

BIOMASSE CHLOROPHYLIENNE ET PRODUCTION PRIMAIRE DANS LE LÉMAN

CHLOROPHYLL A BIOMASS AND PRIMARY PRODUCTION IN LAKE GENEVA

CAMPAGNE 2021

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 2021 a montré un démarrage de croissance au début du mois de mars, correspondant à une augmentation de la production primaire et à une baisse de la transparence dans la couche supérieure de la colonne d'eau. Les concentrations de chlorophylle a mesurées au printemps (mars-mai) ont été plus élevées que celles mesurées en été, où une baisse de biomasse chlorophyllienne et de la production primaire a été observée, coïncidant avec un pic de développement du zooplancton et d'augmentation de la transparence. Un dernier pic de la biomasse chlorophyllienne correspondant au pic plus important de production a été observé en septembre en surface. Ensuite les valeurs de chlorophylle a ont baissé rapidement et ont atteint des valeurs minimales typiques de la saison hivernale correspondant à une augmentation de la transparence de l'eau.

Dans l'évolution interannuelle, les concentrations moyennes de chlorophylle a et les valeurs de production primaire en mars-mai ont été plus élevées en 2021 que celles observées dans les années précédentes. En revanche, en juin-août les valeurs de production primaire ont été plus faibles en comparaison au pic exceptionnel observé en 2020, bien que les moyennes aient présenté des valeurs cohérentes avec les mesures depuis 2015. En automne 2021, la production primaire moyenne a été inférieure aux valeurs observées en 2020 mais cohérente avec celles observées dans les années précédentes.

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

ABSTRACT

In 2021 chlorophyll a concentrations started to increase in the beginning of March, corresponding to the increase of the primary production and lowering of the transparency. The spring (March-May) chlorophyll a concentration values were higher compared to the values measured in summer. During the period from June to August the chlorophyll a values and primary production were low, corresponding with a zooplankton peak and an increase of the water transparency. In September a last peak of chlorophyll a concentration was observed, corresponding with the year maximum of the primary production recorded at the surface. Following this peak, the chlorophyll a values rapidly decreased and reached the low values typical of the winter period.

In the Inter annual trend, during 2021 chlorophyll a values and the primary production were higher compared to the previous years. On the other side, in June-August the primary production values were lower compared to the exceptional high peak measured in 2020, although the average values were similar to the values measured since 2015. During autumn, the primary production was lower than the primary production measured in 2020 but similar compared to the previous years' measures.

The annual average concentration of Chlorophyll a, as well as the maximum annual concentration, has been 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 2021. L'évolution interannuelle de ces mêmes paramètres (chlorophylle *a* et production primaire) est également présentée pour la période 2015-2021.

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 2021, mensuelles pendant les mois de janvier, février, avril, août, octobre, novembre et décembre et bimensuelles en mai, juin et juillet. En raison de contraintes météorologiques, l'échantillonnage bimensuel prévu en août n'a pas pu être effectué et trois échantillonnages ont eu lieu en septembre.

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 ChIa, NF T90-117 AFNOR 1999). Le taux de dégradation étant en moyenne <3 %, les deux mesures de la concentration en chlorophylle *a* (ChIA et ChIa) sont intimement corrélées (test de régression linéaire comparant toutes les mesures pour la période 2013-2021 : $R^2 = 0.94$, $p < 0.001$). Les mesures de ChIa sont donc présentées pour le suivi de l'année 2021 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 1976-2021.

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 (C) 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* (ChIa) mesurées sur les 30 premiers mètres (figure 1a) ont présenté des valeurs faibles en janvier et février et une augmentation dès le début du mois de mars. Cette augmentation de biomasse chlorophyllienne correspond à la période de croissance de diatomées centriques unicellulaires (RIMET 2022, ce rapport), période pendant laquelle une baisse de la transparence et un premier pic de production primaire ($15.4 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$, figure 1b) ont également été observés. Au printemps, les valeurs ont été variables et des pics de production importants ont été observés jusqu'à 10 m de profondeur pendant toute la saison (en avril, $14.8 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$, figure 2).

