

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

CAMPAGNE 2022

PAR

LE CONSEIL SCIENTIFIQUE DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN

CIPEL, ACW – Changins – Bâtiment DC, Route de Duillier, CP 1080, CH – 1260 NYON 1

RESULTATS DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE

Les analyses physico-chimiques d'eau du lac ainsi que le suivi biologique sont réalisés au point le plus profond du lac, désigné SHL2 (cf. carte page 6). Historiquement, ce site a été choisi comme point de référence en raison de son éloignement de potentielles sources de pollution littorales et de sa localisation à la verticale du point de plus grande profondeur. De ce fait, SHL2 répond à l'exigence requise pour le suivi de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Un deuxième site (GE3), localisé dans le Petit Lac, est par ailleurs suivi par le Service de l'Ecologie de l'Eau (SECOE, Canton de Genève). La synthèse des données obtenues à SHL2 est effectuée annuellement et est complétée par les données du point GE3 tous les six ans. La surveillance des micropolluants est réalisée à SHL2 et à la station « Portedu-Scex » sur le Rhône (station 1837 du programme NAWA de l'OFEV).

1. EVOLUTION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

L'année 2022 a été l'année la plus chaude enregistrée depuis 1900, la pluviométrie était faible pendant les 8 premiers mois et le rayonnement solaire a été particulièrement élevé tout au long de l'année. Ces conditions météorologiques ont conduit à des températures mensuelles de la strate 0-10 m systématiquement plus élevées que les valeurs de références (températures médianes du mois sur la période 1973-2021). Durant le mois de mars, les eaux se sont homogénéisées jusqu'à 130 m. Par conséquent, les températures moyennes annuelles mesurées au fond du lac ont poursuivi leur augmentation, soit un réchauffement de 1°C par rapport aux températures mesurées lors de la précédente homogénéisation complète en 2012. Les conditions météorologiques hivernales n'ont donc pas permis une réoxygénation efficace des couches profondes. En 2022, les concentrations en oxygène mesurées à 309 m étaient de 2.3 mgO₂/L au moment du brassage maximal et sont restées inférieures à 3 mgO₂/L tout au long de l'année. La valeur minimale mesurée était de 0.9 mgO₂/L, soit la plus faible concentration observée depuis 2012.

La concentration moyenne annuelle de phosphore total et orthophosphates pondérés sur toute la colonne d'eau étaient respectivement de 16.9 µgP/L et 13.5 µgP/L. Dans la strate d'activité phytoplanctonique (0-30 m), les concentrations étaient de 9.2 µgP/L pour le phosphore total et 3.9 µgP/L pour les orthophosphates.

Après une période de forte augmentation, suivi d'un maintien à des concentrations stables autour de 10.4 mg/L pendant 5 ans, le stock d'ions chlorures mesuré était relativement élevé (920'000 tonnes) en 2022. Sa dynamique inter-annuelle semble indiquer une reprise de l'augmentation avec une concentration moyenne annuelle en ions chlorures de 10.7 mg/L.

2. EVOLUTION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

2.1. PHYTOPLANCTON

Les conditions météorologiques de début d'année ont permis une activité phytoplanctonique hivernale caractérisée par la présence de pics d'activité fugaces, ainsi que la présence d'une diatomée généralement observée lorsque la masse d'eau est stratifiée, et de cryptophycées caractéristiques de cette époque de l'année et généralement présents dans les milieux oligotrophes. La reprise de la croissance printanière a eu lieu relativement tôt (à partir de la deuxième moitié du mois de mars), la communauté était alors composée d'espèces habituellement observées plus tard dans la saison. Cette évolution de la dynamique du phytoplancton vient conforter les observations précédentes d'un changement dans la phénologie du phytoplancton qui s'observe également en automne avec une activité qui se maintient plus longtemps dans l'année.

L'année 2022 a également été marquée par la présence ponctuelle de pics d'activité phytoplanctonique relativement profonds, notamment en juillet quand les pics de chlorophylle *a* et de production primaire ont été observés à 15 m. L'activité des picocyanobactéries était relativement profonde, cet approfondissement de leur distribution est attendu avec la réoligotrophisation.

Les cyanobactéries, bien que présentes dans les échantillons, n'ont pas montré de développement marqué, sauf pendant le mois de juin et début juillet. *Aphanizomenon gracile* présentait alors une contribution non négligeable à la biomasse totale.

La présence de cette espèce de cyanobactérie n'a pas eu d'impact sur l'indice de Brettum utilisé pour l'évaluation de l'état écologique du lac. En 2022, l'indice de Brettum indiquait un état écologique très proche du « bon état ». En termes d'abondance (chlorophylle *a* et biomasse), les concentrations confirment la tendance à la baisse observée depuis ces dernières années, et la biomasse totale moyenne (1011 µg/L) était très proche de l'objectif fixé par la CIPEL (1000 µg/L).

