une diminution progressive sur le Rhône aval jusqu'en 2011 et sur l'Allondon après 2009. Toutefois depuis 2012, sur le Rhône et l'Arve il semblerait y avoir une ré-augmentation des flux. Les résultats pour l'Arve nécessitent d'être considérés de façon prudente en raison de la méthode d'échantillonnage qui consiste en un prélèvement mensuel instantané.

4.2 AZOTE MINÉRAL TOTAL

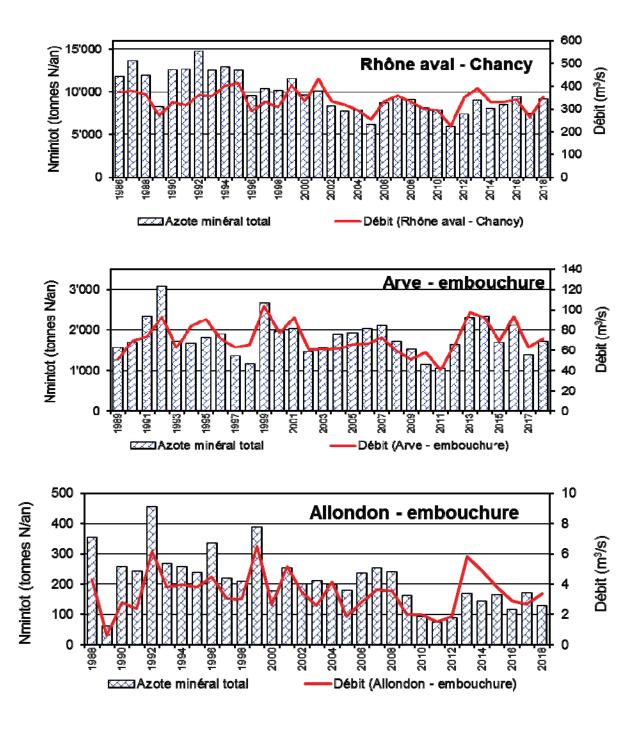


Figure 11 : Apports annuels en azote minéral total sur le Rhône à Chancy et ses principaux affluents Figure 11: Total mineral nitrogen on the Rhône at Chancy and its main tributaries.

Comme nous l'avons vu plus haut, les relations entre l'azote minéral total et le débit moyen sont très bons (voir Chapitre 3.2). Le Rhône à Chancy et l'Arve montrent une grande stabilité depuis 10 ans et aucune tendance ne semble se dessiner. En moyenne sur cette période les flux se montent respectivement à 9880t/an et 1700t/an pour le Rhône et l'Arve. L'Allondon montre une légère diminution de ses flux, en lien probable avec la suppression des rejets de deux STEP en 2009. Toutefois, les valeurs plus élevées observées sur la période 2013-2017 peuvent s'expliquer par des débits plus élevés en lien avec la pluviométrie.

4.3 CHLORURE

Comme dans le cas des affluents du Léman (voir Chapitre 3.3), nous observons un lien entre le débit moyen annuel et les exportations en chlorure. L'Allondon présente une très bonne relation avec le débit moyen annuel alors que celle-ci est moins évidente sur le Rhône aval et l'Arve. L'utilisation du sel de déneigement ainsi que les apports du Léman pourraient expliquer ces différences.

