

Fixation du CO₂ dans les lacs de Brienz et de Lugano

Dans les lacs, du dioxyde de carbone (CO₂) est retiré du cycle biogéochimique naturel par stockage sous forme de carbone organique dans les sédiments. Mais quelle est l'influence des teneurs en éléments nutritifs et en oxygène de l'eau sur ce piégeage du CO₂ ? Pour répondre à cette question, des chercheurs de l'Eawag sont allés scruter les eaux des lacs à la « loupe moléculaire ».

En règle générale, les lacs fonctionnent comme des puits de CO₂. A la surface de la Terre, la synthèse de biomasse végétale s'accompagne en effet d'une capture de CO₂ atmosphérique. Une partie de cette biomasse est contenue dans les lacs, soit du fait d'une formation endogène – sous forme de phytoplancton, algues, roseaux etc. – soit du fait d'apports à partir de leur environnement terrestre. Cette matière organique constitue alors la base du réseau trophique lacustre. Ce processus de formation est lui-même contrebalancé par des processus de dégradation au cours desquels une partie de la matière organique est à nouveau transformée en CO₂ par l'action de microorganismes lors de sa descente dans la colonne d'eau. La partie non dégradée peut quant à elle être emmagasinée dans les sédiments lacustres.

Du fait de cette capacité à fixer le CO₂, les lacs contribuent à limiter l'effet de serre [1–3]. Les estimations de l'efficacité des lacs en tant que puits de carbone constituent par conséquent un élément central de la modélisation des effets du changement climatique. Nous avons donc cherché à savoir quels paramètres caractéristiques des lacs influençaient la fixation du CO₂. Nous nous sommes en particulier intéressés à la teneur de l'eau en éléments nutritifs et donc à la bioproduktivité qui en découle (importance de la formation de biomasse), ainsi qu'à son degré d'oxygénation. Dans notre projet de recherche, nous avons comparé deux lacs de niveaux trophiques différents.

Des biomarqueurs lipidiques pour visualiser les processus de formation et de dégradation de la matière organique. L'efficacité de stockage de la matière organique dans les sédiments est décrite par le rapport de la teneur en carbone organique disponible dans l'eau sur la quantité de carbone effectivement emmagasiné. Elle dépend donc d'une part de la quantité de biomasse présente : plus la teneur en éléments nutritifs – notamment en phosphates et en nitrates [4] – est élevée, plus la production de biomasse dans le lac est importante. D'un autre côté, l'efficacité de stockage dépend aussi de l'intensité des processus de dégradation microbienne dans la colonne d'eau : si le degré d'oxygénation de l'eau est suffisant jusque dans les couches les plus profondes, le carbone organique peut être presque entièrement minéralisé en CO₂ et seule une infime partie se trouve emmagasinée dans les



Achim Bechtel, minéralogiste, a travaillé au sein du département « Eaux superficielles » de l'Eawag en tant que collaborateur scientifique dans le cadre d'une bourse de la Commission européenne.
Coauteur : Carsten Schubert

sédiments. Pour notre étude, nous avons donc sélectionné deux lacs très différents de ces points de vue : le lac de Brienz dans l'Oberland bernois est oligotrophe et se caractérise par de faibles teneurs en biomasse et en nutriments (< 5 µg/l de phosphates) et par une bonne saturation en oxygène ; à l'inverse, le lac de Lugano, dans le Tessin, présente des teneurs en éléments nutritifs et en biomasse nettement plus élevées (50–60 µg/l de phosphates) et des conditions anoxiques en profondeur (Fig. 1A).

Notre objectif était de déterminer la composition en lipides de la matière organique particulaire à différentes profondeurs (10, 40, 70, 100, 150 et 200 m de profondeur). L'étude des biomarqueurs lipidiques [5–7] permet d'identifier l'origine de la matière organique et donc d'évaluer la contribution de divers groupes d'organismes à la constitution de la biomasse. Pour notre propos, il importait cependant que ces biomarqueurs permettent de suivre la progression des processus de dégradation. Les échantillons de matières en suspension prélevés au printemps (en juin) et à l'automne 2007 (octobre ou novembre selon les cas) ont ainsi été

Carsten Schubert, chercheur à l'Eawag, prépare le spectromètre de masse pour les mesures et le recharge en azote liquide.



