

BIOMASSE CHLOROPHYLIENNE ET PRODUCTION PRIMAIRE DANS LE LÉMAN

CHLOROPHYLL A BIOMASS AND PRIMARY PRODUCTION IN LAKE GENEVA

CAMPAGNE 2022

PAR

Serena RASCONI, Orlane ANNEVILLE, 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 2022 a montré un démarrage de croissance à la fin du mois de mars, correspondant à une baisse de la transparence dans la couche supérieure de la colonne d'eau. Néanmoins, la production primaire a montré un premier pic d'activité au mois de février, mais qui n'aurait pas donné lieu à une augmentation de chlorophylle a. Les concentrations de chlorophylle a mesurées en été (juin-juillet) ont été plus élevées que celles mesurées le reste de l'année. Un dernier pic de biomasse chlorophyllienne correspondant au pic plus important de production a été observé en octobre à la profondeur de 2.5m. Ensuite les valeurs de chlorophylle a et de production ont baissé rapidement 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, les concentrations moyennes de chlorophylle a et les valeurs de production primaire en mars-mai ont été moins élevées en 2022 que celles observées en 2021, 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 aient présenté des valeurs plus élevées comparées aux années précédentes. En automne 2022, les valeurs de chlorophylle a et de production primaire moyenne ont été cohérentes avec les valeurs observées en 2021 et les années précédentes.

A l'échelle interannuelle, la tendance à la baisse des concentrations moyennes annuelles de chlorophylle a, observée depuis 2018, est confirmée.

ABSTRACT

In 2022 chlorophyll a concentration started to increase at the end of March, corresponding to the lowering of the transparency. However, the measured primary production showed a first peak of the activity in February but it did not correspond to an increase in chlorophyll a concentration. Chlorophyll a concentration measured during summer (June-July) were higher compared to the values measured during the rest of the year. In October a last peak of chlorophyll a concentration was observed, corresponding with the year maximum of the primary production recorded at 2.5m. Following this peak, the chlorophyll a concentration 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 2022 chlorophyll a concentration and the primary production were lower compared to 2021. In June-August the primary production values were lower compared to the previous years, although the chlorophyll a values were higher compared to the previous years. During autumn, the average chl a concentration and primary production was consistent with the values measured in 2021 and similar compared to the previous years' measures.

The annual average concentration trend of Chlorophyll a is decreasing since 2018.

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 2022. L'évolution interannuelle de ces paramètres est également présentée pour la période 2015-2022.

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 2022, mensuelles pendant les mois de janvier, février, juillet, septembre et décembre, trois campagnes ont eu lieu en août et deux pour les autres mois. À cause des contraintes techniques et météorologiques l'échantillonnage en novembre 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 630nm (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 (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 2013-2022 : $R^2 = 0.94$, $p < 0.001$). Les mesures de Chla sont donc présentées pour le suivi de l'année 2022 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 1977-2022.

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 $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$. Les valeurs sont exprimées en masse de carbone fixée par litre et par heure ($\mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. DYNAMIQUE SAISONNIERE

Les concentrations moyennes pondérées en fonction de l'épaisseur des couches et les concentrations maximales en chlorophylle *a* (Chla) mesurées sur les 30 premiers mètres ont présenté des valeurs faibles en janvier et février et une augmentation à partir de la deuxième moitié du mois de mars (21 mars, $4.07 \mu\text{g L}^{-1}$, figure 1a). Cette augmentation de biomasse chlorophyllienne correspond à la période de croissance printanière dominée par *Tribonema* et *Dinobryon* (RIMET 2022, ce rapport), période pendant laquelle une baisse de la transparence et un pic de production primaire (transparence 8m, figure 1a et production maximum $7.72 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$, figure 1b) ont également été observés. Au printemps, les valeurs ont été variables et des pics de production importants ont été observés jusqu'à 5 m de profondeur pendant toute la saison (le pic en mai était de $10.4 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$, figure 2).

