

BIOMASSE CHLOROPHYLIENNE ET PRODUCTION PRIMAIRE DANS LE LEMAN

CHLOROPHYLL A BIOMASS AND PRIMARY PRODUCTION IN LAKE GENEVA

CAMPAGNE 2023

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 2023 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. Le pic plus important de production primaire, donnant lieu au pic maximum de chlorophylle a, a été mesuré en avril. Les concentrations de chlorophylle a mesurées au printemps (mars-mai) ont été plus élevées que celles mesurées le reste de l'année. Un dernier pic de biomasse chlorophyllienne correspondant à un pic moins important de production a été observé en septembre. Ensuite les valeurs de chlorophylle a et de production sont restées stables pendant les mois d'été, puis ont baissé rapidement 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 inter-annuelle, les concentrations moyennes de chlorophylle a et les valeurs de production primaire en mars-mai ont été plus élevées en 2023 que celles observées en 2022, mais cohérentes avec les valeurs mesurées dans les années précédentes. En revanche, en juin-août les valeurs de production primaire ont été plus faibles en comparaison aux valeurs observées précédemment, bien que les valeurs de chlorophylle a aient présenté des valeurs plus élevées comparées aux années précédentes. En automne 2023, les valeurs de chlorophylle a et de production primaire moyenne ont été légèrement inférieures comparées aux valeurs observées en 2021 et les années précédentes.

A l'échelle inter-annuelle, la tendance de chlorophylle a est stable depuis 2018 autour de la valeur moyenne de $4 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

ABSTRACT

In 2023 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. The maximum of the production, corresponding to the maximum of chlorophyll a, was observed in April. Chlorophyll a seasonal concentration measured during spring (March -May) was higher compared to the values measured during the rest of the year. In June a last peak of chlorophyll a concentration was observed, corresponding with a small peak of primary production. Following this peak, the chlorophyll a concentration and the primary production remained stable during summer, then rapidly decreased, and reached the low values typical of the winter period and corresponding to high water transparency.

In the inter-annual trend, in March-May 2023 chlorophyll a concentration and primary production were higher compared to 2022, but consistent with the values observed during the previous years. In June-August the primary production values were lower compared to the previous years. The same was during autumn, the average chlorophyll a concentration and primary production were lower compared to the values measured in 2022 and to the previous years measurements.

The annual average concentration of Chlorophyll a showed recently a decreasing trend, which is stable since 2018 around the mean value of $4 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

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 2023. L'évolution inter-annuelle de ces paramètres est également présentée pour la période 2015-2023.

2. METHODES

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-huit campagnes ont été effectuées en 2023, mensuelles pendant les mois d'avril, octobre, novembre et décembre. Deux campagnes ont eu lieu pour les autres mois. À cause des contraintes techniques et météorologiques l'échantillonnage en janvier n'a pas pu être effectué.

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 intimement corrélées (régression linéaire comparant toutes les mesures pour la période 2013-2023 : $R^2 = 0.94$, $p < 0.001$). Les mesures de Chla sont donc présentées pour le suivi de l'année 2023 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 inter-annuelle 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 1977-2023.

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 ($\mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

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 début du mois de février suivies par une augmentation à partir de la deuxième moitié du mois (21 février, $8.26 \mu\text{g L}^{-1}$, Figure 1a).

Cette augmentation de biomasse chlorophyllienne correspond à la période de croissance printanière du phytoplancton dominée par *Plagioselmis* et *Cyclotella* (RIMET 2024, ce rapport). Pendant cette période une baisse de la transparence et un pic de production primaire (transparence 7.3 m, Figure 1a et production maximum $10.4 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$, Figure 1b) ont également été observés. Au printemps, des pics de production importants ont été observés jusqu'à 10 m de profondeur pendant toute la saison (le pic en avril était de $21 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$, Figure 2).