2.2. ZOOPLANCTON

Après plusieurs années marquées par une baisse régulière de l'abondance zooplanctonique, en 2022, tous les taxons présentent une augmentation de leurs effectifs. Les daphnies, plus abondantes, auraient été plus facilement prédatées par les corégones (*Coregonus sp.*), ce qui pourrait expliquer l'augmentation de la contribution des daphnies au bol alimentaire des corégones en période hivernale et printanière de l'année 2022.

Des larves véligères de moules observées en hiver témoignent de la présence de la moule quagga.

2.3. CORÉGONE ET PERCHE

En 2022, le suivi de la phénologie de la reproduction du corégone a combiné l'approche ADN environnemental, la caméra acoustique et les observations visuelles. Les géniteurs sont arrivés sur le site de reproduction plus tôt que les hivers 2015-2016 et 2016-2017, entre le 6 et 9 décembre 2021. Le maximum d'activité a été observé entre le 21 et 27 décembre 2021.

La dynamique du frai des perches fut globalement plus précoce qu'en 2021, en raison des températures de l'eau élevées et la présence de plus petites perches dans la population. Le nombre de génitrices était très important par rapport à l'année précédente et les individus ont privilégié les frayères situées à 8 et 12 m au détriment de celles situées à 4 m, ce qui traduit un enfoncement des zones de ponte qui s'observe depuis 2015.

3. EVOLUTION DES TENEURS EN MICROPOLLUANTS ET MÉTAUX DANS LES EAUX (RHÔNE ET LÉMAN)

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, 129 pesticides, 35 résidus médicamenteux, 17 PFAS, 2 anticorrosifs et 4 autres composés organiques ont été analysés dans des échantillons composites de deux semaines pendant toute l'année 2022. Deux campagnes de cinq échantillons composites 24 heures ont également eu lieu en mars et novembre afin d'évaluer l'impact des sites industriels de Viège et Monthey.

Dans le Léman à SHL2, ce sont 161 pesticides, 76 résidus médicamenteux, 2 anticorrosifs et 4 autres composés organiques ainsi que 25 éléments traces métalliques qui ont été recherchés au printemps et à l'automne à différentes profondeurs (1, 30, 100 et 305 m pour les pesticides ; 1, 15, 100 et 305 m pour les résidus médicamenteux ; 15 et 100 m pour les quatre autres composés organiques). 18 insecticides pyréthrinoïdes ont également été recherchés par l'EAWAG, pour confirmer/infirmier les résultats des investigations menées en 2021. En complément de ces analyses ciblées, une analyse de "screening" en chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution a été réalisée par l'EAWAG sur un échantillon d'eau prélevé au printemps à SHL2 pour la deuxième année consécutive. Des analyses supplémentaires ont également été effectuées en octobre dans la baie de Vidy et le delta de la Dranse.

Les teneurs en pesticides et en métaux dans le Léman satisfont aux exigences requises pour l'environnement et la production d'eaux de boisson au sens des législations suisse et française. Pour les résidus médicamenteux, aucun dépassement des valeurs limites existantes (Suisse uniquement) n'a été constaté.

3.1. LES PESTICIDES

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, sur un total de 129 pesticides recherchés, 6 substances ont été quantifiées : le glyphosate, l'AMPA, le diuron, le métalaxyl, le fluométuron et le bicyclopyrone. 6 autres pesticides ont été détectés sans être quantifiables par la méthodologie utilisée. La charge totale des pesticides en 2022 atteint 167 kg, valeur relevée la plus faible depuis le début du suivi en 2013. Sur ce total, on estime à environ 20 kg la part des rejets industriels directs (fluométuron, trifluralin et bicyclopyrone). Les estimations de charges de pesticides sont dans l'ensemble cohérentes avec les données d'auto-contrôle des industries. La charge annuelle totale de pesticides d'origine agricole, urbaine et privée est estimée à 152 kg en 2022, principalement représentée par le glyphosate et l'AMPA. Toutefois la charge du glyphosate a baissé de moitié par rapport à 2021, passant de 94 kg à 56 kg.

Dans le Léman à SHL2, sur un total de 161 pesticides recherchés, entre 14 et 26 substances sont quantifiées selon les campagnes. L'AMPA, l'atrazine-deséthyl-desisopropyl et le glyphosate sont les seules substances mesurées à plus de 0.01 µg/L. En 2022, de façon similaire aux observations depuis 2015, les teneurs en pesticides totaux à SHL2 oscillent entre 0.05 et 0.15 µg/L selon la profondeur et la saison. La concentration totale à 305 m reste plus élevée qu'aux autres profondeurs, possiblement en raison du brassage hivernal partiel. Il n'y a pas actuellement d'explication satisfaisante au retour de la présence d'atrazine qui est interdite depuis 2003 et 2007 en France et en Suisse respectivement. Les deux campagnes spécifiques d'analyse des insecticides pyréthrinoïdes n'ont pas permis de mettre en évidence la présence de ces substances hautement écotoxiques. La comparaison des concentrations de pesticides mesurés dans la Baie de Vidy, dans le delta de Dranse et à SHL2 ne montre pas de tendances particulières. On peut seulement noter que certains pesticides d'origine essentiellement agricole (isoproturon, chlortoluron, metolachlor, etc) ne sont détectés ni à Vidy ni dans le delta de la Dranse. L'analyse de screening en haute résolution réalisée par l'EAWAG a permis de détecter 24 pesticides (et métabolites), résultats similaires à ce qui avait été mesuré en 2021. Pour les substances communes aux deux approches, les résultats quantitatifs sont convergents. L'analyse screening a également confirmé la présence d'un métabolite de l'amidosulfuron non recherché jusqu'à présent et qui pourrait être inclus dans les futurs programmes de suivi réguliers du Léman.

