

BIOMASSE CHLOROPHYLIENNE ET PRODUCTION PRIMAIRE DANS LE LÉMAN

CHLOROPHYLL A BIOMASS AND PRIMARY PRODUCTION IN LAKE GENEVA

CAMPAGNE 2024

PAR

Serena RASCONI, Frédéric RIMET et Pascal PERNEY

INRAE-UMR CARRTEL, CS 50 511, F-74203 THONON LES BAINS CEDEX

RÉSUMÉ

La dynamique saisonnière des concentrations de chlorophylle a en 2024 a montré un démarrage de croissance à la fin du mois de février, correspondant à une baisse de la transparence dans la couche supérieure de la colonne d'eau et à un premier pic de production primaire. En début de printemps les valeurs de chlorophylle a et de production primaire ont baissé et sont restées stables pendant la période printanière (mars-mai). Un deuxième pic de production primaire correspondant au pic printanier de chlorophylle a été mesuré fin mai-juin. Les concentrations de chlorophylle a mesurées en septembre ont été plus élevées que celles mesurées le reste de l'année. Le pic plus important de chlorophylle a a été décalé par rapport au pic plus important de production primaire, mesuré en octobre. Ensuite les valeurs de chlorophylle a et de production ont baissé en novembre et décembre et ont atteint des valeurs minimales typiques de la saison hivernale, correspondant à une augmentation de la transparence de l'eau.

En termes d'évolution interannuelle (depuis 2015), les concentrations moyennes de chlorophylle a et les valeurs de production primaire en mars-mai ont été moins élevées en 2024 que celles observées les années précédentes. Seule la production primaire a été moins élevée en 2019. En revanche, en juin-août les valeurs de production primaire ont été plus élevées en comparaison aux valeurs observées à l'exception des deux années précédentes, bien que les valeurs de chlorophylle a aient présenté des valeurs moins élevées comparées aux années précédentes. En automne 2024, les valeurs de chlorophylle a et de production primaire moyenne ont été légèrement inférieures comparées aux valeurs observées les années précédentes.

A l'échelle interannuelle, la tendance de chlorophylle a est stable depuis 2018 autour de la valeur moyenne de 4 µg/L.

ABSTRACT

In 2024 chlorophyll a concentration started to increase at the end of February, corresponding to the lowering of the transparency. At the same time, the measured primary production showed a first peak of activity. In early spring, chlorophyll a concentration and primary production were lower and remained stable during spring (March-May). A second primary production peak corresponding to the spring chlorophyll a peak was measured at the end of May-June. The maximum of chlorophyll a was observed in September. The maximum concentration of chlorophyll a was not synchronous with the maximum of primary production, measured in October. Chlorophyll a and primary production values decreased in November-December and reached the minimum values typical of the winter season, corresponding to high water transparency.

In the interannual trend (since 2015), in March-May 2024 chlorophyll a concentration and primary production were lower compared to previous years, only in 2019 the primary production was lower. In June-August the primary production values were higher compared to the previous years, although chlorophyll a values were lower. During autumn, the average chlorophyll a concentration and primary production were lower compared to the values measured in 2023 and to the previous years.

The annual average concentration of chlorophyll a showed a relative stability since 2018, around the mean value of 4 µg/L.

1. INTRODUCTION

Ce rapport présente les données de concentration en chlorophylle *a* (utilisée comme estimateur de la biomasse phytoplanctonique) et de production primaire mesurées à la station SHL2 tout au long de l'année 2024. L'évolution interannuelle de ces paramètres est également présentée pour la période 2015-2024.

2. MÉTHODES

L'échantillonnage a été réalisé aux profondeurs habituelles de 0, 1, 2.5, 3.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30 m pour la chlorophylle *a* et de 0, 1, 2.5, 3.5, 5, 7.5, 10, 15 et 20 m pour la production primaire. La transparence de l'eau a été mesurée à l'aide d'un disque de Secchi noir et blanc standard. Dix-neuf campagnes ont été effectuées en 2024, mensuelles pendant les mois de janvier, février et décembre, et bimensuelles pendant les autres mois. A cause des contraintes techniques et météorologiques l'échantillonnage de juin et septembre a également été mensuel.