En début d'été (juin), une baisse de la production primaire et de la biomasse chlorophyllienne a été observée en raison d'un pic d'abondance du zooplancton herbivore (RASCONI et al 2022, ce rapport) et probablement de concentrations limitantes en nutriments. La biomasse phytoplanctonique s'était drastiquement réduite pendant cette période (RIMET 2022, ce rapport), notamment les diatomées de petite taille qui constituent une des sources de nourriture préférée du zooplancton. En juillet, malgré la présence d'un pic important de Chla à 15m (5 juillet, $18.9 \mu\text{g/L}$) qui correspondait à un pic de production ($7 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$), les concentrations moyennes en chlorophylle *a* sont équivalentes à celles observées au printemps. Les concentrations de Chla se maintiennent à des concentrations faibles (maximum $3.6 \mu\text{g/L}$ à 7.5m) en août puis en septembre, une nouvelle phase de croissance de la biomasse chlorophyllienne et de la production primaire a été observée, le pic maximum de production de l'année ($15.18 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$) a été enregistré le 17 octobre à la profondeur de 3.5 m. Par ailleurs, ce pic de production correspond à une augmentation de la biomasse chlorophyllienne qui toutefois présente des concentrations inférieures à celles observées au printemps. Cet écart entre le maximum de production primaire et le maximum de chlorophylle est cohérent avec les années précédentes et s'expliquerait par une différence dans la composition du phytoplancton. En effet, le pic maximum de biomasse phytoplanctonique observé à l'automne est composé principalement des Dinophycées, des espèces mixotrophes (RIMET 2022, ce rapport) caractérisées par la présence de pigments photosynthétiques supplémentaires autres que la chlorophylle *a*, tels que les caroténoïdes.

Suite à ce pic, une baisse de la production primaire et des concentrations en chlorophylle *a* est constatée. En décembre, les concentrations en chlorophylle *a* et la production primaire ont été à ce moment nettement plus faibles que celles observées les mois précédents. Cette baisse de l'activité phytoplanctonique est associée à une augmentation de la transparence et une baisse de la population zooplanctonique (RASCONI et al 2022, ce rapport).

3.2. DYNAMIQUE INTERANNUELLE

Les valeurs moyennes de chlorophylle *a* et de production primaire (figure 3) mesurées au printemps (mars-mai) en 2022 ont été moins élevées que les valeurs observées l'année précédente (4.08 $\mu\text{g L}^{-1}$ en 2022 et 7.02 $\mu\text{g L}^{-1}$ en 2021 pour la chlorophylle *a* ; 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 2021 étaient comparables à celles mesurées en 2020 (7 $\mu\text{g L}^{-1}$). 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 2022) une augmentation de la concentration en Chla a été observée, correspondant cependant à une baisse de la production primaire. En 2022, les valeurs de production primaire moyennes estivales (2.77 $\mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$) ont été plus basses que les valeurs de printemps, mais pas la Chla (8.6 $\mu\text{g L}^{-1}$). La production primaire a également diminué par rapport aux valeurs mesurées les années précédentes.

En automne (septembre-novembre), les valeurs en Chla ont été stables par rapport aux valeurs mesurées en 2020 (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 (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 (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 1976-2022 (3.96 $\mu\text{g L}^{-1}$) et les concentrations moyennes annuelles de chlorophylle *a* observées depuis 2018 sont stables autour de cette moyenne (figure 4). Par ailleurs, une baisse des concentrations en chlorophylle *a* s'observe dans les couches de surface alors que les concentrations mesurées dans les couches plus profondes semblent présenter une légère augmentation. Cette évolution est donc en accord avec l'hypothèse d'un enfoncement du phytoplancton (Anneville et al 2001) qui tend à se poursuivre ces dernières années. Enfin, cette évolution met également en évidence une tendance à la ré-oligotrophisation qui s'exprime en termes de phosphore mais aussi sur la concentration de chlorophylle dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau.

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. (2022). Zooplancton du Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2022. 86 pp.
- Rimet, F. (2022): Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2022. 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. (2022). Evolution physico-chimique des eaux du Léman et données météorologiques. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2022. 18 pp.