3.2. LES RÉSIDUS MÉDICAMENTEUX

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, 7 résidus médicamenteux ont été quantifiés en 2022, il s'agit de la metformine, la guanylurée, le diclofénac, la prilocaïne, la méthénamine, le sulfaméthoxazole et une substance anonymisée l'API 8. La metformine et la guanylurée sont présentes dans tous les échantillons avec des concentrations maximales respectives de 1.10 µg/L et 1.26 µg/L. Les concentrations des autres substances mentionnées sont nettement moins élevées avec un maximum de 0.201 µg/L pour la méthénamine en février 2022. La charge annuelle totale des résidus médicamenteux est estimée à 4780 kg en 2022 ; la metformine et la guanylurée représentent 91 % de ce flux. La charge en résidus médicamenteux d'origine industrielle a fortement diminué depuis 2007, et ne représente plus que 25 kg en 2022. Il n'y a d'ailleurs pas de différences significatives entre les stations constatées lors des campagnes spécifiques visant à évaluer l'impact des sites industriels de Viège et Monthey.

Dans le Léman à SHL2, 4 résidus médicamenteux supplémentaires ont été introduits en 2022 dans le programme de surveillance : apixaban, carbidopa, cibamino-S et propofol. La metformine reste la substance médicamenteuse en plus grande concentration et dépasse de plus d'un ordre de grandeur celle des autres résidus détectés. Elle est quantifiée dans tous les échantillons et la médiane des concentrations mesurées à 1 m, 15 m et 100 m est de 0.40 µg/L tandis qu'à la profondeur de 305 m la médiane est de 0.13 µg/L. Depuis 2018, la teneur en guanylurée est également mesurée; bien qu'elle ne soit pas toujours détectée, elle constitue le deuxième résidu médicamenteux le plus présent dans l'eau du lac. Les concentrations des résidus médicamenteux mesurés dans la baie de Vidy montrent l'impact du rejet des eaux usées lausannoises dans cette partie du lac. 6 substances sont quantifiées uniquement dans la baie de Vidy (ciprofloxacine, diclofénac, métronidazole, o-desméthylvenlafaxine, sulfaméthazine et torasemide). La concentration en metformine est 5 fois plus élevée qu'à SHL2, les concentrations en aténolol, métoprolol et triméthoprime sont 6 fois plus élevées qu'à SHL2 et celle en naproxène est 35 fois plus élevée. Au niveau du delta de Dranse, 9 substances sont quantifiées à des concentrations du même ordre de grandeur que celles mesurées à SHL2.

L'analyse de screening en haute résolution réalisée par l'EAWAG a permis de détecter 24 résidus médicamenteux, résultats similaires à ce qui avait été mesuré en 2021. Pour les substances communes aux deux approches, les résultats quantitatifs sont convergents. Cette analyse a également confirmé la présence de résidus médicamenteux non recherchés jusqu'à présent : gabapentine, iohexol, iomeprol, oxypurinol et valsartan. Un certain nombre de ces substances pourraient être incluses dans les futurs programmes de suivi réguliers du Léman.

3.3. AUTRES COMPOSÉS ORGANIQUES DE SYNTHÈSE

Les anti-corrosifs 1H-benzotriazole et tolyltriazole sont fréquemment quantifiés dans le Rhône à la Porte-du-Scex et leur charge annuelle est estimée à 168 kg pour le benzotriazole, 101 kg pour le tolyltriazole et sont plutôt stables. En 2022, ces deux substances sont détectées à SHL2 avec des concentrations maximales stables de 0.072 µg/L pour le benzotriazole et de 0.024 µg/L pour le tolyltriazole.

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, le 1,4-dioxane a été quantifié dans 10 échantillons sur 25, répartis le long de l'année. Les concentrations mesurées varient entre non-détecté et 0.16 µg/L. La charge annuelle est estimée à 230 kg, en nette diminution depuis deux ans. A SHL2, ses concentrations oscillent entre 0.12 et 0.43 µg/L. Aussi bien dans le Rhône que dans le Léman, les concentrations maximales mesurées restent en dessous de la limite légale suisse pour l'eau potable de 6 µg/L.