La concentration en chlorophylle *a* a été analysée au spectrophotomètre. Historiquement, la concentration brute en chlorophylle *a* (ici notée **ChIA**) a été calculée suivant l'équation de STRICKLAND & PARSONS (1968) à partir des absorbances mesurées aux longueurs d'ondes suivantes : 750, 665, 645 et 630 nm (Norme NF T90-117 AFNOR, 1999). L'adoption de la méthode de SCOR-UNESCO depuis 2013 nécessite de mesurer en plus l'absorbance à 410 nm, correspondant aux phéopigments, dans l'objectif de corriger la concentration brute pour la dégradation de la chlorophylle *a* (notée **Chla**, NF T90-117 AFNOR 1999). Le taux de dégradation étant en moyenne < 3 %, les deux mesures de la concentration en chlorophylle *a* (**ChIA** et **Chla**) sont fortement corrélées (régression linéaire comparant toutes les mesures pour la période 2013-2024 : $R^2 = 0.92$, $p < 0.001$). Les mesures de Chla sont donc présentées pour le suivi de l'année 2024 et l'évolution comparative avec les mesures de production primaire à partir de l'année 2015 sur les eaux de surface 0 à 20 m. L'évolution interannuelle des biomasses chlorophylliennes a été quantifiée à partir des valeurs moyennes de ChIA sur les eaux de surface de 0 à 30 m et présentée pour la période 1977-2024.

La production primaire (PP) a été mesurée selon le protocole établi en 2014 (PERGA, TADONLEKE & PERNEY, 2015), par la méthode d'incubation et d'incorporation du ^{13}C entre 10h et 14h. Les valeurs sont exprimées en masse de carbone fixée par litre et par heure ($\mu\text{g C/L/h}$).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 DYNAMIQUE SAISONNIÈRE

Les concentrations moyennes pondérées en fonction de l'épaisseur des couches et les concentrations maximales en chlorophylle *a* (Chla) mesurées sur les 20 premiers mètres ont présenté des valeurs faibles en janvier suivies par une augmentation en février (20 février $12.5 \mu\text{g/L}$, Figure 1a). Cette augmentation de biomasse chlorophyllienne correspond à la période de croissance printanière du phytoplancton dominée par *Plagioselmis* et *Cyclotella* (RIMET 2025, ce rapport). Pendant cette période une baisse de la transparence et un pic de production primaire (transparence 4.65 m, Figure 1a et production maximum $11.7 \mu\text{g C/L/h}$, Figure 1b) ont également été observés. Ensuite, pendant la période mars-mai une baisse importante de production et des valeurs de Chla ont été observées, correspondant à un pic d'abondance du zooplancton herbivore (RASCONI et al 2025, ce rapport). La biomasse des algues de petite taille est drastiquement réduite pendant cette période (RIMET 2025, ce rapport), notamment la diatomée *Cyclotella* qui constitue une des sources de nourriture préférée du zooplancton.

A partir de fin mai jusqu'au mois d'août, les concentrations moyennes en chlorophylle *a* et les valeurs de production primaire sont relativement stables (maximum de Chla le 28 mai $6.77 \mu\text{g/L}$ et de production primaire le 6 août $9.4 \mu\text{g C/L/h}$). En septembre a été observée une phase de croissance de la biomasse chlorophyllienne plus importante que celle observée au printemps et un pic de Chla ($13.8 \mu\text{g/L}$) a été enregistré le 3 de ce mois à la profondeur de 7.5 m. Un pic de production primaire a été mesuré le 7 octobre ($9.92 \mu\text{g C/L/h}$ à la profondeur de 3.5 m), moins important par rapport à celui mesuré au printemps.