En mai, une baisse de la production primaire et de la biomasse chlorophyllienne a été observée probablement en raison d'un pic d'abondance du zooplancton herbivore (RASCONI et al 2024, ce rapport) et de concentrations limitantes en nutriments. La biomasse des algues de petite taille est drastiquement réduite pendant cette période (RIMET 2024, ce rapport), notamment la diatomée *Cyclotella* qui constitue une des sources de nourriture préférée du zooplancton. En juillet et en août, les concentrations moyennes en chlorophylle *a* et les valeurs de production primaire sont stables (maximum Chla $6.03 \mu\text{gC L}^{-1}$ et production primaire $7.1 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$). En octobre, des suites du pic de production primaire en septembre ($17.2 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$ à la profondeur de 3.5 m), une nouvelle phase de croissance de la biomasse chlorophyllienne a été observée, un pic de Chla ($6.5 \mu\text{gC L}^{-1}$) a été enregistré le 11 octobre à la profondeur de 7.5 m, qui toutefois présente des concentrations inférieures à celles observées au printemps.

À la suite de ce pic, une baisse des concentrations en chlorophylle *a* est constatée. En novembre et décembre, les concentrations en chlorophylle *a* ont été nettement plus faibles (moyenne novembre-décembre L^{-1}) 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 2024, ce rapport).

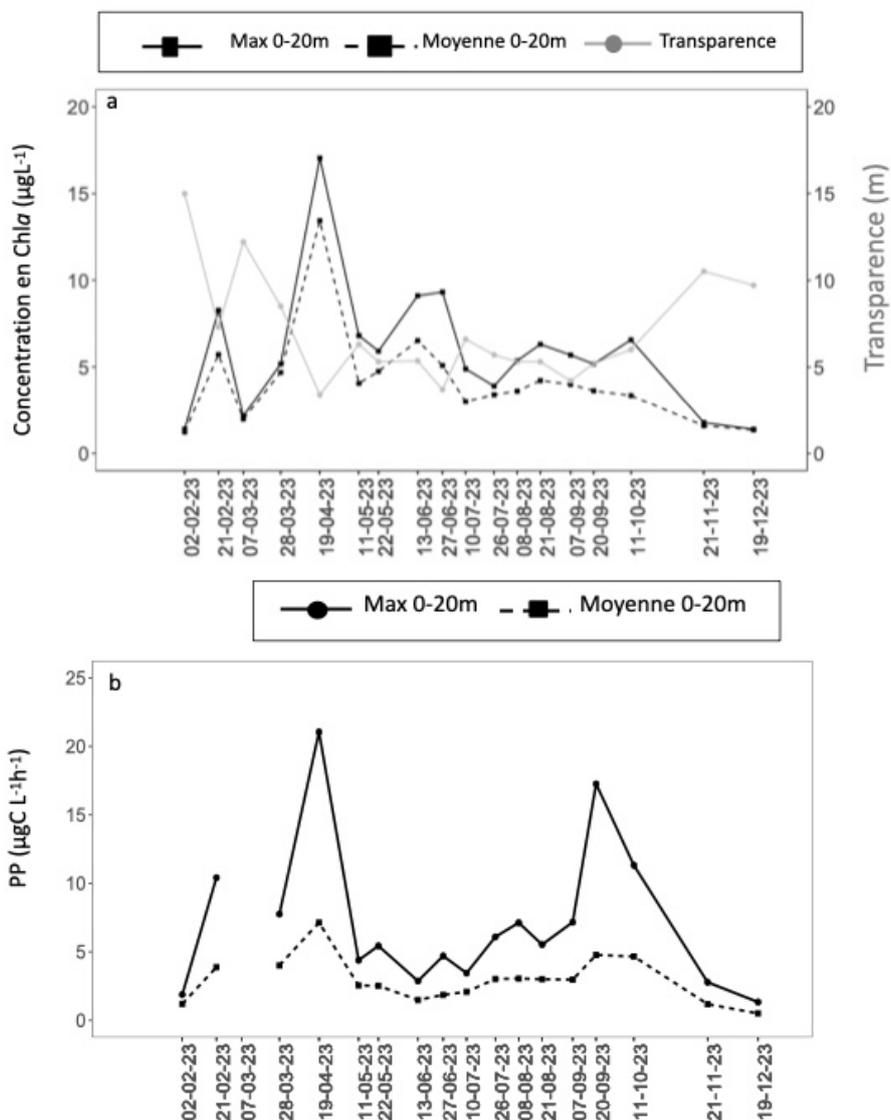


Figure 1. Évolution annuelle des concentrations maximales et moyennes (a) en chlorophylle a des eaux de surface 0-20 m, ainsi que de la transparence et (b) de la production primaire maximale et moyenne des eaux de surface 0-20 m (SHL2). Les dates correspondent aux dates de campagnes de suivi).