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, le MTBE est recherché depuis 2018 et les concentrations mesurées varient entre non-détecté et 0.5 µg/L. La charge annuelle est estimée à 938 kg, largement la plus importante depuis le début des suivis, la seconde position revenant à l'année 2020 avec 389 kg. Les investigations du canton du Valais montrent que la cause probable de cette augmentation serait l'exfiltration d'eaux souterraines d'un site connu pour être pollué au MTBE. Le MTBE, ajouté à la liste des substances recherchées dans les eaux du Léman en 2020, n'y a jamais été détecté.

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, le TFA a été recherché pour la première fois en 2022 et quantifié dans 9 échantillons sur 25 avec une concentration maximale de 4 µg/L. La charge annuelle est estimée à 2'870 kg, soit du même ordre de grandeur que la guanylurée et la metformine. La limite de quantification de la méthode analytique est relativement élevée (1 µg/L) et donc l'erreur sur l'estimation de la charge l'est également puisque la plupart des concentrations mesurées sont proches de cette limite. Une recherche à l'échelle suisse incluant le Léman est actuellement en cours pour identifier les principales sources de ce produit (OFEV 2023).

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex les PFAS ont été recherchés pour la deuxième année consécutive avec, par rapport à 2021, un programme analytique augmenté de 11 à 17 congénères et des limites de quantification abaissées de 10 à 1 ng/L. Les concentrations mesurées sont bien plus faibles que celles mesurées dans d'autres grands fleuves comme le Rhône à Marseille, le Rhin ou la Rhur bien que les comparaisons soient délicates en raison des différences de méthodologies de prélèvement et d'analyse. Ces prochaines années, les PFAS vont continuer à être surveillés dans le Rhône et le Léman.

L'analyse de screening en haute résolution réalisée par l'EAWAG a permis de détecter la présence d'acide tétrachlorophthalique et de mélanine. Ces substances pourraient être incluses dans les futurs programmes de suivi réguliers du Léman.

ETUDES SPECIFIQUES

4. ETENDUE DE LA ZONE HYPOXIQUE

La concentration en oxygène dissous est un paramètre déterminant pour la vie aquatique et suite à de nombreuses années sans brassage complet, la concentration en oxygène dissous au fond du lac ne cesse de baisser au niveau de la station de mesure de SHL2. La CIPEL ne suit pas spécifiquement la profondeur à partir de laquelle on passe en hypoxie au sens de la loi Suisse (4 mgO₂/L) et par ailleurs ce seul point de suivi au niveau du centre du grand lac ne permettrait pas d'extrapoler cette profondeur limite à l'ensemble du lac. Or, il serait très informatif d'avoir une idée de l'étendue de la zone hypoxique sur l'ensemble du Léman afin de mieux pouvoir évaluer son impact sur la biocénose. Cette étude a donc principalement consisté à réaliser des profils de concentrations en oxygène sur deux transects présentant des profondeurs maximales entre 212.6 m et 309.6 m. Les mesures indiquent que le seuil de 4 mgO₂/L a été atteint entre les profondeurs 212 et 245 m selon les profils étudiés. Elle confirme que la distribution horizontale des concentrations en oxygène dissous n'est pas uniforme, mais tend plutôt à présenter une distribution incurvée. Une relation linéaire semble se dessiner entre la profondeur de la station et la profondeur limite de 4 mgO₂/L. Une étude complémentaire devrait être conduite en intégrant des zones moins profondes pour compléter la relation profondeur/profondeur inférieure à 4 mgO₂/L et à terme être en mesure d'estimer précisément les masses d'eau hypoxique et suivre leur évolution dans le temps. L'étude suggère également la modification du protocole de suivi au point SHL2 en faisant descendre la sonde jusqu'à l'interface avec le sédiment afin d'acquérir une connaissance plus fine des conditions physico-chimiques de cette interface ayant une forte influence sur d'autres paramètres d'intérêt comme le phosphore.

5. MISE AU POINT D'UN PROTOCOLE DE QUANTIFICATION DES POPULATIONS DE DREISSÈNES AU SEIN DU LÉMAN ET PREMIÈRES ÉVALUATIONS IN-SITU

Depuis sa première observation en 2015 la moule quagga se développe à grande vitesse dans le Léman et fait sérieusement concurrence à sa cousine, la moule zébrée, implantée elle, depuis 1962. Cette étude a pour objectif de proposer un protocole de quantification de ces deux espèces à partir de la comparaison de trois méthodes envisageables, à savoir l'ADN et ARN environnemental, la méthode des quadrats et la prise de vues photos à l'aide de ROV. Les expériences menées mènent à la conclusion que les trois méthodes sont complémentaires pour améliorer nos connaissances générales sur ces espèces mais qu'en ce qui concerne la quantification, la méthode par prise de photo ROV semble la plus prometteuse si on l'associe à de l'analyse d'image par photogrammétrie, ce qui n'a pas été réalisé dans cette étude. Les premières évaluations in situ ont été menées sur deux transects à Excenevex et St Disdille présentant respectivement des pentes faibles et fortes. Les observations montrent que la supplantation de la moule zébrée par la moule quagga est bien plus rapide que ce qui a pu être rapporté ailleurs dans la littérature avec un taux de représentation de la moule zébrée de moins de 2 % des dreissènes échantillonnées. En ce qui concerne les densités, entre 5 m et 50 m on avoisine généralement les 5000 ind./m² avec un maximum autour de 15 m de profondeur. Les biomasses totales (avec coquille) sont en moyenne de 660 g/m² à Excenevex et 1340 g/m² à St Disdille. Les coquilles constituent un stock important d'éléments biogéochimiques essentiels soustrait au reste du réseau trophique.

6. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA RÉOLIGOTROPHISATION

Le phosphore est un combat historique de la CIPEL et le précédent objectif, fixé en 2011 d'une concentration en phosphore total entre 10 et 15 µg/L est désormais très proche d'être atteint. Dans ce contexte, cette étude propose une revue de littérature méthodique et exhaustive afin de réinterroger cet objectif à la lumière des connaissances actuelles et de le confronter aux différents usages du Léman dont la CIPEL souhaite faire la promotion. Les résultats de cette synthèse montrent que des concentrations en phosphore inférieures à 10 µgP/L ne permettent généralement pas de maintenir des populations piscicoles fortes bien que le phosphore à lui seul ne permette pas d'expliquer en totalité les évolutions des biomasses piscicoles. Le réchauffement de l'eau, la présence de la moule quagga, les micropolluants et bien d'autres sont autant de facteurs pouvant avoir une influence. Le seuil de 10-15 µgP/L apparaît comme étant un bon compromis afin de conserver une biomasse piscicole « de qualité » tout en limitant les risques d'un développement algal excessif. Ainsi, le seuil précédemment établi par la CIPEL de 10 à 15 µgP/L, apparaît toujours comme le plus pertinent en regard des objectifs visés.

EXECUTIVE SUMMARY

2022 CAMPAIGN

BY

THE SCIENTIFIC COUNSEL OF THE INTERNATIONAL COMMISSION FOR THE PROTECTION OF LAKE GENEVA WATERS

CIPEL, ACW – Changins – Bâtiment DC, Route de Duillier, CP 1080, CH – 1260 NYON 1

RESULTS OF THE MONITORING PROGRAM

The physicochemical analyses of the lake water as well as the biological monitoring were carried out at the lake's deepest point, designated SHL2 (see map, page 6). Historically, this site was chosen as the reference point because it was far from potential sources of coastal pollution and its location above the deepest point. SHL2 therefore responds to the monitoring standard required by the Directive Cadre Européenne sur l'Eau. A second site (GE3), located in the Petit Lac, is also monitored by the Service de l'Ecologie de l'Eau (SECOE, Geneva Canton). The data obtained at SHL2 are summarized annually and are completed by the data obtained at point GE3 every 6 years. Micropollutants are monitored at SHL2 and the Porte-du-Scex station on the Rhone River (station 1837 of the OFEV's NAWA program).

1. CHANGES IN THE PHYSICOCHEMICAL AND BIOLOGICAL PARAMETERS

The year 2022 was the warmest year recorded since 1900, rainfall was low during the first 8 months, and solar radiation was particularly high throughout the year. These meteorological conditions resulted in monthly temperatures for the 0–10 m stratum that were systematically higher than reference values (median temperatures for the month during 1973–2021). During March, the lake's waters were homogenized down to 130 m. Consequently, the mean annual temperatures measured at the lake bottom increased 1°C compared to the temperatures measured during the previous complete homogenization in 2012. As a result, winter weather conditions did not allow the lake to effectively reoxygenate its deep layers. In 2022, the oxygen concentrations measured at 309 m were 2.3 mgO₂/L at the time of maximum mixing and remained lower than 3 mgO₂/L throughout the year. The minimum value measured was 0.9 mgO₂/L, the lowest concentration observed since 2012.

The mean annual concentration in total phosphorus and orthophosphates weighted on the entire water column were, respectively, 16.9 µgP/L and 13.5 µgP/L. In the phytoplankton activity layer (0–30 m), the concentrations were 9.2 µgP/L for total phosphorus and 3.9 µgP/L for orthophosphates.

After a period of substantial increases, followed by stable concentrations remaining around 10.4 mg/L for 5 years, the stock of chloride ions measured was relatively high (920,000 tonnes) in 2022. Its interannual dynamics seem to indicate renewed increases, with an annual mean concentration of chloride ions reaching 10.7 mg/L.

2. CHANGES IN THE PHYSICOCHEMICAL AND BIOLOGICAL PARAMETERS

2.1. PHYTOPLANKTON

The weather conditions at the beginning of the year produced winter phytoplankton activity characterized by the presence of short-lived peaks in activity, as well as the presence of a diatom generally observed when the water mass was stratified, and Cryptophyceae characteristic of this time of the year and commonly present in oligotrophic milieux. Spring growth resumed relatively early (beginning in the second half of March); the community was composed of species that are usually observed later in the season. This change in phytoplankton dynamics confirms the earlier observations of a change in phytoplankton phenology, which was also observed in autumn, with activity remaining for a longer time over the year.

