



# Un lac de montagne pas comme les autres

A Piora, à une dizaine de kilomètres à l'est d'Airolo, se cache un petit lac de montagne où une épaisse couche de bactéries sépare les eaux limpides de la surface de celles, nauséabondes, des profondeurs. Ce phénomène, qui aiguise la curiosité des scientifiques depuis le début du siècle, n'est pas encore totalement expliqué. Des recherches menées au Centre de recherches alpines de Piora, géré en partie par l'Université de Genève, commencent à percer le secret du fonctionnement de ce lac.

Le lac de Cadagno, avec au premier plan le hameau de Piora et, derrière à droite, le Centre de recherches alpines.

PHOTO : R. PEDUZZI



**C'**EST en 1906 déjà que le caractère exceptionnel du lac de Cadagno, l'un des nombreux plans d'eau du Val

Piora (Tessin), a été reconnu pour la première fois. Cette année-là, le biologiste Felix-Ernest Bourcart présentait à l'Université de Genève un travail de thèse où il observait que le sédiment du lac de Cadagno était «*formé d'une vase fine, brune, sentant l'hydrogène sulfuré*». Il notait aussi que la particularité de ce lac était «*de présenter au fond une eau bien différente de celle des couches supérieures*».

«*L'eau des profondeurs est chargée de sels minéraux et de dérivés du soufre qui arrivent dans le lac par des sources souterraines, alors que l'eau de surface est cristalline*», confirme Raffaele Peduzzi, professeur au Laboratoire d'écologie microbienne à l'Université de

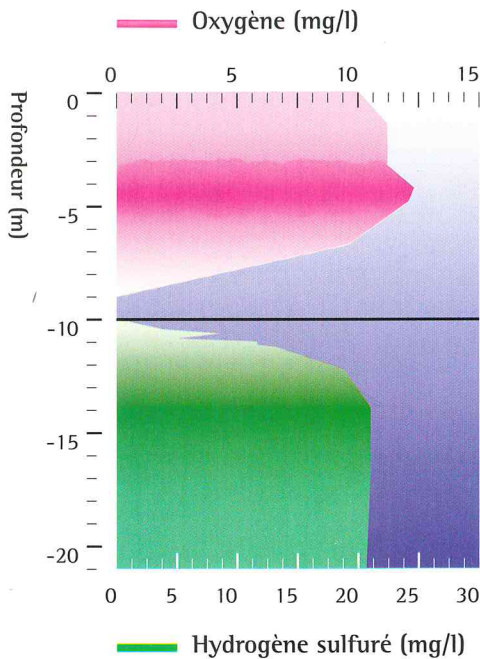
Genève et directeur du Centre de recherches alpines de Piora. «*A la limite entre ces deux eaux, qui ne se mélangent jamais, on trouve une couche de bactéries d'un mètre d'épaisseur environ qui joue manifestement un rôle de filtre naturel.*»

## Des bactéries rouges

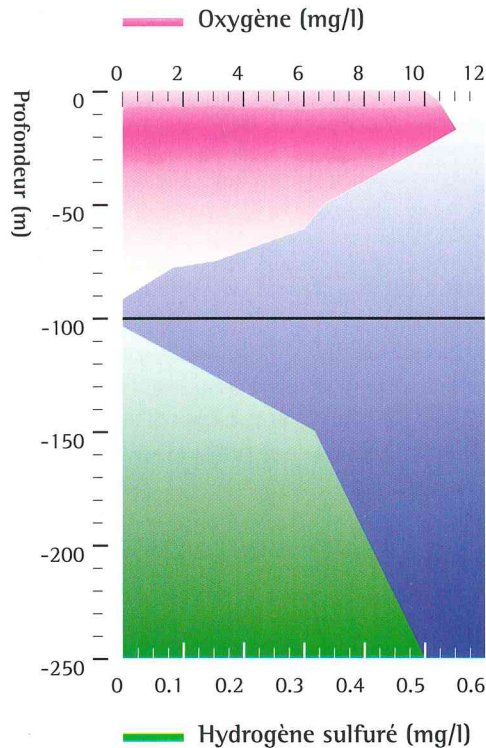
Aujourd'hui, des études réalisées à Piora permettent de mieux cerner l'identité et le rôle de cette couche de bactéries. Grâce à l'utilisation de techniques modernes de biologie moléculaire (hybridation *in situ*), l'équipe du Prof. Peduzzi et de Mauro Tonolla a confirmé que l'espèce la plus représentée est une grande bactérie rouge appelée *Chromatium okeni*. «*Ces bactéries sont connues pour leur capacité à consommer un gaz toxique, l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S)*», explique le Prof. Peduzzi. «*Toutefois, à des concentrations moyennes ou élevées de*