ANNEXES

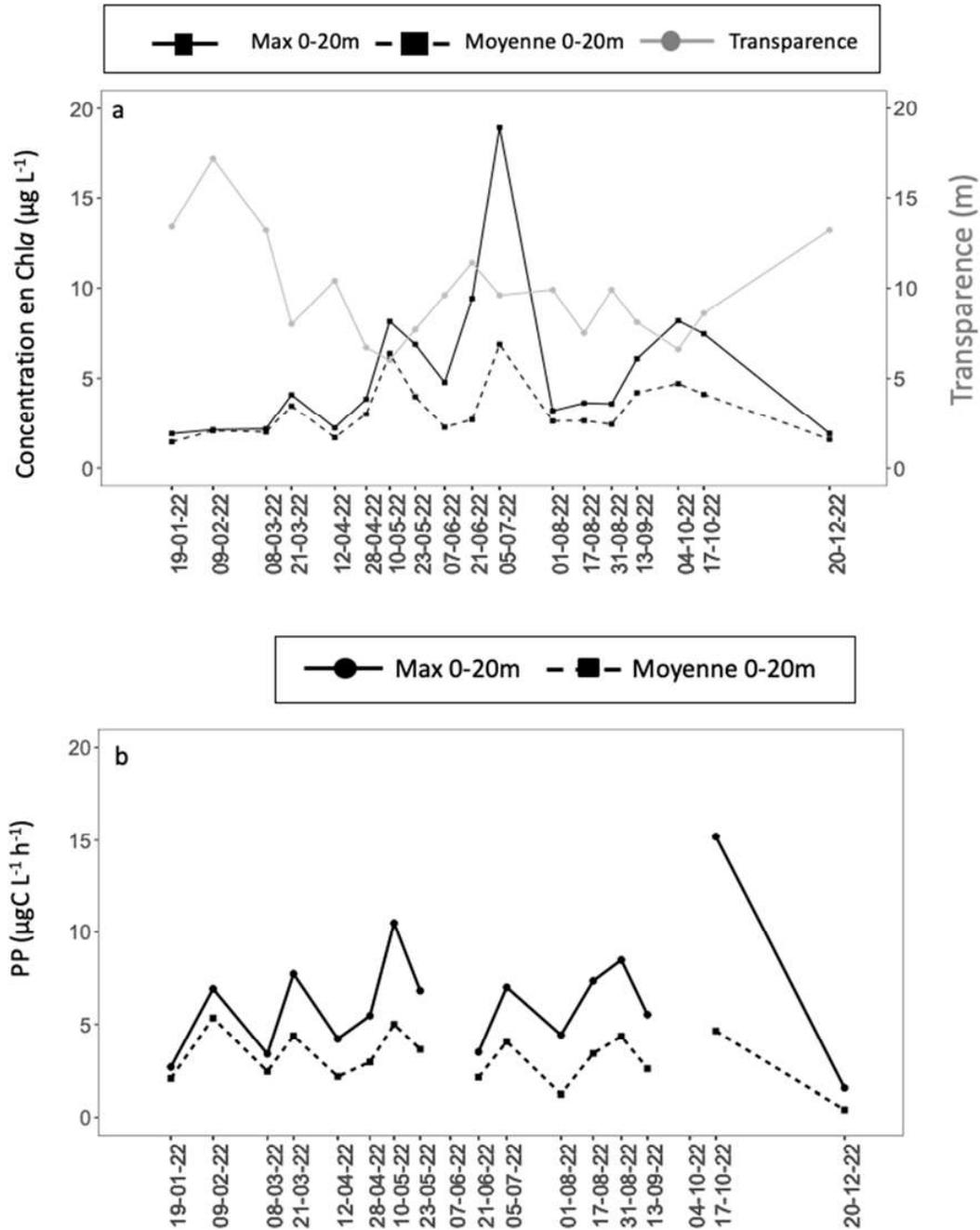


Figure 1 : Evolution annuelle a. des concentrations maximales et moyennes en chlorophylle *a* des eaux de surface 0-30 m, ainsi que de la transparence et b. de la production primaire maximale et moyenne des eaux de surface 0-20 m (SHL2. Les dates correspondent aux dates de campagnes).