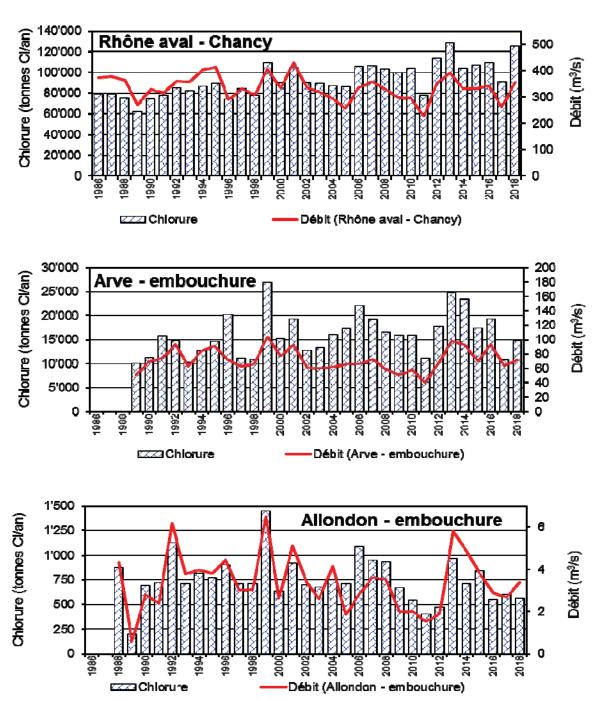


Figure 12 : Apports annuels en chlorure sur le Rhône à Chancy et ses principaux affluents.

Figure 12: Annual chloride inputs to the Rhône at Chancy and its main tributaries.

5. CONCLUSIONS

Les débits moyens annuels présentent une certaine stabilité malgré les fluctuations liées à la pluviométrie. En 2018, la pluviométrie à l'interstations a été de 917mm, 9% en-dessous de la normale. Toutefois en raison d'événements ponctuels particulièrement intenses, le débit moyen cumulé des principaux affluents est un des plus élevés de la période d'étude (>250m3/sec).

Une diminution des apports de phosphore total s'observe sur le bassin versant aval, avec notamment une diminution des apports du Rhône amont. Toutefois en 2018, une forte hausse s'observe sur le Rhône avec un apport de 898t. Le phosphore total, essentiellement particulaire, participe toutefois peu aux phénomènes d'eutrophisation du lac. Concernant les exportations du lac par le Rhône émissaire, elles restent stables sur les dernières années.

Le phosphore réactif soluble montre une certaine stabilisation depuis quelques années, après une forte diminution depuis les années 70. Les STEP restent par ailleurs un contributeur important dans les apports aux affluents, notamment sur le Rhône amont. Une meilleure collaboration, notamment par la fourniture de données complètes permettant d'établir un diagnostic global dans le but de réduire les intrants au lac. En 2018, les principaux affluents du Léman ont contribué à hauteur de 37 tonnes de P-PO4.

L'azote total ne présente aucune variation de tendance notable, probablement dû à des intrants azotés notamment agricoles qui restent stables ainsi qu'à l'absence de dénitrification dans les STEP. Les exportations d'azote tendent par contre à se renforcer sur les cinq dernières années, résultant sur une balance de masse en faveur des exportations, situation observée pour la dernière fois en 1967.

Les apports en chlorure semblent montrer une tendance à la stabilisation depuis plusieurs années, surtout par la stabilisation des flux du Rhône amont. Les autres affluents montrent une stabilisation plus précoce et les exportations par le Rhône émissaire dominent le bilan de masse depuis 2010. Sachant que les concentrations dans le lac ont entamé une stabilisation à partir de 2015, une analyse détaillée des ces éléments s'avère nécessaire.

Il est rappelé dans ce rapport l'importance d'avoir un système d'échantillonnage représentatif. Il a en effet été remarqué que les affluents du Léman sur lesquels des échantillonnages mensuels ponctuels étaient réalisés pouvaient présenter de fortes disparités d'une année à une autre en raison par exemple d'un point de crue.

La CIPEL pourrait élaborer une recommandation allant dans ce sens.

BIBLIOGRAPHIE

- Burrus, D., Thomas, R. L., Dominik, J., & Vernet, J. P. (1990). Seasonal delivery of the particulate forms of phosphorus to Lake Geneva from the upper Rhone river. *Aquatic Sciences*, *52*(3), 221-235.
- Office fédéral de l'environnement (OFEV). (2013). Flux d'azote en Suisse en 2020.
- Rapin, F., Dominik, J., Giovanoli, F., El-Ghobary, H., Favarger, P-Y. & Vernet, J. P. (1985). *Evolution du phosphore dans*l'eau interstitielle et dans les sédiments et chronologie mercurielle. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1984, 81-96.
- Rapin, F. et Klein, A. (2011). Les apports par les affluents au Léman et au Rhône à l'aval de Genève et leur qualité. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2010, 157-178.
- Sabaratnam, S. et Oriez, A. (2019). Contribution des apports en phosphore d'origine non-ponctuelle par les affluents du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001-2017.
- Tran Khac, V., Quetin, P. et Anneville, O. (2019). Evolution physico-chimique des eaux du Léman et données météorologiques. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2018.
- Vargas, S. (2017). *Analyses comparatives interlaboratoires*. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2016, 227-234.