Suite à ces pics, une baisse des concentrations en chlorophylle *a* et de production primaire est constatée. En novembre et décembre, les concentrations en chlorophylle *a* (moyenne novembre-décembre $2 \mu\text{g/L}$) et production primaire (moyenne novembre-décembre $2.19 \mu\text{g C/L/h}$) ont été nettement plus faibles que celles observées les mois précédents. Cette baisse de biomasse phytoplanctonique est associée à une augmentation de la transparence et une baisse de la population zooplanctonique (RASCONI et al 2025, ce rapport).

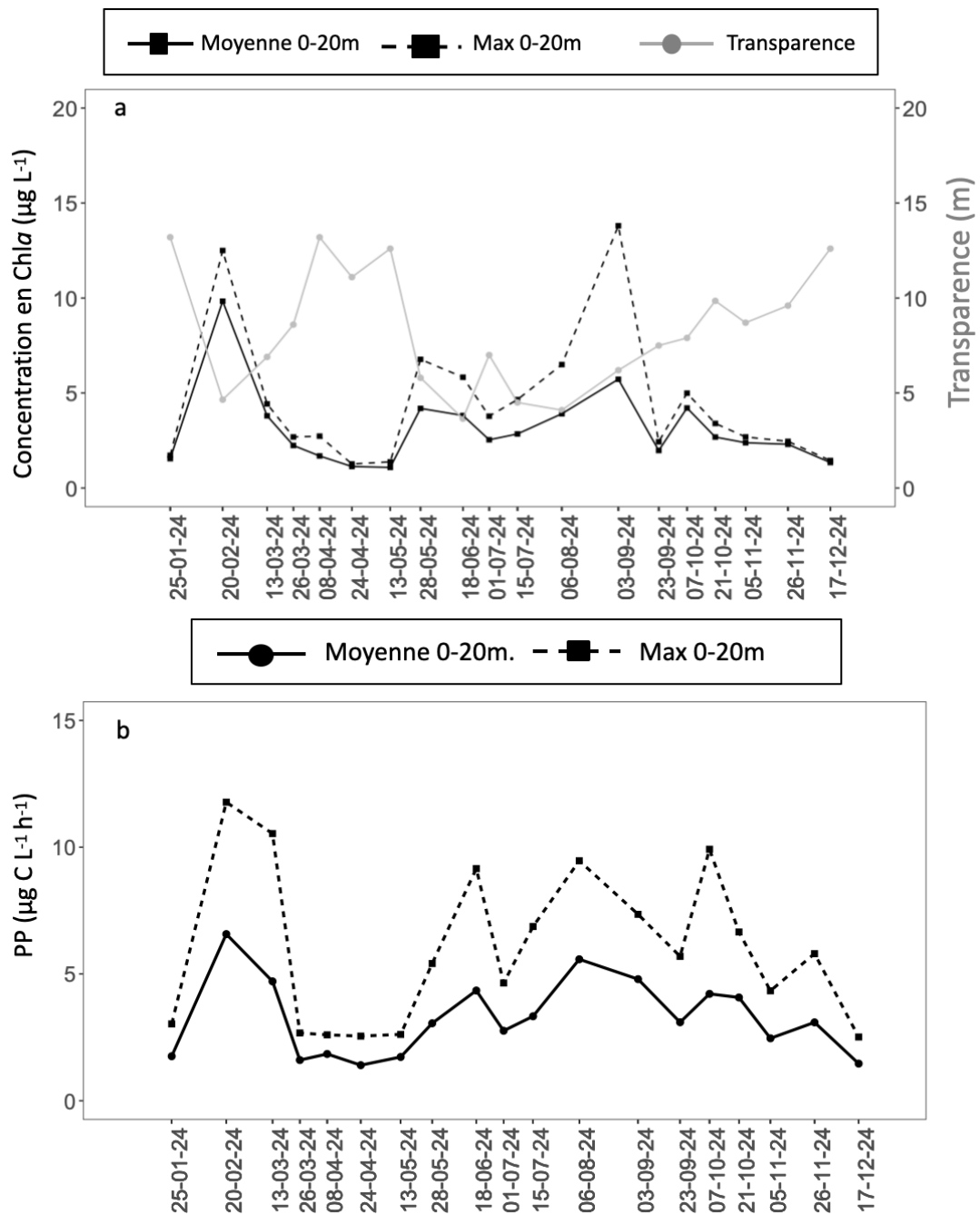


Figure 1 : Évolution annuelle a) des concentrations maximales et moyennes en chlorophylle a des eaux de surface 0-20 m, ainsi que de la transparence et b) de la production primaire maximale et moyenne des eaux de surface 0-20 m (SHL2). Les dates correspondent aux dates de campagnes de suivi).

Figure 1 : Monthly dynamic of a) water transparency and average and maximum Chla concentration measured between 0 and 20 m b) average and maximum primary production measured between 0 and 20 m (Lake Geneva, SHL2. The dates indicate the sampling dates).