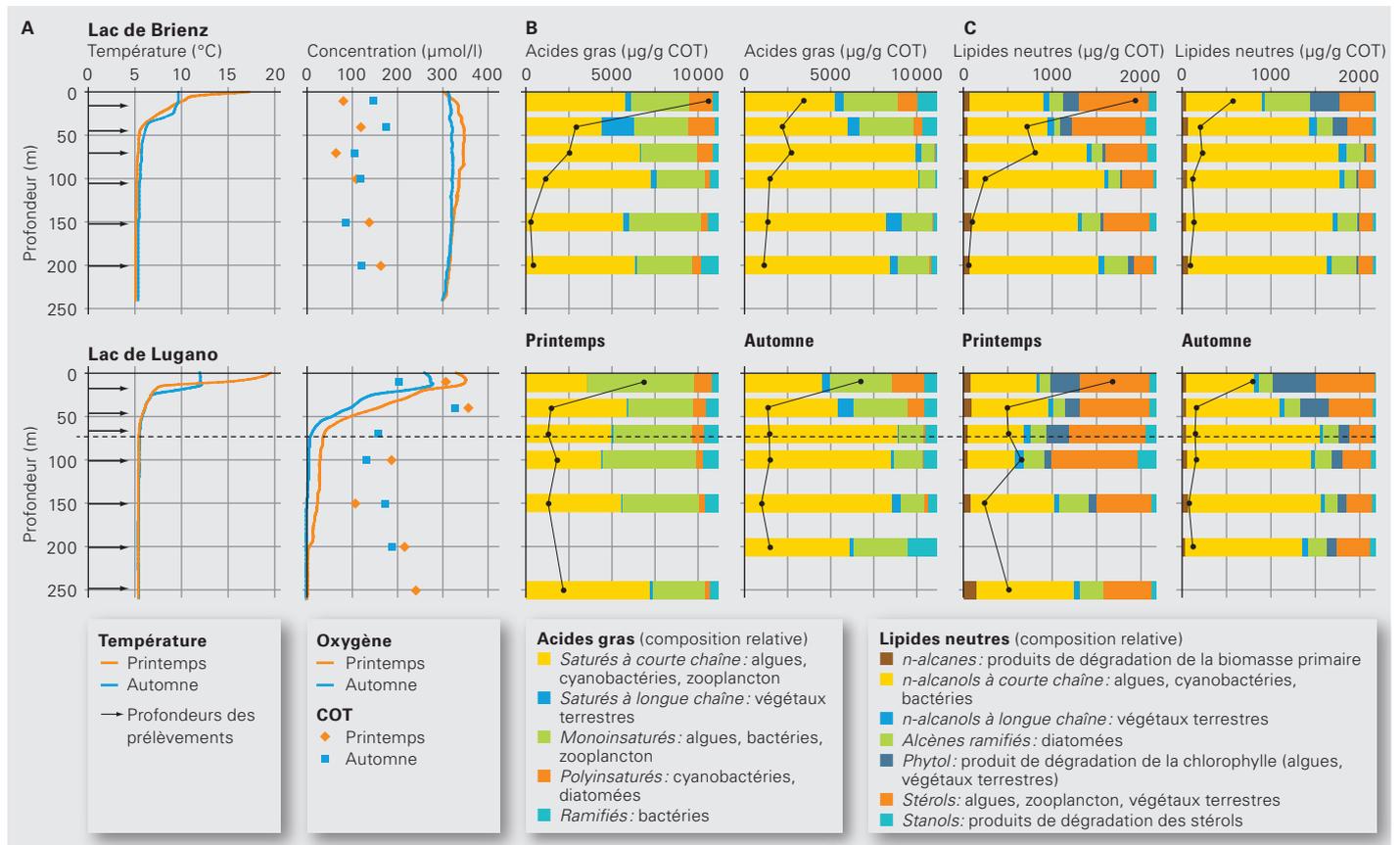


Fig. 1 : Paramètres étudiés en printemps et automne aux différentes profondeurs des lacs de Brienz et de Lugano.

A) Bioproduktivité (exprimée par la quantité totale en carbone organique [COT]) et saturation en oxygène. B) Teneur totale en acides gras (courbes) et composition relative des fractions d'acides gras (barres). C) Teneur totale en lipides neutres (courbes) et composition relative des fractions de lipides neutres (barres). La ligne en pointillés indique la position de la limite de la présence d'oxygène dans l'eau du lac de Lugano.

séparés en deux fractions constituées respectivement des acides gras et des « lipides neutres » dont la composition moléculaire a ensuite été déterminée.

