

RÉSUMÉ EXECUTIF

CAMPAGNE 2023

PAR

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

CIPEL, ACW – CHANGINS – BÂTIMENT DC, ROUTE DE DUILLIER, CP 1080, CH – 1260 NYON 1

RÉSULTAT 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 (Figure 1, page 2). 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 la surveillance et de la protection des eaux et des milieux aquatiques (SSPMA, 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 « Porte du- Scex » sur le Rhône (station 1837 du programme NAWA de l'OFEV).

1. EVOLUTION DES CONDITIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET DES COMPARTIMENTS BIOTIQUES PÉLAGIQUES

L'année 2023 a été marquée par des conditions météorologiques exceptionnelles. Elle se classe comme la deuxième année la plus chaude depuis 1991, juste après 2022. 2023 est aussi marquée par un déficit pluviométrique et un excédent d'ensoleillement.

En raison des conditions météorologiques, le brassage hivernal ne s'est pas étendu au-delà des 130m et la température de l'eau au fond du lac (309m) se maintient aux alentours de 6.2°C durant toute l'année mais a augmenté de 1.1°C depuis le dernier brassage complet de 2012. Les concentrations en oxygène à 309m présentent une faible variabilité avec une moyenne de 2.9 mg·L⁻¹, restant inférieures au seuil de 4 mgO₂·L⁻¹ tout au long de l'année.

En 2023, les concentrations moyennes annuelles en phosphore total et en orthophosphates sont respectivement de 16.9 µgP·L⁻¹ et de 13.0 µgP·L⁻¹. La concentration moyenne en nitrate est de 0,57 mgN·L⁻¹, dépassant légèrement le seuil de 0,56 mgN·L⁻¹ exigé par l'ordonnance sur la protection des eaux suisse.

La concentration des ions chlorures dans le Léman continue d'augmenter après une période de stabilisation observée entre 2016 et 2021. La concentration moyenne annuelle de 2023 s'élève à 10,79 mg·L⁻¹.

La distribution et la dynamique de la communauté des picocyanobactéries au cours des dix dernières années (2014 à 2023), révèle des abondances pouvant dépasser 10⁵ cellules·m⁻³ en période estivale. Des valeurs élevées sont enregistrées en 2023, sur toute la période estivale (de fin juin à fin septembre). La biomasse moyenne relative de cette communauté reste encore modeste comparativement à celle du nano- et du microphytoplancton, mais elle dépasse 10%, en 2023 et en été, la biomasse des picocyanobactéries a largement pu dépasser celle des formes nanoplanctoniques plus grosses. Il est attendu que la proportion de ces petites formes phytoplanctoniques, dont le rôle fonctionnel est important, croisse régulièrement avec la ré-oligotrophisation de l'écosystème et le réchauffement de ses eaux.

Les conditions météorologiques particulières, ont cette année encore influencé la dynamique du phytoplancton en favorisant le développement d'un pic printanier précoce, dès la fin du mois de février. Les faibles concentrations en phosphore restent quant à elles, un facteur déterminant pour la composition du phytoplancton, témoignant de l'impact de la baisse des concentrations en phosphore sur cette communauté. On note ainsi, qu'en 2023, le phytoplancton a présenté une dynamique saisonnière marquée, avec de faibles abondances en début d'année et la dominance de taxons indicateurs de milieux brassés et oligotrophes (petites diatomées centriques et Cryptophycées). La communauté printanière atteint son maximum d'abondance le 19 avril (3423 µg·L⁻¹) et est dominée par une diatomée pennée (*Diatoma elongatum*).

En été la communauté est dominée par des espèces indicatrices de milieux oligotrophes et atteint un maximum le 26 juillet ($4809 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) avec une dominance de chlorophycées. A partir de septembre la biomasse diminue progressivement pour atteindre un minimum de $135 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ en décembre.