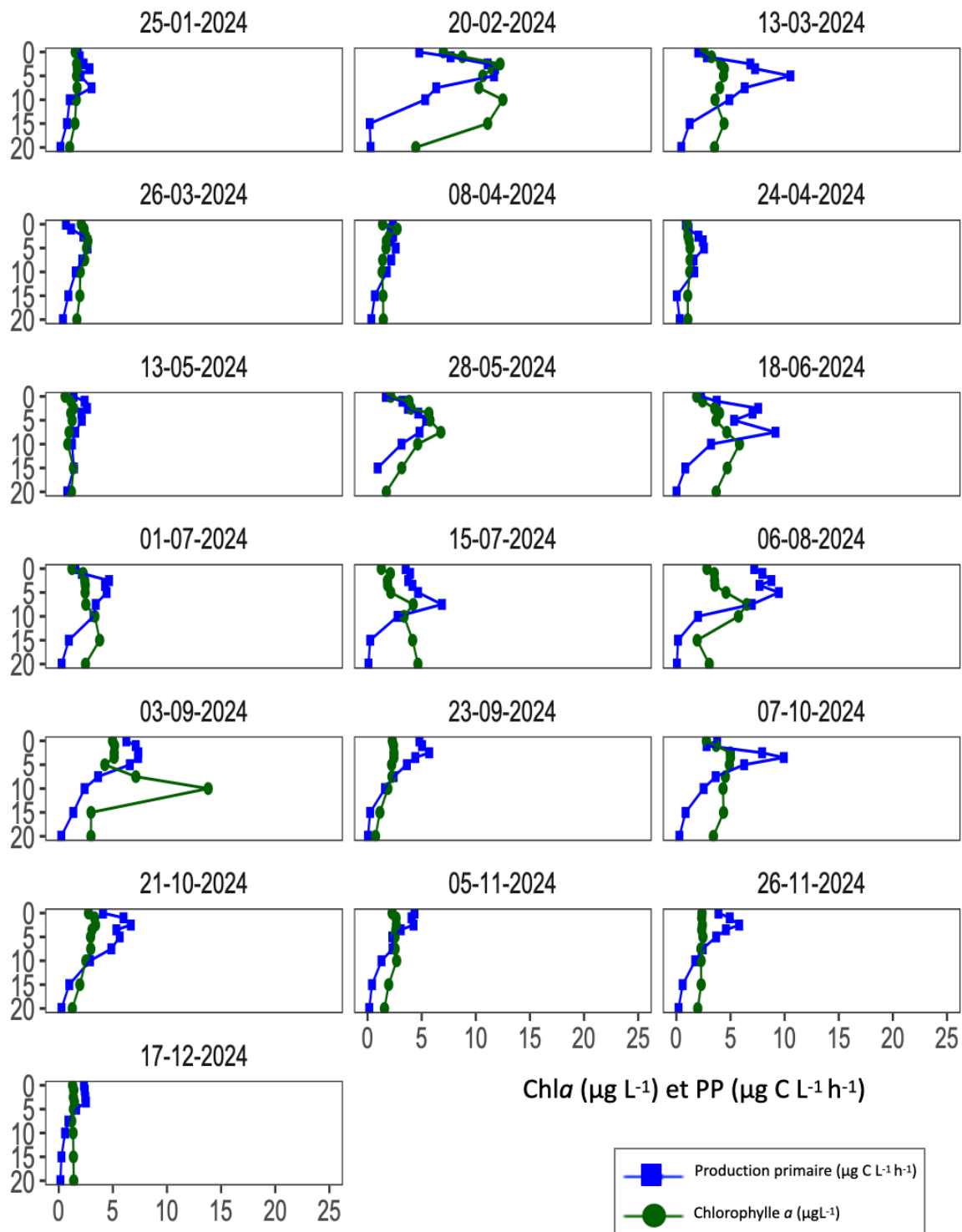


Figure 2 : Profils verticaux de production primaire (bleu) et chlorophylle *a* (vert) enregistrés à la station SHL2 en 2024. Les dates correspondent aux dates de campagnes de suivi.

Figure 2 : Primary production (blue line) and chlorophyll *a* concentration (green line) measured during 2024 (Lake Geneva, SHL2. The dates indicate the sampling dates).

3.2 DYNAMIQUE INTERANNUELLE

Les valeurs moyennes de chlorophylle *a* et de production primaire (Figure 3) mesurées au printemps (mars-mai) en 2024 ont été moins élevées que les valeurs observées les années précédente (2.35 en 2024, 7.41 en 2023, 4.08 µg/L en 2022 et 7.02 µg/L en 2021 pour la chlorophylle *a* ; 2.12 µg C/L/h en 2024, 4.05 µg C/L/h en 2023, 3.39 µg C/L/h en 2022 et 5.61 µg C/L/h en 2021 pour la production primaire). La valeur moyenne de chlorophylle *a* est la plus basse depuis 2016 et la moyenne de production primaire la 2ème plus basse. Seules les valeurs de production primaire mesurées en 2019 étaient plus faibles (1.18 µg C/L/h). Cependant, en 2020, la production primaire n'a pas pu être mesurée à cause de l'interruption des échantillonnages due à la pandémie de COVID19 et la Chla n'avait été mesurée qu'en mai.