Analyse détaillée des acides gras. Dans un premier temps, nous avons analysé la composition et les concentrations en acides gras des deux lacs. Nos résultats livrent les conclusions suivantes :

- Les deux lacs présentent des concentrations similaires en acides gras si on les rapporte à la quantité totale de carbone organique dans l'eau (Fig. 1B, courbes). Par contre, les concentrations absolues en acides gras exprimées en µg par litre d'eau filtrée sont environ 4 fois supérieures dans le lac de Lugano. Ceci reflète nettement la différence de bioproduktivité des deux lacs due à leurs différents niveaux trophiques.
- Les concentrations en acides gras diminuent dans les couches profondes (Fig. 1B, courbes). Parallèlement, les acides gras insaturés gagnent du terrain sur les saturés (Fig. 1B, barres). La biomasse disponible dans le lac est donc de plus en plus dégradée à mesure que la profondeur augmente. Toutefois, les teneurs en acides gras ont tendance à remonter dans les couches profondes du lac de Lugano où la dégradation semble donc se ralentir.

- La fraction d'acides gras des deux lacs est majoritairement composée d'acides gras saturés à chaîne courte et de substances monoinsaturées, ce qui suggère une forte représentation du phytoplancton dans la biomasse. Ainsi, les acides gras monoinsaturés à 16 atomes de carbone sont des marqueurs de diatomées. Nous avons constaté une forte présence de ces substances dans la zone euphotique du lac de Brienz au printemps et à l'automne. La zone euphotique est la couche supérieure du lac traversée par la lumière dans laquelle la photosynthèse est encore possible. Seule une faible partie de la matière organique provient de végétaux terrestres, reconnaissables à leurs acides gras à chaîne longue entrant dans la composition des cires (Fig. 1B, barres).
- Les acides gras ramifiés sont des biomarqueurs de biomasse d'origine bactérienne. Nous avons observé une augmentation relative de ces substances dans le lac de Lugano à la limite entre les eaux riches en oxygène et la zone anoxique à environ 70 m de profondeur (printemps) et en eau profonde (automne). Les teneurs relativement élevées en acides gras ramifiés dans les eaux profondes anoxiques du lac de Lugano indiquent la présence de bactéries actives en l'absence d'oxygène.
- Les acides gras polyinsaturés révèlent la présence de cyanobactéries (= algues bleues, bactéries à activité photosynthétique)

et de diatomées. Ceux présentant 18 atomes de carbone proviennent de cyanobactéries. Ces substances ont été notamment observées au printemps dans la zone euphotique du lac de Lugano. Par contre, les acides gras polyinsaturés observés dans le lac de Brienz et à l'automne dans la zone euphotique du lac de Lugano provenaient principalement de diatomées.

► La forte augmentation des teneurs en acides gras saturés à courte chaîne et à 18 atomes de carbone dans les deux lacs suggère une augmentation de la représentation du zooplancton dans la biomasse des zones profondes de la colonne d'eau au moment des prélèvements d'automne (Fig. 1B, barres).

Analyse détaillée des lipides neutres. L'étude des fractions de lipides neutres – alcools, alcanes, alcènes, etc. – livre également des informations très intéressantes. Voici nos principales observations :

► Comme c'était le cas des acides gras, les teneurs en lipides neutres augmentent avec la profondeur (Fig. 1C, courbes) et sont le reflet des processus de dégradation de la biomasse dans la colonne d'eau.

► La prépondérance des composés à courte chaîne par rapport aux lipides à longue chaîne dans les *n*-alcanols (hydrocarbures saturés à un ou plusieurs groupements hydroxyle) confirme le résultat livré par les acides gras selon lequel la biomasse disponible dans le lac est principalement d'origine phytoplanctonique, les végétaux terrestres n'y contribuant que très peu (Fig. 1C, barres).

► Nous avons détecté des alcanols d'origine microbienne (*n*-alcanols ramifiés à 15 et à 17 atomes de carbone) dans la totalité des échantillons.

► Entrant dans la composition de la chlorophylle, le phytol est un marqueur caractéristique des organismes photosynthétiques. Il n'est donc guère surprenant de voir sa présence concentrée sur les couches supérieures des deux lacs.

► Les stérols sont des composants des membranes cellulaires végétales dont la structure diffère selon les groupes d'organismes. Ainsi, les sitostérols sont considérés comme des marqueurs de végétaux terrestres tandis qu'un certain stérol à 28 atomes de carbone est caractéristique des diatomées. Ces deux stérols ont été observés aussi bien dans le lac de Brienz que dans celui de Lugano dans les échantillons prélevés au printemps. Les échantillons automnaux sont quant à eux beaucoup moins riches en stérols végétaux. Leur fraction lipidique est par contre dominée par le cholestérol, ce qui indique une forte contribution du zooplancton à la formation de biomasse, notamment dans les eaux les plus profondes.