La biomasse moyenne annuelle ($1576 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) reste légèrement supérieure à l'objectif proposé par la CIPEL ($1000 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) et est comparable à celles des années 2017-2021. Cette tendance corrobore l'analyse de la Chl_a qui en 2023 présentait une moyenne annuelle d'environ $4 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, relativement stable depuis 2018. Néanmoins, en été et automne, les valeurs de production primaire ont été plus faibles en comparaison aux valeurs observées les années précédentes. Par ailleurs, l'indice de Brettum qui évalue le niveau trophique du lac en se basant sur la composition en espèces du phytoplancton, donne un état écologique du lac de « bonne » qualité pour l'année 2023 (classification selon « intercalibration lake type »). La valeur de 2023 reste inférieure à l'objectif de la CIPEL, mais est la plus élevée de toute la chronique.

Le zooplancton, maillon essentiel pour le fonctionnement et la productivité de l'écosystème, voit son abondance généralement régulée à la fois par les communautés phytoplanctoniques et piscicoles. Son évolution temporelle est donc fortement influencée par les variabilités d'abondance et de composition du phytoplancton et des peuplements piscicoles. Le changement des températures du lac et la baisse des concentrations en phosphore ont donc potentiellement des effets indirects importants sur cette communauté. En 2023, *Eudiatomus gracilis*, unique représentant des copépodes calanoïdes, demeurent le taxon dominant du zooplancton microcrustacéen. En fin d'hiver (février et début mars), l'abondance du zooplancton était faible. Le développement printanier a été observé à partir de la fin du mois de mars et le pic des abondances a été atteint fin mai. En 2023, la dynamique saisonnière des daphnies est atypique avec des maxima d'abondance en fin d'année.

A l'échelle interannuelle, la communauté microcrustacéenne présente une tendance à la baisse depuis la fin des années 80, en lien direct et indirect avec la réoligotrophisation du lac. Depuis 2020 les valeurs d'abondance sont particulièrement basses mais restent stables en 2023. Cependant, les cladocères herbivores, qui avaient montré une baisse constante de leur abondance depuis les années 80 et des effectifs particulièrement faibles dans les années 2000, ont encore drastiquement diminué en 2023. Les effectifs du cladocère carnivore *Bythotrephes longimanus*, ont subi une diminution importante. Les groupes des cyclopoïdes et calanoïdes au contraire ont présenté des valeurs d'abondance en légère augmentation par rapport aux valeurs mesurées en 2022, de même que le cladocère carnivore *Leptodora kindtii*.

L'évolution interannuelle de l'abondance des larves des mollusques *Dreissena sp.* était stable depuis les années 2000 avec une saisonnalité marquée par de fortes abondances en été.

Un changement dans la phénologie des larves des mollusques *Dreissena sp.* avait été observé depuis 2017, probablement dû à l'arrivée d'une nouvelle espèce de *Dreissena* (*Dreissena bugensis*). Toutefois, cette tendance n'est pas confirmée en 2023, l'abondance des larves a considérablement diminué et leur présence a été observée uniquement durant les mois d'été.

En 2023, la taille moyenne des corégones capturés était de 43.9 cm. L'alimentation des corégones est principalement composée des taxons qui dans le Léman voient leur abondance diminuer (*Daphnia*, *Bythotrephes longimanus* et *Leptodora kindtii*). Les contributions relatives de ces 3 proies principales présentent des variations saisonnières très marquées et récurrentes d'une année à l'autre. Néanmoins, la contribution des daphnies est en baisse. Les *Bythotrephes* et *Leptodora* sont les principaux représentants du bol alimentaire en été. En automne, les nymphes de chironomes sont de nouveau présentes dans le bol alimentaire.

Dans le cadre du développement d'indicateurs de l'impact du changement climatique dans le Léman, les phénologies de la reproduction de deux espèces de poissons, le corégonne (*Coregonus sp.*) et la perche (*Perca fluviatilis*), sont suivies. La phénologie de la reproduction du corégonne pour l'hiver 2022-2023 est plus tardive que celle de l'année précédente et probablement en lien avec des températures de l'eau plus élevées. Les variabilités inter-annuelles observées dans les dynamiques de frai des perches étaient jusqu'à présent liées principalement aux fluctuations de la température de l'eau. En 2023, la reproduction a été décalée en profondeur avec l'essentiel des pontes à 20m, et est plus précoce qu'en 2022, malgré des températures moins élevées et la présence de perches de plus grande taille. Des investigations supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les raisons des changements observés.