Au cours de la période estivale (juin - août 2024) une augmentation de la concentration en Chla a été observée, correspondant également à une augmentation de la production primaire. Les valeurs moyennes estivales enregistrées ont été respectivement de 3.81 µg/L et de 3.41 µg C/L/h. Les valeurs de Chla en 2024 ont été plus basses que les valeurs mesurées en 2022 et 2023, la production primaire en revanche a légèrement augmenté.

En automne (septembre-novembre), les valeurs en Chla ont été plus basses par rapport aux valeurs mesurées en 2021-2022 (3.19 µg/L en 2024, 4.7 µg/L en 2023, 5.5 µg/L et 5.7 µg/L, respectivement en 2021 et 2022), ainsi que les valeurs de production primaire (2.64 µg C/L/h en 2024, 3.39 µg C/L/h en 2023 et respectivement 3.6 µg C/L/h en 2021 et 3.7 µg C/L/h en 2022).

Sur une période plus longue, les moyennes annuelles en chlorophylle *a* (calculées de février à novembre pour éviter les valeurs manquantes) mesurées avec la méthode Strickland Parsons (Chla) et pondérées sur les 30 premiers mètres de profondeur, ont présenté des fluctuations interannuelles (Figure 4). Après une période d'augmentation des valeurs pendant les années 1980 jusqu'à la moitié des années 1990, une diminution depuis la fin des années 90 est observée. Les valeurs depuis 2008 sont en majorité au-dessous de la valeur correspondant à la moyenne calculée sur la période 1976 - 2024 (3.98 µg/L) et les concentrations moyennes annuelles de chlorophylle *a* observée depuis 2018 sont stables autour de cette moyenne (Figure 4).