The year 2022 was also marked by the occasional presence of peaks in of phytoplanktonic activity relatively deep in the lake, notably in July when chlorophyll *a* and primary production peaks were observed at 15 m. Picocyanobacteria activity was relatively deep; their distribution in deeper waters is expected with reoligotrophization.

Cyanobacteria, although present in the samples, did not show pronounced development, except in June and the beginning of July. At this time, *Aphanizomenon gracile* contributed significantly to the total biomass.

The presence of this species of cyanobacteria had no impact on the Brettum Index used to evaluate the ecological condition of the lake. In 2022, the Brettum Index indicated an ecological condition that was very close to a “good condition.” In terms of abundance (chlorophyll *a* and biomass), the concentrations confirm the downward trend observed over the past few years, and the mean total biomass (1011 µg/L) was very close to the objective set out by the CIPEL (1000 µg/L).

2.2. ZOOPLANKTON

After several years of a regular decrease in zooplankton abundance, in 2022 all taxa presented an increase in their numbers. Daphnia, which were more abundant, may have been more easily consumed by whitefish (*Coregonus* sp.), which could explain the increase in the contribution of daphnia to the food bowl of whitefish during the winter and spring of 2022.

The observation of mussel veliger larvae in winter demonstrates the presence of the quagga mussel.

2.3. WHITEFISH AND PERCH

In 2022, monitoring of whitefish phenology and reproduction combined the environmental DNA approach, acoustic cameras, and visual counting. The spawners arrived on the reproduction site earlier than in the winters of 2015–2016 and 2016–2017, between 6 and 9 December 2021. The maximum activity was observed between 21 and 27 December 2021.

Perch spawning dynamics were, overall, earlier than in 2021, because of the higher temperatures and the presence of small perch in the population. The number of spawners was very high compared to the previous year and individuals preferred spawning sites located at 8 and 12 m at the expense of those situated at 4 m, reflecting greater depths of spawning zones, as has been observed since 2015.

3. CHANGES IN MICROPOLLUTANTS IN RHONE RIVER AND LAKE GENEVA WATERS

In the Rhone River at Porte-du-Scex, 129 pesticides, 35 pharmaceutical residues, 17 polyfluoroalkyl substances (PFASs), two anticorrosives, and four other organic compounds were analyzed in 2-week composite samples throughout 2022. Two campaigns of five 24-h composite samples were conducted in March and November to assess the impact of the Viège and Monthey industrial sites.

In Lake Geneva at SHL2, 161 pesticides, 76 pharmaceutical residues, two anticorrosives, and four other organic compounds, as well as 25 trace metals were investigated in the spring and autumn at different depths (1, 30, 100, and 305 m for pesticides; 1, 15, 100, and 305 m for pharmaceutical residues; and 15 and 100 m for the other four organic compounds). Eighteen pyrethroid insecticides were also studied by the EAWAG, to confirm or invalidate the results of the investigations carried out in 2021. In addition to these targeted analyses, a screening analysis using liquid chromatography combined with high-resolution mass spectrometry was conducted by the EAWAG on a water sample taken in spring at SHL2 for the 2nd consecutive year. Additional analyses were also conducted in October in Vidy Bay and the Dranse delta.

The levels of pesticides and metals in Lake Geneva satisfy the requirements for the environment and drinking water production with regard to Swiss and French legislation. For pharmaceutical residues, none of the existing threshold values was exceeded for Switzerland only.

3.1. PESTICIDES

In the Rhone River at Porte-du-Scex, out of a total of 129 pesticides examined, six substances were quantified: glyphosate, AMPA, diuron, metalaxyl, fluometuron, and bicyclopyrone. Six other pesticides were detected but were not quantifiable by the methodology used. The total pesticide load in 2022 reached 167 kg, the lowest value observed since monitoring began in 2013. Of this total, the amount of direct industrial discharge was estimated at 20 kg (fluometuron, trifluralin, and bicyclopyrone). The estimations of pesticide loads were globally consistent with the data provided by industry. The total annual agricultural, urban, and private pesticide load was estimated at 152 kg in 2022, mainly glyphosate and AMPA. However, the glyphosate load decreased by half compared to 2021, from 94 kg to 56 kg.