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

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, 129 pesticides, 36 résidus médicamenteux et 26 autres substances dont 17 PFAS ont été analysés dans des échantillons composites de deux semaines pendant toute l'année 2023. Deux campagnes de cinq échantillons composites 24 heures ont également eu lieu afin d'évaluer l'impact des sites industriels de Viège et Monthey.

Dans le Léman à SHL2, ce sont 135 pesticides, 55 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 ou infirmer les résultats des investigations menées en 2021 et 2022. 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 à SHL2 pour la troisième année consécutive. Comme en 2022, des analyses supplémentaires ont également été effectuées dans la baie de Vidy et le delta de la Dranse.

Les teneurs en pesticides et en métaux dans le Léman répondent 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.

2.1. PESTICIDES

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, sur un total de 129 pesticides recherchés, 12 substances ont été quantifiées. Les plus fréquemment retrouvés sont le glyphosate, l'AMPA, le dinoterb et le bicyclopyrone. La charge totale en pesticides en 2023 atteint 227 kg, valeur un peu plus élevée qu'en 2022 (173 kg). Le dinoterb représente 31 kg de cette charge totale, valeur similaire à ce qui avait été observé en 2014 et 2016 malgré que cet herbicide ne soit ni autorisé en Suisse ni produit en Valais.

Dans le Léman à SHL2, sur un total de 135 pesticides recherchés, un maximum de 20 substances sont quantifiées. L'AMPA est la seule substance mesurée à plus de $0.01 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 30 m, profondeur habituelle pour le pompage de l'eau potable. En 2023, de façon similaire aux observations depuis 2015, les teneurs en pesticides totaux à SHL2 oscillent entre 0.044 et $0.122 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ selon la profondeur et la saison. La campagne spécifique d'analyse des insecticides pyréthrinoïdes a permis de confirmer l'absence de ces substances hautement écotoxiques. Cinq substances fongicides, sont quantifiées uniquement dans le delta de la Dranse (France), avec un dépassement de la norme OEaux de $0.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ pour le thiabendazole, mettant en évidence une utilisation plus marquée dans cette région mais n'impactant pas SHL2.

2.2. RÉSIDUS MÉDICAMENTEUX

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, 13 résidus médicamenteux ont été quantifiés en 2023, contre seulement 7 en 2022. La metformine et la guanylurée sont présentes dans tous les échantillons avec des concentrations maximales respectives de $0.91 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ et $0.52 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Les concentrations des autres substances quantifiées sont nettement moins élevées avec un maximum de $0.21 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ pour la prilocaïne et $0.30 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ pour la méthénamine. La charge annuelle totale des résidus médicamenteux est estimée à 3'190 kg en 2023 de nouveau en forte baisse par rapport à 2022 (4'777 kg) et 2021 (6'485 kg) ; la metformine et la guanylurée représentent 84 % de ce flux.

Dans le Léman à SHL2, 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 $0.37 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ tandis qu'à la profondeur de 305 m la médiane est de $0.14 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. La guanylurée, est pour la première fois non décelée sur les 6 années consécutives de suivi. Les concentrations des résidus médicamenteux mesurés dans la baie de Vidy et le delta de la Dranse montrent l'impact des rejets d'eaux usées dans ces secteurs littoraux. Dans la baie de Vidy la concentration en ibuprofène dépasse le critère de qualité environnemental chronique du centre Ecotox de $11 \text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$.

2.3. AUTRES COMPOSÉS ORGANIQUES DE SYNTHÈSE

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, le 1,4-dioxane a été quantifié dans 16 échantillons sur 26, répartis le long de l'année. Les concentrations mesurées varient entre non-détecté et $0.26 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. La charge annuelle est estimée à 370 kg et montre donc une stabilisation par rapport aux fortes baisses observées les deux années précédentes. À SHL2, ses concentrations oscillent entre 0.11 et $0.15 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. 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 $6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

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 148 kg pour le benzotriazole, 76 kg pour le tolyltriazole et sont plutôt stables depuis 2018. En 2023, ces deux substances sont détectées à SHL2 avec des concentrations maximales stables d'environ $0.05 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ pour le benzotriazole et de $0.02 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ pour le tolyltriazole.