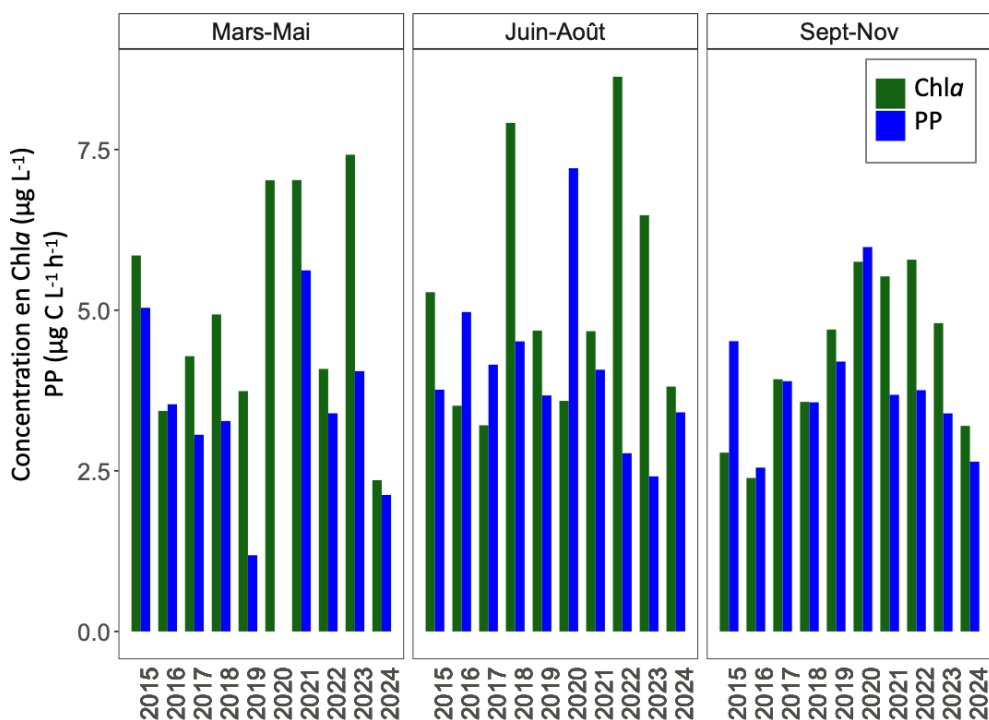


Figure 3 : Evolution interannuelle des moyennes saisonnières sur 20 m des concentrations en Chla et de production primaire (PP), mesurées à la station SHL2. Pour la période mars-mai 2020 la Chla a été mesurée qu'en mai à cause de l'interruption des échantillonnages due à la pandémie de COVID19.

Figure 3: Inter annual seasonal averages of Chla concentration and primary production measured in the layer 0-20 m (Lake Geneva, SHL2). For the period March-May 2020 the Chla concentrations have been measured only in May because of a sampling interruption due to the COVID19 pandemic.