In Lake Geneva at SHL2, out of a total of 161 pesticides investigated, between 14 and 26 substances were quantified depending on the campaigns. AMPA, atrazine-desethyl-desisopropyl, and glyphosate were the only substances measured at more than 0.01 µg/L. In 2022, much like the observations since 2015, the total pesticide levels at SHL2 oscillated between 0.05 and 0.15 µg/L depending on depth and season. The total concentration at 305 m remained higher than at other depths, possibly because of partial winter mixing. Today there is no satisfactory explanation for the return of the presence of atrazine, which was banned in 2003 and 2007 in France and Switzerland, respectively. The two specific campaigns analyzing the pyrethroid insecticides did not demonstrate the presence of these highly ecotoxic substances. Comparing pesticide concentrations measured at Vidy Bay and the Dranse delta, as well as at SHL2, showed no specific trends. It can only be noted that certain, essentially agricultural, pesticides (isoprotruron, chlortoluron, metolachlor, etc.) were not detected at Vidy or the Dranse delta. The high-resolution screening analysis conducted by EAWAG detected 24 pesticides (and metabolites), results similar to what was measured in 2021. For the substances studied using both approaches, the quantitative results were similar. The screening analysis also confirmed the presence of a metabolite of amidosulfuron that had not been studied before, which could be included in future regular monitoring programs of Lake Geneva.

3.2. PHARMACEUTICAL RESIDUES

In the Rhone River at la Porte-du-Scex, seven pharmaceutical residues were quantified in 2022: metformin, guanylurea, diclofenac, prilocaine, methenamine, sulfamethoxazole, and an anonymized substance API 8. Metformin and guanylurea were present in all samples with respective maximum concentrations of 1.10 µg/L and 1.26 µg/L. The concentrations of the other above-mentioned substances were substantially lower, with a maximum of 0.201 µg/L for methenamine in February 2022. The total annual load of pharmaceutical residues was estimated at 4780 kg in 2022; metformin and guanylurea accounted for 91% of this flux. The load of pharmaceutical residues coming from industry has strongly declined since 2007, and accounted for no more than 25 kg in 2022. There is indeed no significant difference between the stations as observed during specific campaigns aiming to assess the impact of the Vièges and Monthey industrial sites.

In Lake Geneva at SHL2, four additional pharmaceutical residues were introduced in the monitoring program in 2022: apixaban, carbidopa, cibamino-S, and propofol. Metformin remains the pharmaceutical substance with the highest concentration and exceeds by one order of magnitude the concentration of the other residues detected. It was quantified in all samples and the median of the concentrations measured at 1 m, 15 m, and 100 m was 0.40 µg/L, whereas at 305 m the median was 0.13 µg/L. Since 2018, the level of guanylurea has also been measured; even though it has not always been detected, it is the second highest pharmaceutical residue present in the lake. The concentrations of pharmaceutical residues measured in Vidy Bay show the impact of the discharge of wastewaters from Lausanne in this part of the lake. Six substances were quantified in Vidy Bay alone (ciprofloxacin, diclofenac, metronidazole, O-desmethylvenlafaxine, sulfamethazine, and torasemide). The metformin concentration was five times higher than at SHL2, the concentrations of atenolol, metoprolol, and trimethoprim were six times higher than at SHL2, and the concentration of naproxen was 35 times higher. At the Dranse delta, nine substances were measured at concentrations on the same order of magnitude as those measured at SHL2.

The high-resolution analysis conducted by EAWAG detected 24 pharmaceutical residues, results that are similar to what was measured in 2021. For the substances measured with both approaches, the quantitative results converged. This analysis also confirmed the presence of pharmaceutical residues that had not been studied to date: gabapentin, iohexol, iomeprol, oxypurinol, and valsartan. A certain number of these substances could be regularly included in future monitoring programs for Lake Geneva.

3.3. OTHER SYNTHETIC ORGANIC COMPOUNDS

The anti-corrosives 1H-benzotriazole and tolyltriazole are frequently detected in the Rhone at Porte-du-Scex: their annual load was estimated at 168 kg for benzotriazole and 101 kg for tolyltriazole, and they remain quite stable. In 2022, these two substances were detected at SHL2 with stable maximum concentrations at 0.072 µg/L for benzotriazole and 0.024 µg/L for tolyltriazole.

In the Rhone River at Porte-du-Scex, 1,4-dioxane was detected in 10 samples out of 25, distributed throughout the year. The concentrations measured varied between undetected and 0.16 µg/L. The annual load was estimated at 230 kg, a substantial decrease over the last 2 years. At SHL2, these concentrations oscillated between 0.12 and 0.43 µg/L. In both the Rhone River and Lake Geneva, the maximum concentrations measured remained below the legal threshold value for drinkable water in Switzerland (6 µg/L).

In the Rhone River at Porte-du-Scex, methyl tert-butyl ether (MTBE) has been studied since 2018 and the concentrations measured varied between undetected and 0.5 µg/L. The annual load was estimated at 938 kg, far and above the highest value since the beginning of monitoring. The year 2020 comes in second position with 389 kg. The investigations of the Valais Canton showed that the probable cause of this increase was exfiltration of subsurface waters for a site known for being polluted with MTBE. MTBE, added to the list of substances studied in Lake Geneva's waters in 2020, has never been detected there.