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, le MTBE est recherché depuis 2018, les concentrations mesurées en 2023 varient entre non-détecté et $2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ et la charge annuelle est estimée à 2108 kg. Pour la deuxième année consécutive la charge explose et atteint des valeurs encore jamais observées depuis 2018. Toutefois le MTBE n'a encore jamais été détecté à SHL2 depuis le début des suivis en 2020. 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.

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, les PFAS ont été recherchés pour la troisième année consécutive. Dans 12 échantillons sur 26, au moins 1 des 16 PFAS recherchés a été quantifié avec une somme des concentrations maximale de $4.5 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ au mois de mai. Ces prochaines années, la surveillance des PFAS se poursuivra dans le Rhône et le Léman.

Dans le Rhône à la Porte-du-Scex, le TFA a été recherché pour la deuxième fois en 2023 et contrairement à 2022 n'a jamais été quantifié. La limite de quantification de la méthode analytique est relativement élevée ($1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) et donc l'incertitude importante puisque la plupart des concentrations mesurées en 2022 étaient proches de cette limite. Une recherche à l'échelle suisse, incluant le Léman, est en cours pour identifier les principales sources de ce produit (OFEV 2023).

L'analyse de screening en haute résolution réalisée par l'EAWAG a permis de confirmer la présence d'acide tétrachlorophthalique, de mélamine, de triéthylphosphate et d'amidosulfuron-ADMP. Ces substances ont été incluses dans le programme de suivi régulier du Léman 2024.

ETUDES SPECIFIQUES

1. IMPACT DE LA BAISSÉ DES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE SUR LE RÉSEAU TROPHIQUE – UNE SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

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 $15 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 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 $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 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 exercer une influence. Dans la mesure où le contrôle des efflorescences algales semble désormais atteint, le seuil de $15 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ apparaît comme étant un bon compromis afin de conserver une biomasse piscicole « de qualité » tout en permettant les autres usages du lac. Ainsi il appartiendra à la CIPEL de se réinterroger en 2025 sur le seuil précédemment établi de 10 à $15 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

2. EVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU LAC LÉMAN À L'AIDE D'UNE BATTERIE DE BIOESSAIS

En principe, l'évaluation de l'écotoxicologie par des bioessais est plus intégratrice et complète que l'évaluation via l'analyse chimique car elle prend en compte les effets de mélange ainsi que les substances non-analysées, mais la technique se heurte historiquement à des limites de sensibilité lorsqu'il s'agit d'évaluer des eaux naturelles peu polluées telles que celles du Léman. L'état de la technique a toutefois fortement évolué ces dernières années et cette étude propose de tester les différents bioessais actuellement disponibles et de les confronter à l'analyse chimique. Trois sites (SHL2, baie de Vidy et delta de la Dranse) ont été étudiés en 2022 et 2023 lors de deux campagnes où les échantillons d'eau ont été soumis à la fois à des analyses chimiques et à une batterie de bioessais. Les bioessais réalisés sur embryons de poissons sont ceux ayant réagi le plus significativement et ce dans chacun des trois sites bien que l'échantillon de la baie de Vidy présentait les effets les plus prononcés, résultat en adéquation avec notamment la concentration en ibuprofène dépassant le critère de qualité environnemental. Les bioessais se présentent désormais comme complémentaire à l'analyse chimique bien que certains d'entre eux nécessitent encore une validation des seuils.

3. PLA'STOCK - ETUDE DU STOCK DE MICROPLASTIQUES SUR LES PLAGES DU LÉMAN

Le projet Pla'Stock mandaté par la CIPEL est le résultat d'une collaboration entre la CIPEL, l'ASL et l'Université de Genève ayant pour objectif de réaliser un état des lieux de la pollution plastique sur les plages du Léman. Au total ce sont 25 plages réparties tout autour du Léman qui ont été investiguées par plus d'une centaine de bénévoles afin de réaliser des comptages de macroplastiques (visible à l'œil nu) et des prélèvements de substrats pour la détermination en laboratoire des microplastiques (0.3 – 5 mm). Concernant les macroplastiques une moyenne de 3.4 éléments plastiques par mètre linéaire a été répertorié, les plus courants étant les emballages de nourriture, les mégots de cigarettes et les pellets industriels. L'étude a également permis la mise en évidence de la présence de fibres utilisées dans la construction afin d'améliorer la cohésion du béton projeté. Concernant les microplastiques une moyenne de 17'500 microplastiques par mètre carré a été retrouvé sur les plages du Léman dont 75 % de fibres textiles. L'étude révèle enfin une grande hétérogénéité des résultats en fonctions des plages et des échantillons qui ne peuvent être associés ni à une activité particulière dans les zones proches ni au type de substrat. Les plages du Bouveret et des Grangettes qui subissent l'influence du Rhône et des contre-courants sont toutefois significativement les plus touchées par la pollution plastique.