Figure 1. Monthly dynamic of a. water transparency and average and maximum (a) chlorophyll a 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).

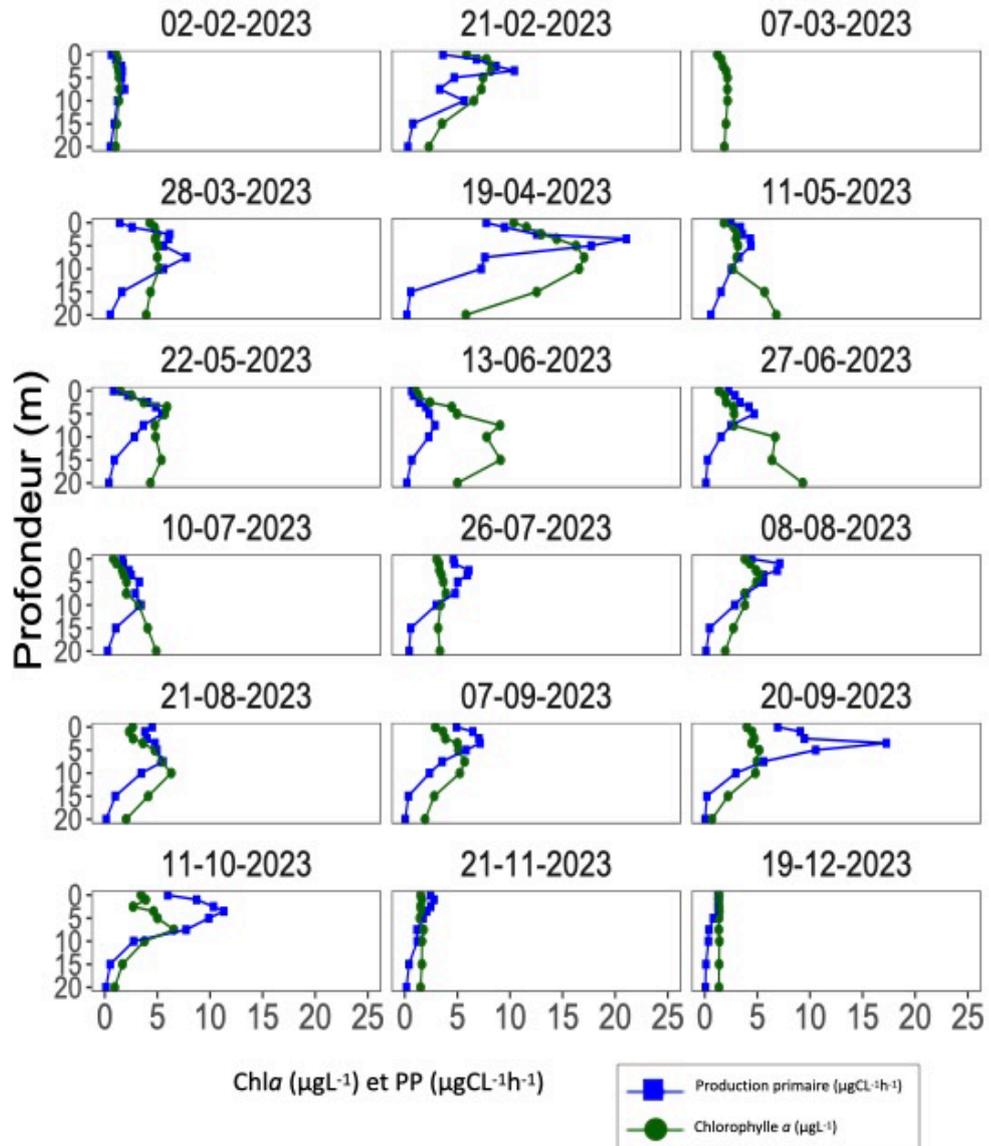


Figure 2. Profils verticaux de production primaire (bleu) et chlorophylle a (vert) enregistrés à la station SHL2 en 2023. Les dates correspondent aux dates de campagnes de suivi.

Figure 2. Primary production (blue line) and chlorophyll a concentration (green line) measured during 2023 (Lake Geneva, SHL2). The dates indicate the sampling dates).