ANNEXES

Tableau 1: Concentrations moyennes et flux moyens en 2016. Table 1: Mean concentrations and mean flows in 2016.

Nom Rivière	Débit	N-NH4	N-NO2	N-NO3	Ntot	P-P04	PtotBrut	ō	N-NH4	NO2	N-NO3	Ntot	P-P04	PtotBrut	D
	(m3/sec)	(mgN/L)	(mgN/L) (mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgP/L)	(mgP/L)	(mg/L)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)
2	Concentrations moyennes	s moyennes				Bassin vers	Bassin versant du Léman	an		Flux moyens	su				
Rhône amont	181.5	0.05		0.50	0.59	0.003	60:0	10.1	289		2'881	3'392	19.3	495.6	58,045
Dranse	23.1	0.04	0.01	09.0	0.71	0.01	90.0	4.8	26.8	4.4	435	514	4.9	43.3	3,209
Aubonne	6.1	0.02	0.01	1.25	1.45	0.01	0.03	5.0	4.7	1.2	239	277	2.4	5.2	963.0
Venoge	4.6	0.16	0.02	3.39	3.76	0.02	0.08	14.6	23.7	3.3	492	546	3.5	11.1	2117
Versoix	3.5	0.02		0.99	1.10	0.02	0.05	8.0	2.2		108	120	1.9	0.9	876.5
Veveyse	2.3	0.02	0.003	99.0	0.85	0.01	0.08	8.8	1.3	0.2	49	63	0.7	6.2	649.4
Promenthouse	1.7	0.03	0.01	1.91	2.13	0.01	0.05	7.7	1.8	0.5	103	115	0.7	2.5	413.0
Chamberonne	6:0	0.05	0.02	2.33	2.64	0.02	0.08	16.7	1.5	0.4	99	22	0.7	2.2	474.8
Eau Froide	9:0	90:0	0.02	3.44	3.89	0.01	0.03	6.2	1.1	0.4	1 9	23	0.2	9.0	114.9
Morges	0.4	90:0	0.02	4.31	4.62	0.05	0.13	14.5	0.7	0.2	23	25	9.0	1.6	177.6
						E	Bassin versa	Bassin versant Rhône aval	ral						
Rhône émissaire	267.8	0.02		0.45	0.62	0.01	0.02	10.0	203.7		3'812	5,208	46.01	194.8	84'854
Arve	92.9	0.08	0.04	0.58	0.72	0.03	0.12	9.9	247.1	124.7	1,697	2,118	77.53	366.4	19′243
Allondon	2.9	0.004	0.01	1.23	1.27	0.01	0.02	0.9	0.4	0.5	112.37	115.8	1.12	1.8	547
Rhône Chancy	341.5			0.70	0.87	0.01	90.0	10.1			7'562	9'414	94.93	699.1	109′107

Concentrations moyennes et flux moyens en 2017. Tableau 2 : Table 2:

Mean concentrations and mean flows in 2017.