Pendant l'été, une baisse de la production primaire et de la biomasse chlorophyllienne ont été observées en raison d'un pic d'abondance zooplanctonique (RASCONI et al 2022, ce rapport) et probablement de concentrations limitantes en nutriments (TRAN KHAC et al 2022, ce rapport). 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 septembre, une nouvelle phase de croissance de la biomasse chlorophyllienne et de la production primaire a été observée. La reprise de croissance précède un bloom d'*Uroglena sp.* observé début septembre (RIMET 2022, ce rapport). Le pic maximum de l'année ($18.4 \mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$) a été enregistré le 15 septembre à la profondeur de 1 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 s'expliquerait par une différence dans la composition du phytoplancton. En effet, le pic maximum de biomasse phytoplanctonique observé au mois de septembre était composé principalement d'espèces mixotrophes (RIMET 2022, ce rapport), des espèces caractérisées par la présence de pigments photosynthétiques 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. La période hivernale s'est amorcée en novembre, 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 induit une augmentation de la transparence et une baisse de la population zooplanctonique (RASCONI et al 2022, ce rapport).

3.2. DYNAMIQUE INTERANNUELLE

Les valeurs de production primaire (figure 3) mesurées au printemps (mars-mai) en 2021 ont été les plus élevées depuis 2015, correspondant également à de très hautes valeurs de chlorophylle *a* (respectivement moyennes 2015-2019 : 3.21 $\mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$, 2021 : 5.6 $\mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$ et 2015-2019 : 4.4 $\mu\text{g L}^{-1}$, 2021 : 7 $\mu\text{g L}^{-1}$). Seules les valeurs de Chla mesurées en 2020 étaient comparables à celles mesurées en 2021 (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 2021) une baisse de la concentration en Chla a été observée, correspondant à une baisse de la production primaire. En 2021, les valeurs moyennes estivales ont été plus basses que les valeurs de printemps (production primaire 4.1 $\mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$ et Chla 4.6 $\mu\text{g L}^{-1}$), et la production primaire a également diminué par rapport aux valeurs mesurées l'année précédente (notamment en raison d'un pic de production observé en été 2020), néanmoins elles sont comparables aux valeurs des années précédentes.

En automne (septembre-novembre), les valeurs en Chla ont été stables par rapport aux valeurs mesurées en 2020 (5.2 $\mu\text{g L}^{-1}$ et 5.7 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivement en 2021 et 2020), bien que les valeurs de production primaire aient baissé (respectivement 3.6 $\mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$ et 5.9 $\mu\text{gC L}^{-1} \text{h}^{-1}$).

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 interannuelles visibles sur le long terme (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 au-dessous de la valeur correspondant à la moyenne calculée sur la période 1976-2021 (3.94 $\mu\text{g L}^{-1}$) et une tendance constante à la baisse des concentrations moyennes annuelles de chlorophylle *a* été observée depuis 2018.

Les valeurs maximales de Chla observées au cours d'une année sont, depuis 2008 plus faibles que celles observées auparavant (figures 5). Cette évolution des maxima annuels vient corroborer la tendance à la baisse de la biomasse chlorophyllienne précédemment décrite (figure 4). Par ailleurs, cette 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 semble 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.
- Bonnier, M. En préparation. Intégration de la dimension verticale pour le suivi par télédétection de la qualité de l'eau dans les grands lacs alpins. Rapport stage M2. Université Gustave Eiffel.
- 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 2021, 92 pp.
- Rimet, F. (2022): Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2021. 61 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 2021, 22 pp.