EXECUTIVE SUMMARY

CAMPAIGN 2023

BY

THE SCIENTIFIC COUNCIL 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 MONITORING PROGRAM

Lake water physico-chemical analysis and biological monitoring are carried out at the deepest point of the lake, designated SHL2 (Figure 1, page 2). Historically, this site was chosen as a reference point because of its distance from potential sources of pollution on the shoreline and its location vertically above the deepest point. As such, SHL2 meets the requirements of the European Water Framework Directive. A second site (GE3), located in the "Petit Lac", is also monitored by the Service de la surveillance et de la protection des eaux et des milieux aquatiques (SSPMA, Canton de Genève). Data from SHL2 are summarized annually and supplemented by data from GE3 every six years. Micropollutants are monitored at SHL2 and at the "Porte du Scex" station on the Rhône River (station 1837 of the FOEN NAWA program).

1. CHANGES IN PHYSICO-CHEMICAL CONDITIONS AND PELAGIC BIOTIC COMPARTMENT

The year 2023 was marked by exceptional weather conditions. It was the second hottest year since 1991, just behind 2022. 2023 was also marked by a deficit in rainfall and a surplus of sunshine.

Due to the weather conditions, winter mixing did not extend beyond 130m, and the water temperature at the bottom of the lake (309m) remains around 6.2°C throughout the year, but has risen by 1.1°C since the last complete mixing in 2012. Oxygen concentrations at 309m show little variability, with an average of 2.9 mg·L⁻¹, remaining below the 4 mgO₂·L⁻¹ threshold throughout the year.

In 2023, average annual concentrations of total phosphorus and orthophosphates are 16.9 µgP·L⁻¹ and 13.0 µgP·L⁻¹ respectively. The average nitrate concentration is 0.57 mgN·L⁻¹, slightly exceeding the 0.56 mgN·L⁻¹ threshold required by the Swiss Waters Protection Ordinance.

The concentration of chloride ions in Lake Geneva continues to rise after a period of stabilization observed between 2016 and 2021. The average annual concentration for 2023 is 10.79 mg·L⁻¹.

The distribution and dynamics of the picocyanobacteria community over the last ten years (2014 to 2023) reveal abundances that can exceed 105 cells m·L⁻¹ in the summer period. High values are recorded in 2023, over the entire summer period (late June to late September). The relative average biomass of this community is still modest compared with that of nano- and microphytoplankton, but it exceeds 10% in 2023, and in summer, the biomass of picocyanobacteria may well have exceeded that of the larger nanoplanktonic forms. The proportion of these small phytoplanktonic forms, which play an important functional role, is expected to increase steadily as the ecosystem re-oligotrophizes and its waters warm up.

Particular weather conditions once again influenced phytoplankton dynamics this year, favoring the development of an early spring peak from the end of February. Low phosphorus concentrations remain a determining factor in phytoplankton composition, demonstrating the impact of lower phosphorus concentrations on this community. In 2023, phytoplankton showed a marked seasonal dynamic, with low abundances at the beginning of the year and the dominance of taxa indicative of mixed and oligotrophic environments (small centric diatoms and Cryptophyceae). The spring community reaches its maximum abundance on April 19 (3423 µg·L⁻¹) and is dominated by a pennate diatom (*Diatoma elongatum*). In summer, the community is dominated by species indicative of oligotrophic environments, reaching a maximum on July 26 (4809 µg·L⁻¹) with a dominance of chlorophyceae. From September onwards, biomass gradually declines, reaching a minimum of 135 µg·L⁻¹ in December.