In the Rhone at Porte-du-Scex, TRIFLUOROACETIC ACID (TFA) was studied for the first time in 2022 and quantified in nine samples out of 25, with a maximum concentration reaching 4 µg/L. The annual load is estimated at 2870 kg, on the same order of magnitude as guanidurea and metformin. The detection threshold of the analytic method used is relatively high (1 µg/L) and therefore the error on load estimation is also high since most of the concentrations measured are close to this threshold. A study covering Switzerland including Lake Geneva is underway, attempting to identify the main sources of this product (OFEV 2023).

In the Rhone River at Porte-du-Scex, PFASs were studied for the 2nd consecutive year, with, compared to 2021, an increase in the analytical program from 11 to 17 congeners and detection levels lowered from 10 to 1 ng/L. The concentrations measured were much lower than those measured in other large rivers such as the Rhone at Marseille, the Rhine, or the Rhur, even though comparisons are delicate because of the methodological differences in sampling and analysis. In coming years, PFASs will continue to be monitored in the Rhone and Lake Geneva.

The high-resolution screening analysis conducted by EAWAG has allowed detection of the presence of tetrachlorophthalic acid melanin. These substances could be regularly included in future Lake Geneva monitoring programs.

SPECIFIC STUDIES

4. SIZE OF THE HYPOXIC ZONE

The concentration of dissolved oxygen is a determinant parameter for aquatic life, and after many years without complete mixing, the dissolved oxygen concentration at the lake bottom continues to decrease at the SHL2 measurement station. The CIPEL does not specifically monitor the depth at which hypoxia is reached as stipulated by Swiss law (4 mgO₂/L). In addition, one cannot extrapolate this threshold depth to the entire lake from this single monitoring point at the center of the Grand-lac. It would, however, be very informative to gain an idea of how widespread the hypoxic zone is over the entirety of Lake Geneva so as to better evaluate its impact on biocenosis. This study has therefore mainly consisted in developing oxygen concentration profiles on two transects with maximum depths between 212.6 m and 309.6 m. Measurements indicate that the 4 mgO₂/L threshold was reached between depths of 212 and 245 m, depending on the profiles studied. It confirms that the horizontal distribution of dissolved oxygen concentrations is not uniform but tends to present a curve distribution. Measurements indicate that the 4 mgO₂/L threshold was reached between depths of 212 and 245 m, depending on the profiles studied. Linear relation seems to appear between the station's depth and the threshold depth of 4 mgO₂/L. A complementary study should be conducted that includes shallower areas to complete the relation between depth and depth less than 4 mgO₂/L and over time be able to precisely measure hypoxic water masses and monitor their changes over time. The study also suggests modifying the monitoring protocol at SHL2 by lowering the probe to the interface with the sediment so as to gain more precise knowledge of the physicochemical conditions of this interface and its strong influence on other parameters of interest such as phosphorus.

5. DEVELOPMENT OF A PROTOCOL TO QUANTIFY DREISSENIID MUSSEL POPULATIONS IN LAKE GENEVA AND THE FIRST IN-SITU ASSESSMENTS

Since its first observation in 2015, the quagga mussel has been rapidly developing in Lake Geneva and is seriously competing with its cousin, the zebra mussel, implanted since 1962. This study aims to propose a protocol to quantify these two species based on a comparison of three possible methods: DNA and environmental RNA, the quadrat method, and image analysis using a remotely operated vehicle (ROV). The experiments conducted concluded that the three methods are complementary for improving our general knowledge on these species but that for quantification, the ROV imaging method seems the most promising as long as it is associated with photogrammetry image analysis, which was not done in this study. The first in-situ evaluations were conducted on two transects at Excenevex and St Disdille, which presented mild and steep slopes, respectively. The observations showed that displacement of the zebra mussel by the quagga mussel is indeed more rapid than what has been reported elsewhere in the literature, with the zebra mussel accounting for less than 2% of the dreissenid sampled. As for densities, between 5 and 50 m generally, approximately 5000 ind./m² are observed, with a maximum around 15 m deep. The total biomasses (with shell) are a mean 660 g/m² at Excenevex and 1340 g/m² at St Disdille. Shells comprise a significant stock of essential biogeochemical elements excluded from the rest of the trophic network.

6. LITERATURE REVIEW ON REOLIGOTROPHIZATION

The CIPEL has historically battled to contain phosphorus, and the previous objective, set in 2011, of a total phosphorus concentration between 10 and 15 µg/L is now very close to being reached. Within this context, this study proposes a methodical and exhaustive literature review to re-examine this objective in light of current knowledge and compare it to the different uses of Lake Geneva that the CIPEL would like to promote. The results of this review show that phosphorus concentrations less than 10 µgP/L usually make it difficult to maintain high fish populations even though phosphorus alone cannot totally explain the changes in fish biomasses. Warmer waters, the presence of the quagga mussel, micropollutants, and many others are all potential factors influencing fish populations. The threshold of 10–15 µgP/L seems to be a good compromise to preserve a high-quality fish biomass while limiting the risks of excessive algae development. Therefore, the threshold previously established by the CIPEL, 10–15 µgP/L, still seems the most pertinent in terms of the objectives targeted.