Nom Rivière	Débit	N-NH4	N-NO2	N-NO3	Ntot	P-P04	PtotBrut	ū	2-2	N-NH4	N-NO2	N-NO3	Ntot	P-P04	PtotBrut	D
	(m3/sec)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgP/L)	(mgP/L)	(mg/L)	(t/s	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)
3	Concentrations moyennes	s moyenne	S			Bassin ve	Bassin versant du Léman	man		ш	Flux moyens	S				
Rhône amont	159			0.52	0.59	0.004	60.0	10.7				2,606	2947	23.5	460	54'944
Dranse	14.3	0.03	0.01	0.78	0.90	0.01	0.05	5.9	11	11.5	2.8	354	406	2.6	20.9	2,680
Aubonne	2.9	0.05	0.01	1.52	1.79	0.01	0.02	7.8	4.9	6	6.0	137	161	1.1	1.6	705
Venoge	1.7	0.21	0.03	4.04	4.52	0.03	90.0	25.2	10	10.7	1.7	211	236	1.4	3.2	1312
Versoix	2.2	0.03		1.17	1.24	0.02	0.07	9.3	1.	1.7		81	85	1.2	4.5	639
Veveyse	1.2	0.03	0.004	0.58	0.88	0.01	0.07	17.5	1.	1.3	0.2	22	34	0.4	2.6	671
Promenthouse	8.0	0.02	0.004	2.11	2.34	0.01	0.03	8.2	0.	0.5	0.1	53	28	0.3	0.7	204
							Bassin ve	Bassin versant Rhône aval	e aval							
Rhône émissaire	200.2	0.02		0.46	0.65	0.005	0.03	10.3	146	91		2,905	4′117	30.3	181	65'035
Arve	63.2	0.11	0.03	0.56	0.69	0.03	0.29	5.4	22.	222.1	53.9	1124	1,378	51.6	586	10716
Allondon	2.7	0.02	0.01	1.93	2.03	0.02	0.07	7.1	1.61	51	6.0	161.7	170.64	1.9	5.84	009
Rhône Chancy	261.4			0.74	0.91	0.01	0.03	10.9				6′134	7'461	94.9	258	9'0544

Tableau 3: Concentrations moyennes et flux moyens en 2018.

Table 3: Mean concentrations and mean flows in 2018.

Nom Rivière	Débit	N-NH4	N-NO2	N-NO3	Ntot	P-P04	PtotBrut	ō	N-NH4	N-NO2	N-NO3	Ntot	P-P04	PtotBrut	C
	(m3/sec)	(mgN/L)	(mgN/L) (mgN/L)	(mgN/L)	(mgN/L)	(mgP/L)	(mgP/L)	(mg/L)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)	(t/an)
ວັ ວ	Concentrations moyennes	ns moyenne	S			Bassin ve	Bassin versant du Léman	man		Flux moyens	su				
Rhône amont	210.7			0.47	89.0	0.003	0.14	6.6			3104	4'536	23.9	868	65,264
*Dranse	30.1	0.03	0.01	0.58	69'0	0.01	0.12	5.1	25.8	5.8	547	629	5.5	114.9	4'859
Aubonne	4.8	0.05	0.01	96:0	1.22	0.01	0.03	5.5	7.1	1.2	146	185	2.3	4	838
Venoge	3.7	90:0	0.02	2.85	3.10	0.02	90.0	15.1	7.0	1.9	331	361	2.3	6.3	1,760
Versoix	3.9	0.03	0.02	1.02	1.14	0.02	0.15	7.5	4.1	2.4	127	141	2.7	18.9	935
Veveyse	1.4	0.01	0.00	0.48	0.90	0.01	0.25	9.7	9.0	0.2	22	41	0.4	11.2	440
Promenthouse	2.3	0.03	0.01	1.31	2.00	0.03	0.62	6.9	2.1	8.0	96	145.4	1.9	44.8	206
							Bassin ve	Bassin versant Rhône aval	e aval						
Rhône émissaire	320.3	0.03	0.01	0.40	0.57	0.00	0.02	9.6	308	72.2	3,666	5,806	44.5	225.6	100′648
Arve	84.6	0.10	0.03	0.54	0.71	0.03	0.56	5.8	269	90.7	1,430	1,882	75.2	1484	15′390
Allondon	3.4	0.01	0.01	1.12	1.21	0.02	90.0	5.2	1.2	8.0	119	128.5	1.7	6.7	556
Rhône Chancy	379.0			0.62	0.77	0.01	0.03	10.2			7'414	9195	124.5	387.8	122'341

*Le préleveur d'échantillons est tombé en panne en juin 2018, les données ne peuvent être considérées comme représentatives de l'année