3.2. DYNAMIQUE INTER-ANNUELLE

Les valeurs moyennes de chlorophylle *a* et de production primaire (Figure 3) mesurées au printemps (mars-mai) en 2023 ont été plus élevées que les valeurs observées l'année précédente (7.41 en 2023, 4.08 $\mu\text{g L}^{-1}$ en 2022 et 7.02 $\mu\text{g L}^{-1}$ en 2021 pour la chlorophylle *a* ; 4.05 $\mu\text{gC L}^{-1}\text{h}^{-1}$ en 2023, 3.39 $\mu\text{gC L}^{-1}\text{h}^{-1}$ en 2022 et 5.61 $\mu\text{gC L}^{-1}\text{h}^{-1}$ en 2021 pour la production primaire) et similaires avec les valeurs mesurées depuis 2016. Seules les valeurs de production primaire mesurées en 2019 étaient plus faibles (1.18 $\mu\text{gC L}^{-1}\text{h}^{-1}$) et les valeurs de Chla mesurées en 2023 étaient comparables à celles mesurées en 2021 (7.02 $\mu\text{g L}^{-1}$) et 2020 (7.05 $\mu\text{g L}^{-1}$). 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 2023) une diminution de la concentration en Chla a été observée, correspondant également à une baisse de la production primaire. En 2023, les valeurs de production primaire moyennes estivales (2.41 $\mu\text{gC L}^{-1}\text{h}^{-1}$) ont été plus basses que les valeurs de printemps, ainsi que la Chla (4.3 $\mu\text{g L}^{-1}$). La production primaire a également diminué par rapport aux valeurs mesurées les années précédentes.

En automne (septembre-novembre), les valeurs en Chla ont été plus basses par rapport aux valeurs mesurées en 2021-2022 (2.9 $\mu\text{g L}^{-1}$ en 2023, 5.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ et 5.7 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivement en 2022 et 2021), ainsi que les valeurs de production primaire (3.39 $\mu\text{gC L}^{-1}\text{h}^{-1}$ en 2023 et respectivement 3.6 $\mu\text{gC L}^{-1}\text{h}^{-1}$ et 3.7 $\mu\text{gC L}^{-1}\text{h}^{-1}$).

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 (ChIA) et pondérées sur les 30 premiers mètres de profondeur, ont présenté des fluctuations inter-annuelles (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 1976-2023 (3.98 $\mu\text{g L}^{-1}$) et les concentrations moyennes annuelles de chlorophylle *a* observée depuis 2018 sont stables autour de cette moyenne (Figure 4).