► Le rapport stanols sur stérols augmente avec la profondeur, ce qui semble correspondre à une progression de la dégradation de la matière organique le long de la colonne d'eau.

► Nous avons d'autre part observé une assez forte représentation d'alcènes ramifiés, également considérés comme indicateurs de diatomées.

Conclusions sur la dynamique de la matière organique et sur la fixation du CO₂. Quelles conclusions pouvons-nous tirer de nos résultats ? Comme nous nous y attendions, la production de

matière organique est moindre dans le lac assez pauvre de Brienz que dans le lac eutrophe de Lugano. En même temps, cette matière organique est mieux dégradée dans le lac de Brienz, la quantité de carbone organique emmagasinée dans les sédiments du lac de Lugano étant donc globalement plus importante. A première vue, le lac de Lugano est donc le meilleur puits de CO₂. Mais la médaille a son revers : l'écosystème du lac de Lugano est en fort déséquilibre depuis les années 1970. Jusqu'à la fin des années 80, ses teneurs en nutriments n'ont cessé d'augmenter sous l'effet des activités anthropiques. Les efforts fournis depuis pour la protection de l'environnement commencent à produire quelques effets mais le lac présente encore une production de biomasse anormalement forte et des modifications de la composition du phytoplancton et du zooplancton doivent être constatées. Notre analyse des lipides prouve notamment que le phytoplancton du lac de Lugano est majoritairement composé de cyanobactéries, qui peuvent fortement altérer la qualité de l'eau, et d'algues vertes tandis que les diatomées dominent dans le lac oligotrophe de Brienz. En relation avec sa forte teneur en nutriments, le lac de Lugano ne présente que dans ses couches supérieures des conditions d'oxygénation similaires à celles du lac de Brienz (Fig. 1A). En dessous de 70 m de profondeur, ses eaux sont quasiment dépourvues d'oxygène. C'est d'un côté ce qui explique la moindre dégradation de la matière organique en son sein. D'un autre côté, une certaine forme de transformation microbienne de la matière organique reste possible dans ces conditions anoxiques. Le gaz produit n'est alors plus du CO₂ mais du méthane, un gaz à effet de serre ~20 fois plus puissant. Ceci vient quelque peu ternir l'image du lac de Lugano en tant que puits majeur de carbone. Dans l'ensemble, notre étude montre que la transformation du carbone et donc la fixation du CO₂ dans les lacs est fortement dépendante de la teneur de l'eau en éléments nutritifs et en oxygène. ○ ○ ○

- [1] Dean W.E., Gorham E. (1998): Magnitude and significance of carbon burial in lakes, reservoirs, and peatlands. *Geology* 26, 535–538.
- [2] Müller B., Märki M., Schmid M., Vologina E.G., Wehrli B., Wüest A., Sturm M. (2005): Internal carbon and nutrient cycling in Lake Baikal: sedimentation, upwelling, and early diagenesis. *Global and Planetary Change* 46, 101–124.
- [3] Sobek S. (2009): Séquestration du CO₂ dans les sédiments lacustres. *Eawag News* 66, 10–12.
- [4] Müller B., Finger D., Sturm M., Prasuhn V., Haltmeier T., Bossard P., Hoyle C., Wüest, A. (2007): Present and past bio-available phosphorus budget in the ultra-oligotrophic Lake Brienz. *Aquatic Sciences* 69, 227–239.
- [5] Bechtel A., Schubert C.J. (2009): Biogeochemistry of particulate organic matter from lakes of different trophic levels in Switzerland. *Organic Geochemistry* 40, 441–454.
- [6] Pearson E.J., Farrimond P., Juggins S. (2007): Lipid geochemistry of lake sediments from semi-arid Spain: Relationships with source inputs and environmental factors. *Organic Geochemistry* 38, 1169–1195.
- [7] Wakeham S.G., Amann R., Freeman K.H., Hopmans E.C., Jørgensen B.B., Putnam I.F., Schouten S., Sinninghe Damsté J.S., Talbot H.M., Woebken D. (2007): Microbial ecology of the stratified water column of the Black Sea as revealed by a comprehensive biomarker study. *Organic Geochemistry* 38, 2070–2097.