**Comparaison des taux d'oxygène et d'hydrogène de soufre ( $H_2S$ ), selon la profondeur, dans les lacs de Cadagno et de Lugano.**

**Lac de Cadagno**  
juin 1993



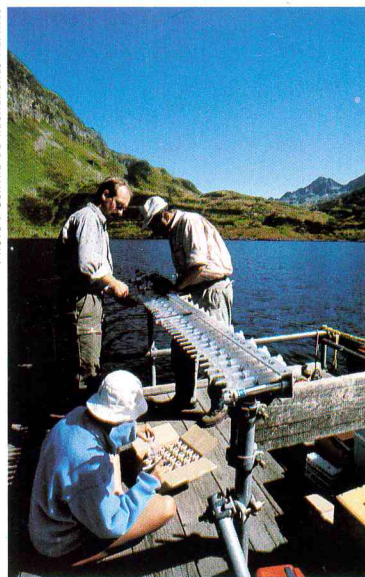
**Lac de Lugano**  
mai 1993



ce gaz, même *Chromatium* ne peut pas survivre. Il est donc logique de trouver ces bactéries à la frontière entre le fond du lac, où la concentration en  $H_2S$  est trop élevée, et les eaux de surface, où il n'y en a pas».

De plus, les chercheurs ont mis en évidence quatre autres sortes de bactéries, également rouges mais de plus petite taille. Au contraire des *Chromatium* qui forment un tapis assez homogène à une profondeur de 12,5 m environ (la profondeur maximale du lac étant de 21 m), ces petites bactéries se trouvent dans certaines régions seulement. «Leur identité et leur rôle restent à être déterminés, mais elles sont probablement plus sensibles aux concentrations locales en oxygène et en soufre», explique le Prof. Peduzzi. «Cette découverte souligne le fonctionnement complexe de ce lac, qui repose sur des interactions entre plusieurs espèces de bactéries et dont la biodiversité est exceptionnelle», conclut-il.

PHOTO : CENTRE DE RECHERCHES ALPINES



L'équipe du Prof. Peduzzi au travail, sur une plateforme située au centre du lac de Cadagno.

**Le lac qui induit les collaborations**

Depuis bientôt vingt ans, les Universités de Genève et de Zurich, et notamment leurs Instituts de biologie végétale, de botanique systématique et d'écologie microbienne, organisent à Piora des stages pour les étudiants. En collaboration avec l'Institut cantonal de bactériologie de Lugano, elles y ont développé un centre pour la recherche alpine, à 2000 mètres d'altitude, dans le but d'analyser les particularités géologiques et biologiques du lac de Cadagno et de la région environnante.

Depuis 1994, à côté de la maison d'alpage utilisée depuis les années 1980, deux bâtiments ont été aménagés de façon moderne. Elles contiennent un laboratoire, une salle d'enseignement, des archives didactiques, une bibliothèque, un réfectoire et un dortoir.

Une fondation, à laquelle participent les deux universités, est chargée de gérer ces installations. Pour l'enseignement et la recherche, le centre de Piora est fréquenté par des étudiants provenant de hautes écoles de Suisse, de France, d'Italie et d'Allemagne. Les infrastructures sont également ouvertes aux écoles secondaires.

Etant considéré comme une structure de l'Université de Genève, le centre de Piora est habilité à accueillir les soutenance de thèses de doctorat. Le premier étudiant à avoir fait usage de ce droit est le biochimiste Carlo Crivelli. Il y a défendu sa thèse, réalisée en collaboration avec l'Université de Genève et l'Institut cantonal de microbiologie de Lugano, le 21 juin 1999.

(DC, d'après R. Peduzzi)

► **Un modèle pour d'autres lacs**

Bien que le lac de Cadagno soit hors du commun – on ne compte que 3 autres lacs de ce type au monde, en Sicile, au Japon et en Sibérie – le fait que ses eaux ne se mélangent pas le rapproche de certains grands lacs de l'arc alpin. « Dans le lac de Lugano, par exemple, il n'y a pas de brassage non plus. Mais c'est en raison de l'excès de masse végétale, dont la décomposition déplete les réserves d'oxygène », explique le Prof. Peduzzi. « Toutefois, l'oxygène, qui disparaît à 90 m de profondeur dans ce grand lac, se fait rare dès 10 m de fond à Cadagno, ce qui facilite les études ».