The annual average biomass ($1576 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) remains slightly above the objective proposed by CIPEL ($1000 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) and is comparable to those of the years 2017-2021. This trend corroborates with the Chla analysis, which in 2023 showed an annual average of around $4 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, relatively stable since 2018. Nevertheless, in summer and autumn, primary production values were lower than in previous years. In addition, the Brettum index, which assesses the trophic level of the lake based on the species composition of phytoplankton, gives the lake's ecological status as "good" for the year 2023 (classification according to "intercalibration lake type"). The 2023 value remains below the CIPEL target, but is the highest recorded in the entire chronicle.

Zooplankton are essential to ecosystem functioning and productivity, and their abundance is generally regulated by both phytoplankton and fish communities. Its temporal evolution is therefore strongly influenced by variability in the abundance and composition of phytoplankton and fish populations. Changes in lake temperatures and lower phosphorus concentrations therefore have potentially significant indirect effects on this community. In 2023, *Eudiaptomus gracilis*, the only representative of the calanoid copepods, will remain the dominant taxon in the microcrustacean zooplankton. In late winter (February and early March), zooplankton abundance was low. Spring development was observed from the end of March, with peak abundance reached at the end of May. In 2023, the seasonal dynamics of daphnia are atypical, with abundance peaking at the end of the year.

On an interannual scale, the microcrustacean community has shown a downward trend since the late 1980s, directly and indirectly linked to the lake's reoligotrophization. Abundance values have been particularly low since 2020, but remain stable in 2023. However, herbivorous cladocerans, which had shown a steady decline in abundance since the 1980s and particularly low numbers in the 2000s, have again fallen drastically in 2023. Numbers of the carnivorous cladoceran *Bythotrephes longimanus* have declined significantly. The cyclopoid and calanoid groups, on the other hand, showed a slight increase in abundance compared to the values measured in 2022, as did the carnivorous cladoceran *Leptodora kindtii*.

The inter-annual trend in larval abundance of the mollusc *Dreissena* sp. has been stable since the 2000s, with seasonality marked by high abundance in summer.

A change in the phenology of *Dreissena* sp. larvae had been observed since 2017, probably due to the arrival of a new *Dreissena* species (*Dreissena bugensis*). However, this trend was not confirmed in 2023, as larval abundance declined considerably and their presence was only observed during the summer months.

In 2023, the average size of whitefish caught was 43.9 cm. Whitefish feed mainly on taxa whose abundance is declining in Lake Geneva (*Daphnia*, *Bythotrephes longimanus* and *Leptodora kindtii*). The relative contributions of these three main prey species show very marked and recurring seasonal variations from one year to the next. However, the contribution of *daphnia* is declining. *Bythotrephes* and *Leptodora* are the main representatives of the food bolus in summer. In autumn, chironomid nymphs are again present in the food bolus.

As part of the development of indicators of the impact of climate change in Lake Geneva, the reproductive phenologies of two fish species, whitefish (*Coregonus* sp.) and perch (*Perca fluviatilis*), are being monitored. Whitefish reproductive phenology for the winter of 2022-2023 is later than that of the previous year, probably linked to higher water temperatures. The inter-annual variability observed in perch spawning dynamics has hitherto been linked mainly to fluctuations in water temperature. In 2023, spawning was shifted in depth, with the bulk of spawning at 20m, and occurred earlier than in 2022, despite lower temperatures and the presence of larger perch. Further investigations are required to better understand the reasons for these changes.

2. TRENDS IN MICROPOLLUTANT AND METAL LEVELS IN WATER (RHÔNE AND LEMAN)

In the Rhône at Porte-du-Scex, 129 pesticides, 36 drug residues and 26 other substances, including 17 PFAS, were analyzed in two-week composite samples throughout 2023. Two campaigns of five 24-hour composite samples were also carried out to assess the impact of industrial sites in Visp and Monthey.