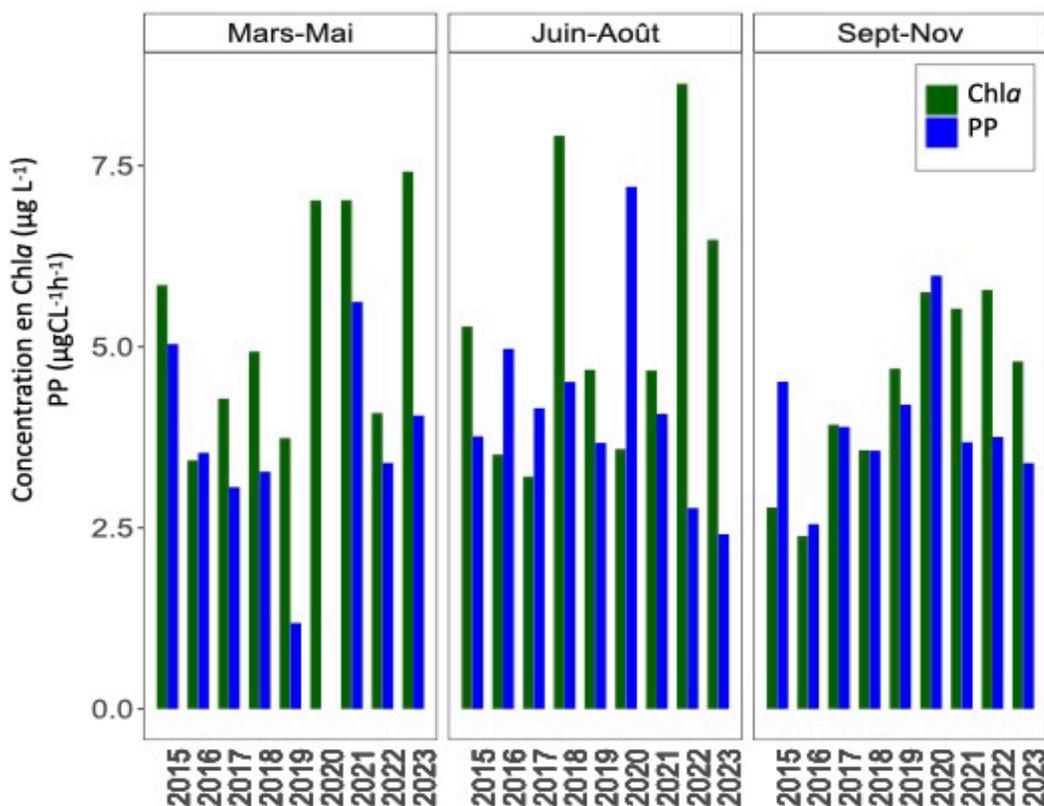


Figure 3. Evolution inter-annuelle des moyennes saisonnières sur 20 m des concentrations en Chla et de production primaire (PP), mesurées à la station SHL2. Pour la période mars-mai 2020 la Chla a été mesurée qu'en mai à cause de l'interruption des échantillonnages due à la pandémie de COVID19.

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.

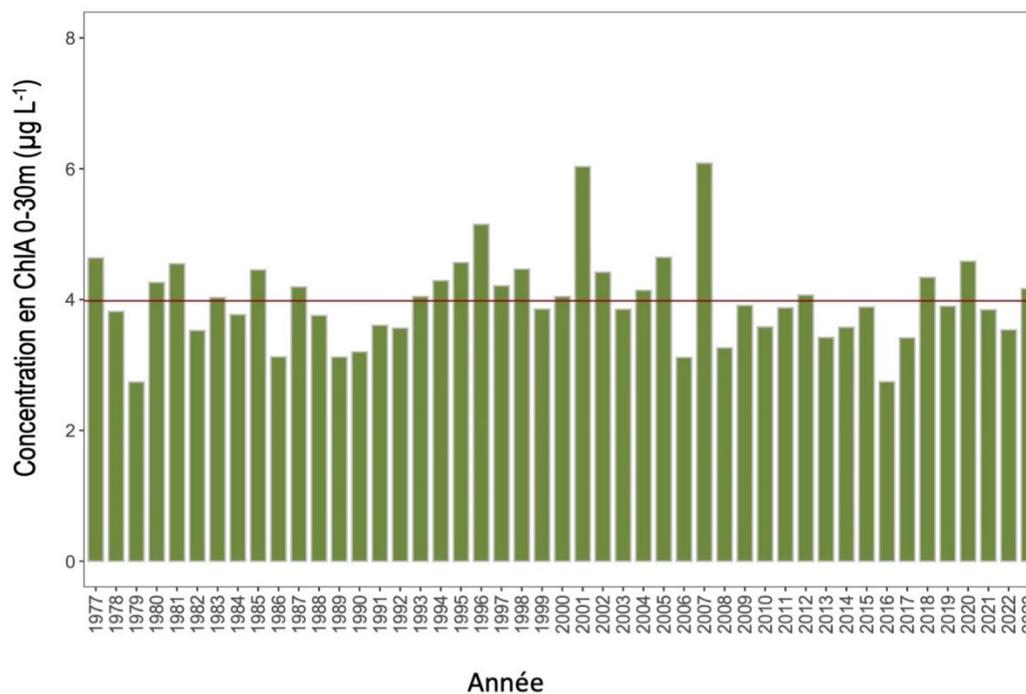


Figure 4. Evolution entre 1976 et 2023 des moyennes annuelles, pondérées sur les 30 premiers mètres, des concentrations en chlorophylle a mesurées selon la méthode Strickland Parsons de février à novembre (Léman, SHL2). La ligne horizontale indique la valeur correspondant à la moyenne calculée sur toute la période (3.98 µg L-1)

Figure 4. Long-term variation (1976-2023) of Chl a 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-1)

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. Xxx pp.
- Rimet, F. (2024) : Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2023. Xxx pp
- 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. Xxx pp.