Mais la comparaison s'arrête là. En surface, le petit lac de montagne est totalement limpide et regorge de poissons. On ne peut pas en dire autant de certains autres lacs, qui auraient

sans doute besoin d'un filtre bactérien... Mais c'est de la musique d'avenir. « Pour l'instant, nous avons encore fort à faire pour comprendre le processus qui est à l'œuvre dans le lac de Cadagno » tempère en effet le Prof. Peduzzi. « Ensuite, nous verrons si ce modèle peut nous aider à résoudre les problèmes des grands lacs suisses. »

**D.C.**

Références :

M. Tonolla et al. In situ analysis of phototrophic sulfur bacteria in the chemocline of meromictic Lake Cadagno (Switzerland). *Applied and Environmental Microbiology* 65, pp. 1325-1330 (1999).

R. Peduzzi, R. Bachofen, M. Tonella (dir). Lake Cadagno : a meromictic alpine lake. *Documenta dell'Istituto italiano d'idrobiologia*, 63 (1998).

R. Peduzzi. « Etude d'un filtre bactérien retenant les composés toxiques et trophogènes dans un lac alpin (lac de Cadagno, massif du St. Gothard). *Cahiers de la Faculté des sciences*, 20, pp. 121-133. Université de Genève (1990).

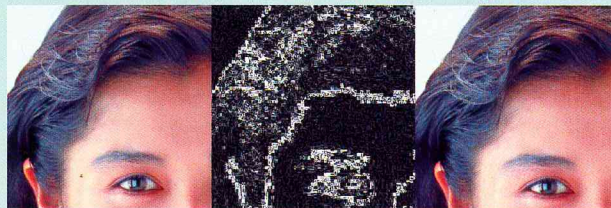


PHOTO : CENTRE DE RECHERCHES ALPINES  
L'équipe du Certificat de microbiologie, l'un des quatre stages d'une semaine organisé chaque année à Piora par l'Université de Genève. On remarque notamment Mauro Tonolla (derrière à gauche) et le Prof. Peduzzi (derrière à droite).

**BRÈVES DE RECHERCHE**

**INFORMATIQUE**

**Sur Internet, des signatures invisibles protégeront les images**



TÉLÉCHARGER une image puis l'utiliser pour son propre compte : rien de plus simple ! Afin que personne ne puisse démontrer la véritable provenance de l'image, on pensera à modifier couleurs et contrastes, voire à retoucher quelques détails. Les plus futés iront même jusqu'à imprimer l'image, pour ensuite la saisir au scanner. En matière de propriété intellectuelle, c'est un délit qui ne laisse pas de traces.

Mais les internautes faussaires ont du souci à se faire. En effet, l'équipe du Prof. Thierry Pun, du Centre universitaire d'informatique (CUI), a mis au point une signature invisible que l'on peut insérer dans les images et qui résiste à toute une série de manipulations. Cette signa-

ture – appelée filigrane ou « tatouage d'image » (*watermark* en anglais) – consiste en la modification de quelques centaines, voire quelques milliers de points (pixels), parmi les centaines de milliers qui composent une illustration sur Internet.

Toutefois, afin de préserver la qualité de l'image, le programme choisit les pixels à modifier uniquement dans les régions les plus contrastées. Ainsi, dans le portrait ci-dessus, les modifications se concentrent dans la frange et le pourtour de l'œil (de gauche à droite : l'image de départ, la signature et l'image « signée »).

« Dans notre idée, chaque propriétaire d'images recevra ce pro-

gramme informatique et un code secret », explique le Prof. Pun. « Puis il s'adressera à un organisme international chargé de la défense des droits d'auteur, qui, pour chaque image, lui enverra une série de chiffres unique, comme un numéro AVS. Avec cette série de chiffres et le code secret, le programme choisira les pixels à modifier parmi tous ceux qui offrent un contraste suffisant. »

Ce nouveau système est déjà à l'essai auprès d'un client potentiel, qui se dit satisfait. C'est pourquoi, avec l'aide du bureau de transfert de technologies de l'Université, l'équipe du CUI est en train de préparer un nouveau contrat de collaboration avec ses partenaires : le Laboratoire de traitement des signaux de l'EPFL

et Digital Copyright Technologies, une entreprise récemment fondée à Zurich. L'ensemble du système a d'ailleurs été présenté au public lors de Telecom 99.

Pour les chercheurs du CUI, la prochaine étape est de contribuer à « JPEG 2000 », une nouvelle norme internationale pour le traitement des images. « Cette norme prévoit de réserver 8 bits pour indiquer si l'image est protégée, et par quelle méthode », explique le Prof. Pun. « Or, nos partenaires ont proposé une technique qui rendrait ces 8 bits au moins aussi difficiles à enlever que la signature elle-même. »

**D.C.**

Références :

S. Voloshynovskiy et al. *A stochastic approach to content adaptive digital image watermarking*. International workshop on information hiding, Dresden, 29 Sept – 1 Oct 1999.

J. J. K. O. Ruanaidh et T. Pun. *Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking*. *Signal Processing*, 66, pp. 303-317 (1998).