ANNEXES

ANNEXE 1

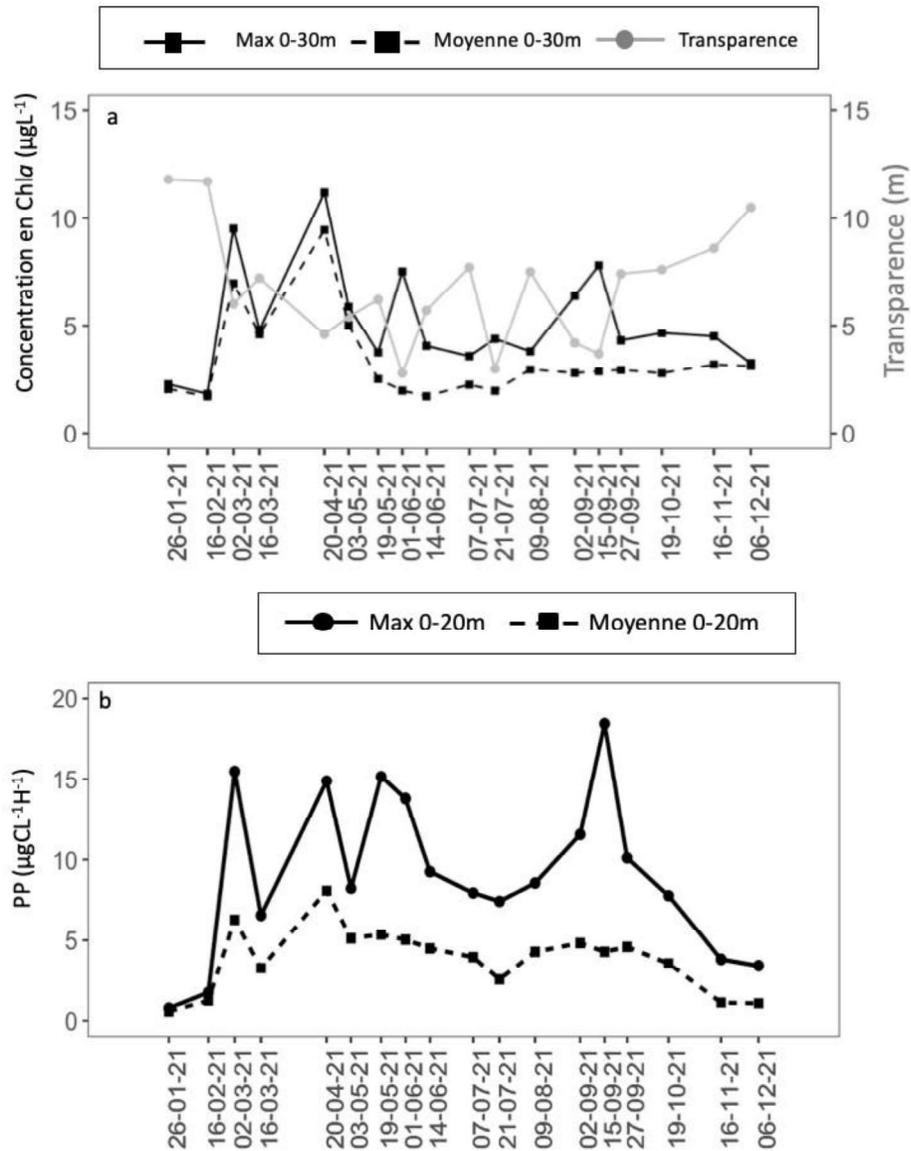


Figure 1 : Evolution annuelle a. des concentrations maximales et moyennes en chlorophylle a des eaux de surface 0-30 m, ainsi que de la transparence et b. de la production primaire maximale et moyenne des eaux de surface 0-20 m (SHL2. Les dates correspondent aux dates de campagnes).

Figure 1: Annual dynamic of a. water transparency and averaged and maximum Chl a 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).