Figure 1: Annual dynamic of a. water transparency and averaged and maximum Chla concentration measured between 0 and 30 m b. average and maximum primary production measured between 0 and 20 m (Lake Geneva, SHL2. The dates correspond to the sampling dates).

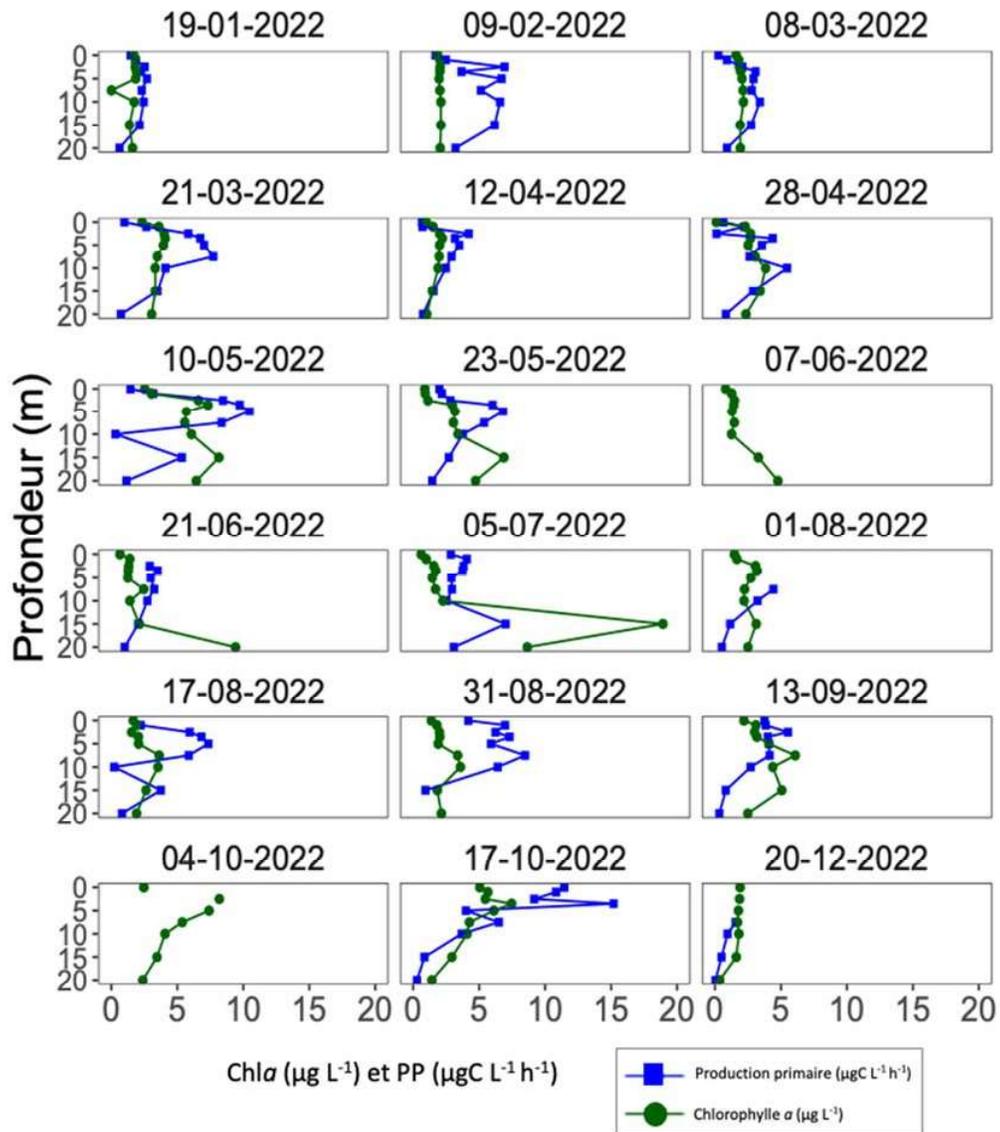


Figure 2 : Profils verticaux de production primaire (bleu) et chlorophylle a (vert) enregistrés à la station SHL2 en 2022. Les dates correspondent aux dates de campagnes.