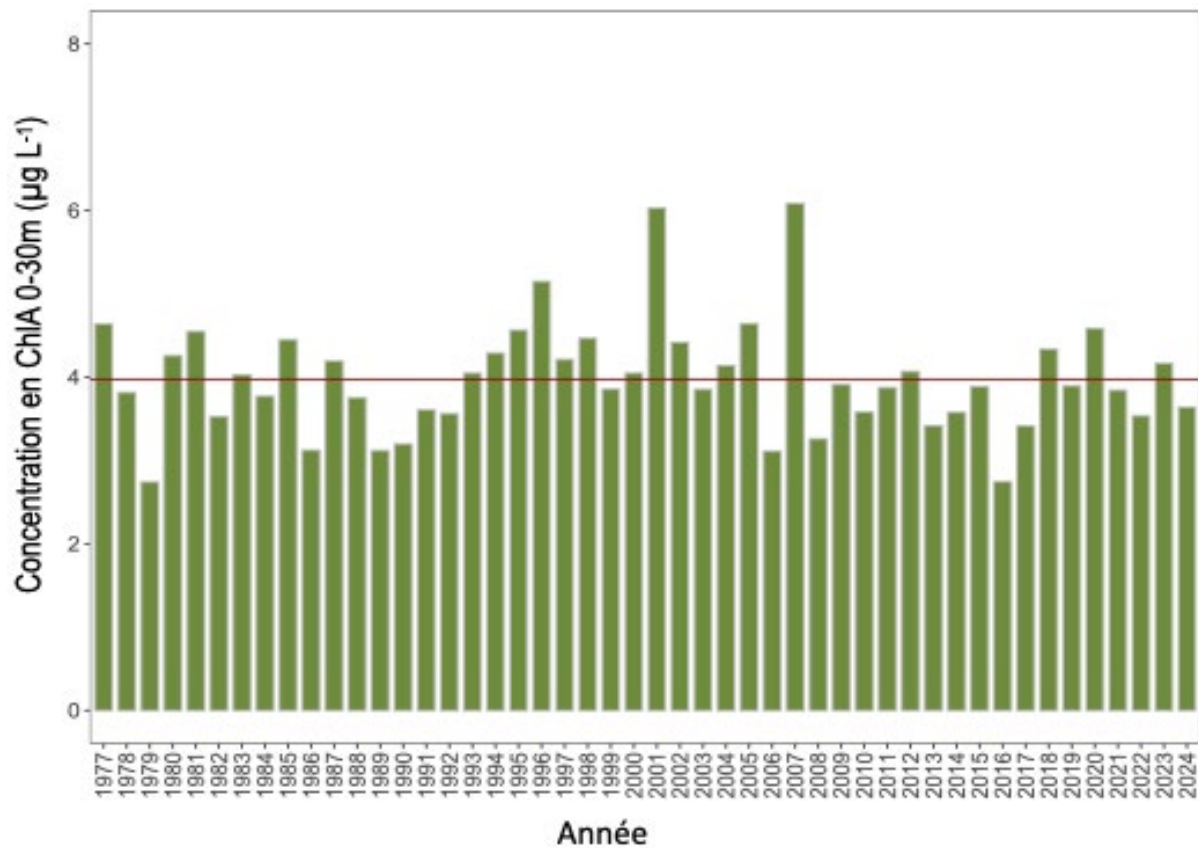


Figure 4 : Evolution entre 1976 et 2023 des moyennes annuelles, pondérées sur les 30 premiers mètres, des concentrations en chlorophylle a mesurées selon la méthode Strickland Parsons de février à novembre (Léman, SHL2). La ligne horizontale indique la valeur correspondant à la moyenne calculée sur toute la période (3.98 µg/L).

Figure 4: Long-term variation (1976 - 2023) of Chla concentration measured with the Strickland Parsons method. Values are the average of the concentrations measured at every depth weighted for the layer thickness from February to November (Lake Geneva, SHL2). The red line indicates the average value on the entire period (3.98 µg/L).

BIBLIOGRAPHIE

- Anneville O., Ginot V. et Angeli N. (2001). Evolution de l'état de santé du Léman évaluée par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000, p. 161-189.
- Blanc, P., Pelletier, J.P., et Moille, J.P. (1993). Variabilité spatiale et temporelle des paramètres physico-chimiques et biologiques dans l'eau du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1992, p. 113-162.
- Perga, M.E., Tadonleke, R., et Perney, P. (2015). Mesures de la production primaire : Transition des protocoles 14C - 13C. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2014. p. 163-171.
- Rasconi, S., Anneville, O., et Lainé, L. (2024). Zooplancton du Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2023.
- Rimet, F. (2024): Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2023.
- Strickland, J.D.H. et Parsons, T.R. (1968). A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Board Canada, 167, 311 pp.
- Tran Khac, V., Quetin, P., et Anneville, O. (2023). Évolution physico-chimique des eaux du Léman et données météorologiques. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2023.