In Lake Geneva at SHL2, 135 pesticides, 55 drug residues, 2 anticorrosives and 4 other organic compounds, as well as 25 trace metals, were tested in spring and autumn at various depths (1, 30, 100 and 305 m for pesticides; 1, 15, 100 and 305 m for drug residues; 15 and 100 m for the four other organic compounds). 18 pyrethroid insecticides were also tested by EAWAG, to confirm or invalidate the results of investigations carried out in 2021 and 2022. In addition to these targeted analyses, EAWAG carried out a screening analysis using liquid chromatography coupled with high-resolution mass spectrometry at SHL2 for the third year running. As in 2022, additional analyses were also carried out in Vidy Bay and the Dranse delta.

Pesticide and metal levels in Lake Geneva meet the requirements for the environment and the production of drinking water as defined by Swiss and French legislation. For drug residues, no exceedance of existing limit values (Switzerland only) was observed.

2.1. PESTICIDES

In the Rhône at Porte-du-Scex, 12 of the 129 pesticides tested were quantified. The most frequently found were glyphosate, AMPA, dinoterb and bicyclopyrone. The total pesticide load in 2023 is 227 kg, slightly higher than in 2022 (173 kg). Dinoterb accounts for 31 kg of this total load, a value similar to that observed in 2014 and 2016, despite the fact that this herbicide is neither authorized in Switzerland nor produced in Valais.

In Lake Geneva at SHL2, out of a total of 135 pesticides tested, a maximum of 20 substances were quantified. AMPA is the only substance measured at more than $0.01 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ at 30 m, the usual depth for pumping drinking water. In 2023, as observed since 2015, total pesticide levels at SHL2 ranged from 0.044 to $0.122 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, depending on depth and season. The specific pyrethroid insecticide analysis campaign confirmed the absence of these highly ecotoxic substances. Five fungicidal substances were quantified only in the Dranse delta (France), with thiabendazole exceeding the OEaux standard by $0.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, highlighting a more marked use in this region but not impacting SHL2.

2.2. DRUG RESIDUES

In the Rhône at Porte-du-Scex, 13 drug residues were quantified in 2023, compared with only 7 in 2022. Metformin and guanylurea were present in all samples, with maximum concentrations of $0.91 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ and $0.52 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively. Concentrations of the other substances quantified are much lower, with a maximum of $0.21 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ for prilocaïne and $0.30 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ for methenamine. The total annual load of drug residues is estimated at 3,190 kg in 2023, again down sharply on 2022 (4,777 kg) and 2021 (6,485 kg); metformin and guanylurea account for 84% of this flow.

In SHL2 Lemman, metformin remains the drug substance with the highest concentration, exceeding that of the other residues detected by more than an order of magnitude. It was quantified in all samples, and the median concentration measured at 1 m, 15 m and 100 m was $0.37 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, while at 305 m the median was $0.14 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. For the first time, guanylurea was not detected over the 6 consecutive years of monitoring. The concentrations of drug residues measured in Vidy Bay and the Dranse delta demonstrate the impact of wastewater discharges in these coastal areas. In Vidy Bay, the ibuprofen concentration exceeds the Ecotox chronic environmental quality criterion of $11 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$.

2.3. OTHER SYNTHETIC ORGANIC COMPOUNDS

In the Rhône at Porte-du-Scex, 1,4-dioxane was quantified in 16 out of 26 samples, distributed throughout the year. Concentrations ranged from undetected to $0.26 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. The annual load is estimated at 370 kg, showing a stabilization compared with the sharp declines observed in the previous two years. At SHL2, concentrations range from 0.11 to $0.15 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. In both the Rhône and Léman rivers, maximum concentrations remain below the Swiss legal drinking water limit of $6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

The anti-corrosives 1H-benzotriazole and tolyltriazole are frequently quantified in the Rhône at Porte-du-Scex, with an estimated annual load of 148 kg for benzotriazole and 76 kg for tolyltriazole, and have remained fairly stable since 2018. In 2023, these two substances are detected at SHL2 with stable maximum concentrations of around $0.05 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ for benzotriazole and $0.02 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ for tolyltriazole.

In the Rhône at Porte-du-Scex, MTBE has been monitored since 2018, with concentrations measured in 2023 ranging from undetected to $2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, and an estimated annual load of 2108 kg. For the second year running, the load has exploded, reaching values not seen since 2018. However, MTBE has never been detected at SHL2 since monitoring began in 2020. Investigations by the canton of Valais show that the probable cause of this increase is the exfiltration of groundwater from a site known to be polluted with MTBE.