Figure 2: Primary production (blue line) and chlorophyll a concentration (green line) measured during 2022 (Lake Geneva, SHL2). The dates correspond to the sampling dates).

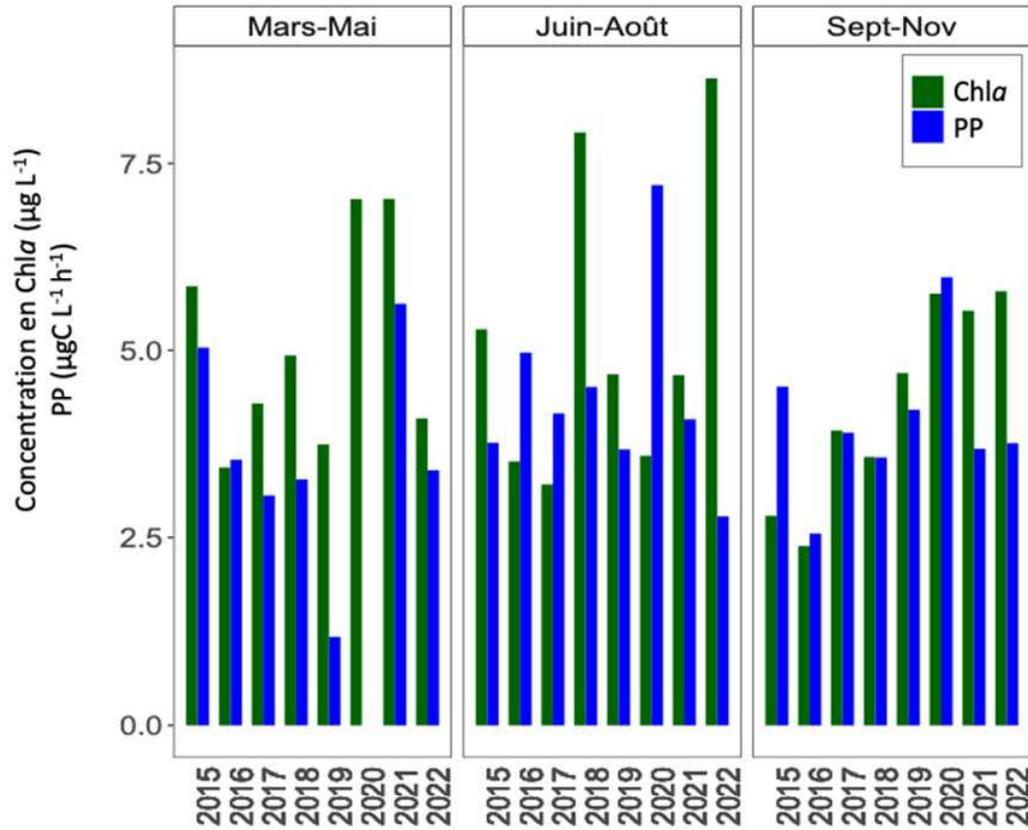


Figure 3 : Evolution interannuelle des moyennes saisonnières sur 20 m des concentrations en Chla et de production primaire (PP), mesurées à la station SHL2. Pour la période mars-mai 2020 la Chla a été mesurée qu'en mai à cause de l'interruption des échantillonnages due à la pandémie de COVID19.

Figure 3: Inter annual seasonal averages of Chla concentration and primary production measured at the depth 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.