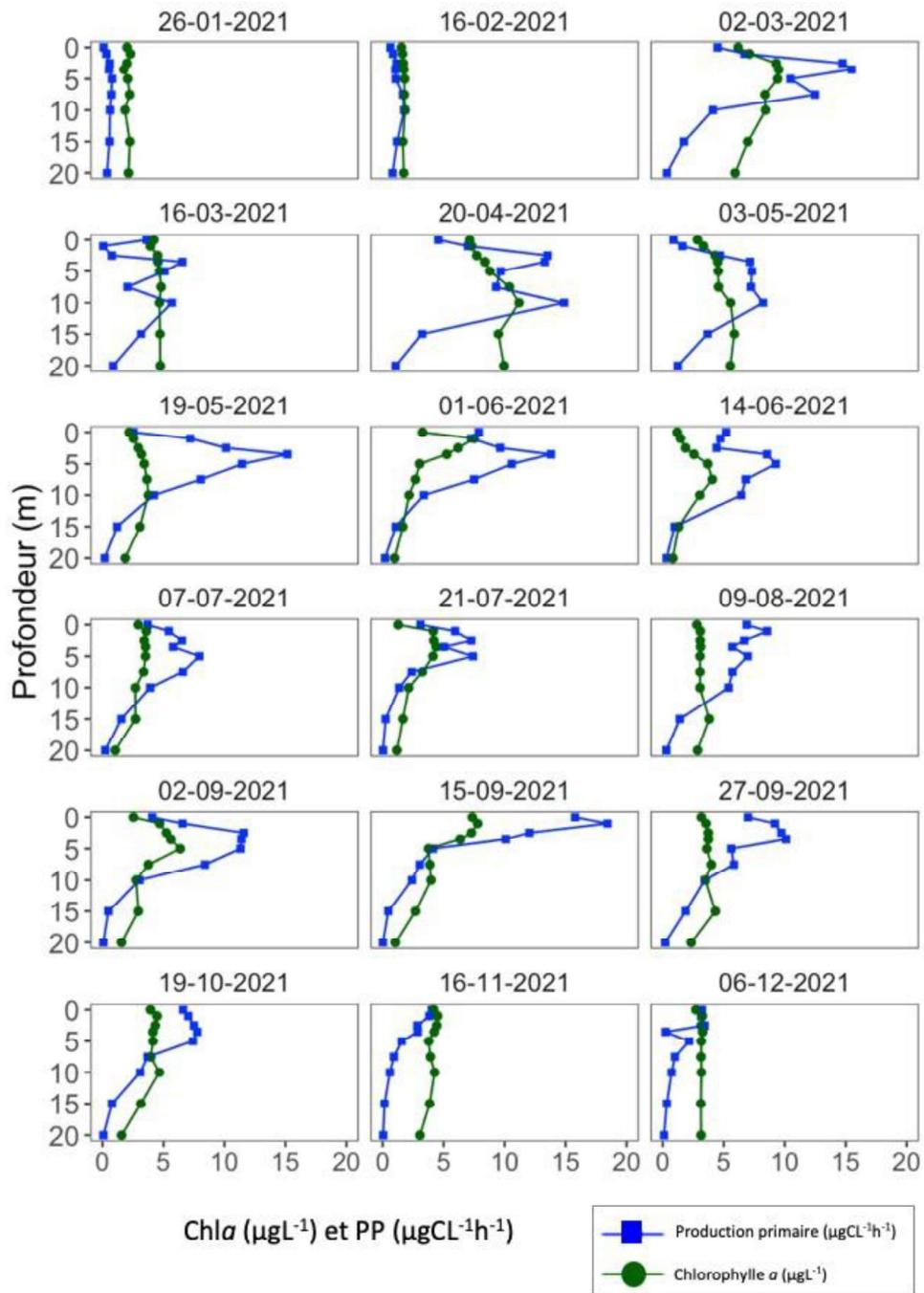


Figure 2 : Profils verticaux de production primaire (bleu) et chlorophylle a (vert) enregistrés à la station SHL2 en 2021. Les dates correspondent aux dates de campagnes.

Figure 2: Primary production (blue line) and chlorophyll a concentration (green line) measured during 2021 (Lake Geneva, SHL2). The dates correspond to the sampling dates).

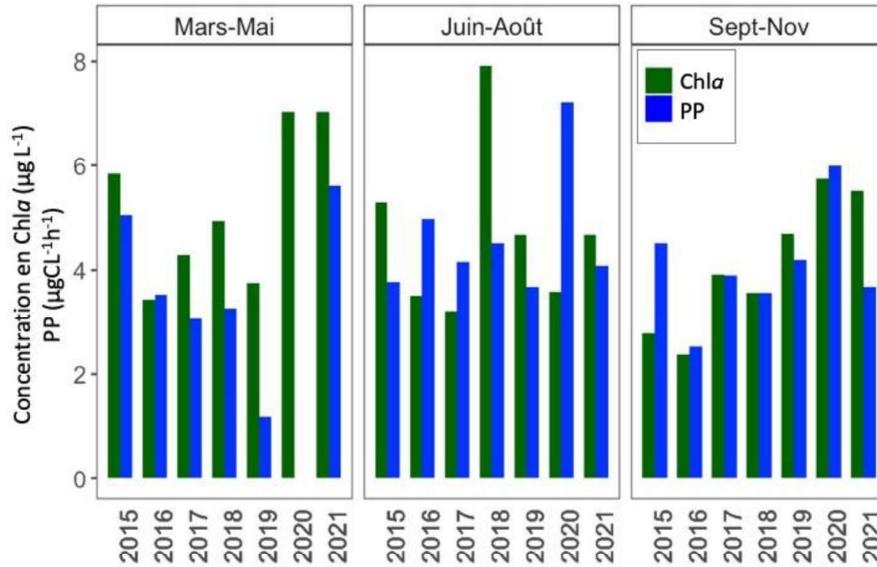


Figure 3 : Evolution interannuelle des moyennes saisonnières sur 20 m des concentrations en Chla et de production primaire (PP), mesurées à la station SHL2. Pour la période mars-mai 2020 la Chla a été mesurée qu'en mai à cause de l'interruption des échantillonnages due à la pandémie de COVID19.

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.