In the Rhône at Porte-du-Scex, PFAS were tested for the third year running. In 12 out of 26 samples, at least 1 of the 16 PFAS tested was quantified, with a maximum sum concentration of $4.5 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ in May. PFAS monitoring will continue in the Rhône and Léman rivers over the next few years.

In the Rhône at Porte-du-Scex, TFA was tested for the second time in 2023, and unlike in 2022, was never quantified. The limit of quantification of the analytical method is relatively high ($1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) and therefore the uncertainty significant, since most of the concentrations measured in 2022 were close to this limit. A Swiss-wide study, including Lake Geneva, is currently underway to identify the main sources of this product (OFEV 2023).

High-resolution screening analysis carried out by EAWAG confirmed the presence of tetrachlorophthalic acid, melamine, triethylphosphate and amidosulfuron-ADMP. These substances have been included in the regular monitoring program for Lake Geneva 2024.

SPECIFIC STUDIES

1. IMPACT OF DECLINING PHOSPHORUS CONCENTRATIONS ON THE FOOD WEB - A LITERATURE REVIEW

Phosphorus is one of CIPEL's long-standing battles, and the previous target, set in 2011, of a total phosphorus concentration of between 10 and 15 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ is now very close to being achieved. Against this backdrop, this study proposes a methodical and exhaustive literature review in order to re-examine this objective in the light of current knowledge, and to compare it with the various uses of Lake Geneva that CIPEL wishes to promote. The results of this review show that phosphorus concentrations of less than 10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ are generally insufficient to maintain a large fish population, although phosphorus alone cannot fully explain changes in fish biomass. Water warming, the presence of quagga mussels, micropollutants and many other factors can also have an influence. Given that control of algal blooms seems to have been achieved, the threshold of 15 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ appears to be a good compromise for maintaining a "quality" fish biomass while allowing other uses of the lake. It will therefore be up to CIPEL to reconsider the previously established threshold of 10 to 15 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ in 2025.

2. EVALUATION OF LAKE LEMAN WATER QUALITY USING A BATTERY OF BIOASSAYS

In principle, ecotoxicological assessment by bioassay is more integrative and comprehensive than assessment by chemical analysis, since it considers mixing effects as well as unanalyzed substances. However, this technique has historically encountered sensitivity limits when it comes to assessing natural waters with low levels of pollution, such as those in Lake Geneva. Considering the state-of-the-art considerable evolution in recent years, this study proposes to test the various bioassays currently available and compare them with chemical analysis. Three sites (SHL2, Baie de Vidy and Dranse delta) were studied in 2022 and 2023 during two campaigns in which water samples were subjected to both chemical analysis and a battery of bioassays. The bioassays carried out on fish embryos were the most significant in each of the three sites, although the Vidy Bay sample showed the most pronounced effects, a result in line with the ibuprofen concentration exceeding the environmental quality criterion. Bioassays now complement chemical analysis, although some of them still require threshold validation.

3. PLA'STOCK - STUDY OF MICROPLASTIC STOCKS ON THE SHORES OF LAKE GENEVA

The Pla'Stock project, commissioned by CIPEL, is the result of a collaboration between CIPEL, ASL (Association pour la sauvegarde du Léman), and the University of Geneva that aims to assess plastic pollution on the beaches of Lake Geneva. In total, 25 beaches around Lake Geneva were investigated by over a hundred volunteers to count macroplastics (visible to the naked eye) and collect substrate samples for laboratory analysis of microplastics (0.3 – 5 mm). Regarding macroplastics, an average of 3.4 plastic items per linear meter was recorded, with the most common items being food packaging, cigarette butts, and industrial pellets. The study also highlighted the presence of fibers used to improve the cohesion of shotcrete in constructions. Concerning microplastics, an average of 17,500 microplastic particles per square meter was found on the beaches of Lake Geneva, 75% of which were textile fibers. The study further reveals significant variability in results across beaches and samples, which cannot be linked to any specific activity in nearby areas or to the type of substrate. However, the beaches of Bouveret and Les Grangettes, influenced by the Rhône River and back-currents, were found to be the most affected by plastic pollution.