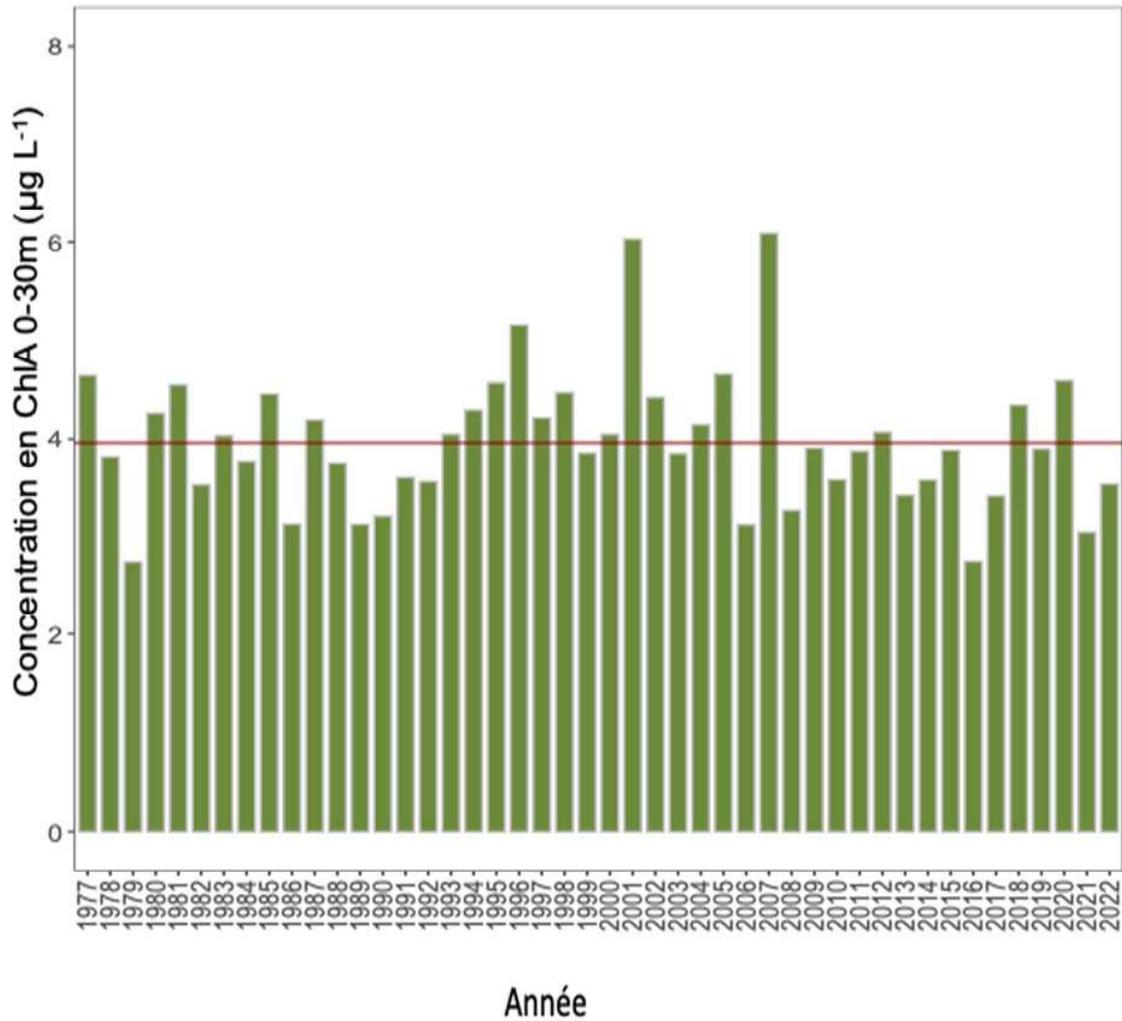


Figure 4 : Evolution entre 1976 et 2022 des moyennes annuelles, pondérées sur les 30 premiers mètres, des concentrations en chlorophylle *a* mesurées selon la méthode Strickland Parsons de février à novembre (Léman, SHL2). La ligne horizontale indique la valeur correspondant à la moyenne calculée sur toute la période ($3.96 \mu\text{g L}^{-1}$)

Figure 4: Long-term dynamic (1976-2022) 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 ($3.96 \mu\text{g L}^{-1}$).