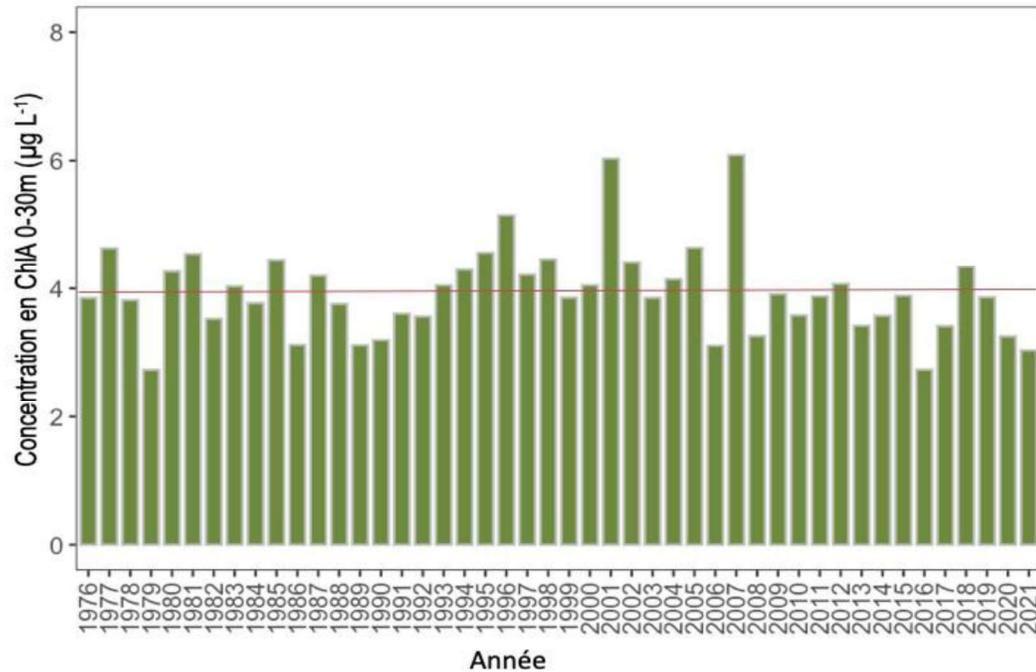


Figure 4 : Evolution entre 1976 et 2021 des moyennes annuelles, pondérées sur les 30 premiers mètres, des concentrations en chlorophylle a mesurées selon la méthode Strickland Parsons de février à novembre (Léman, SHL2). La ligne horizontale indique la valeur correspondant à la moyenne calculée sur toute la période ($3.94 \mu\text{g L}^{-1}$)

Figure 4: Long-term dynamic (1976-2021) of chl a concentrations 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 ($3.94 \mu\text{g L}^{-1}$).

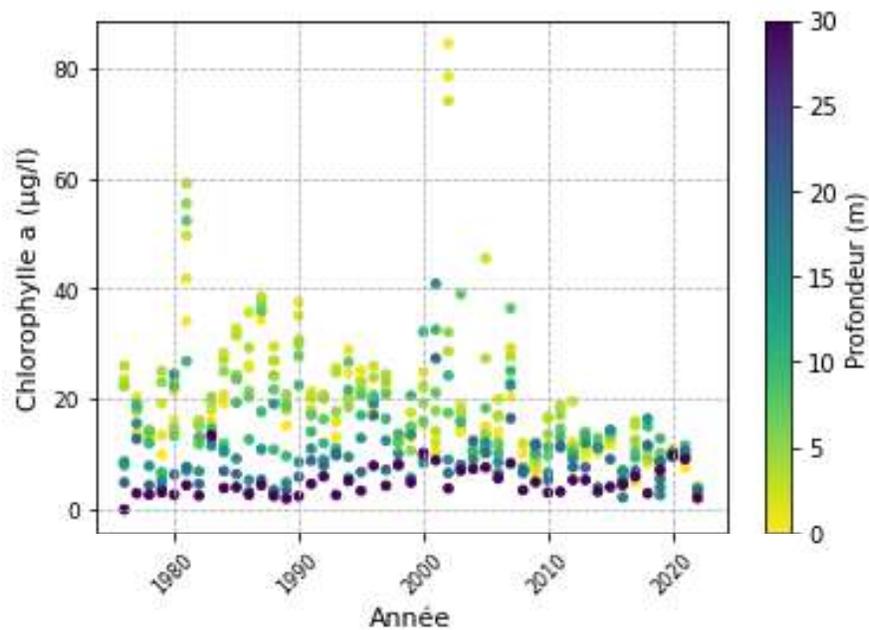


Figure 5 : Evolution à long terme des concentrations en Chla mesurées à différentes profondeurs au moment du maximum annuel (d'après Bonnier, in prep.).

Figure 5: Long-term changes in Chla concentrations during the annual maxima of Chla concentrations (from Bonnier, in prep).