

avril 1990

N° 20

CAHIERS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES



UNIVERSITÉ DE GENÈVE

ETUDE D'UN FILTRE BACTERIEN RETENANT LES COMPOSES TOXIQUES ET TROPHOGENES DANS UN LAC ALPIN (LAC DE CADAGNO, MASSIF DU ST. GOTTHARD)

1. Introduction

«Il serait fort intéressant de faire des études approfondies sur ce lac si curieux».

Cette phrase écrite en 1906, concerne le lac de Cadagno et est tirée de la thèse que Felix-Ernest Bourcart a présentée la même année à l'Université de Genève. Le travail de thèse «Les lacs alpins suisses, étude chimique et physique» avait été conduit, sur le terrain et dans le Laboratoire de chimie analytique de notre Université, pendant les années 1903 et 1904 sous la direction du Prof. Louis Duparc. Bourcart concluait par cette phrase de souhait la partie concernant le lac de Cadagno, après avoir observé que «Le sol sous-lacustre est formé d'une vase fine, brune, *sentant l'hydrogène sulfuré...* La particularité de ce lac est de présenter au fond une eau bien différente de celle des couches supérieures».

En effet, le lac constitue un rare exemple de méromicticité crénogénique (étymologiquement qui ne se mélange jamais pour des causes naturelles). Il s'agit d'un lac avec une profondeur maximale de 21 m qui présente une stratification permanente et naturelle des eaux. Il est formé en deux nappes ou «parties de lac superposées» avec une zone de transition entre les deux, située à 11-14 m de profondeur. Le corps d'eau circule partiellement et de façon limitée à la couche superficielle, par contre la couche profonde n'entre plus en contact avec les eaux de surface. Notre Département est revenu sur le lac; depuis 1983 nous organisons chaque année un stage d'écologie microbienne et alpine en même temps que nous poursuivons une recherche sur le fonctionnement microbien de ce rare phénomène de méromicticité.

En quoi réside l'actualité d'une telle étude, pourquoi cette reprise d'intérêt pour le métabolisme du lac de Cadagno 80 ans après l'intuition de Bourcart. Pour deux raisons essentielles:

- l'Ecosystème offre la possibilité d'étudier sur un modèle stable les métabolismes liés à l'**eutrophisation**, car il est reconnu que l'un des stades avancés du phénomène de l'eutrophisation, est la méromicticité biogénique. En effet, quand les lacs n'arrivent plus à digérer leur production,

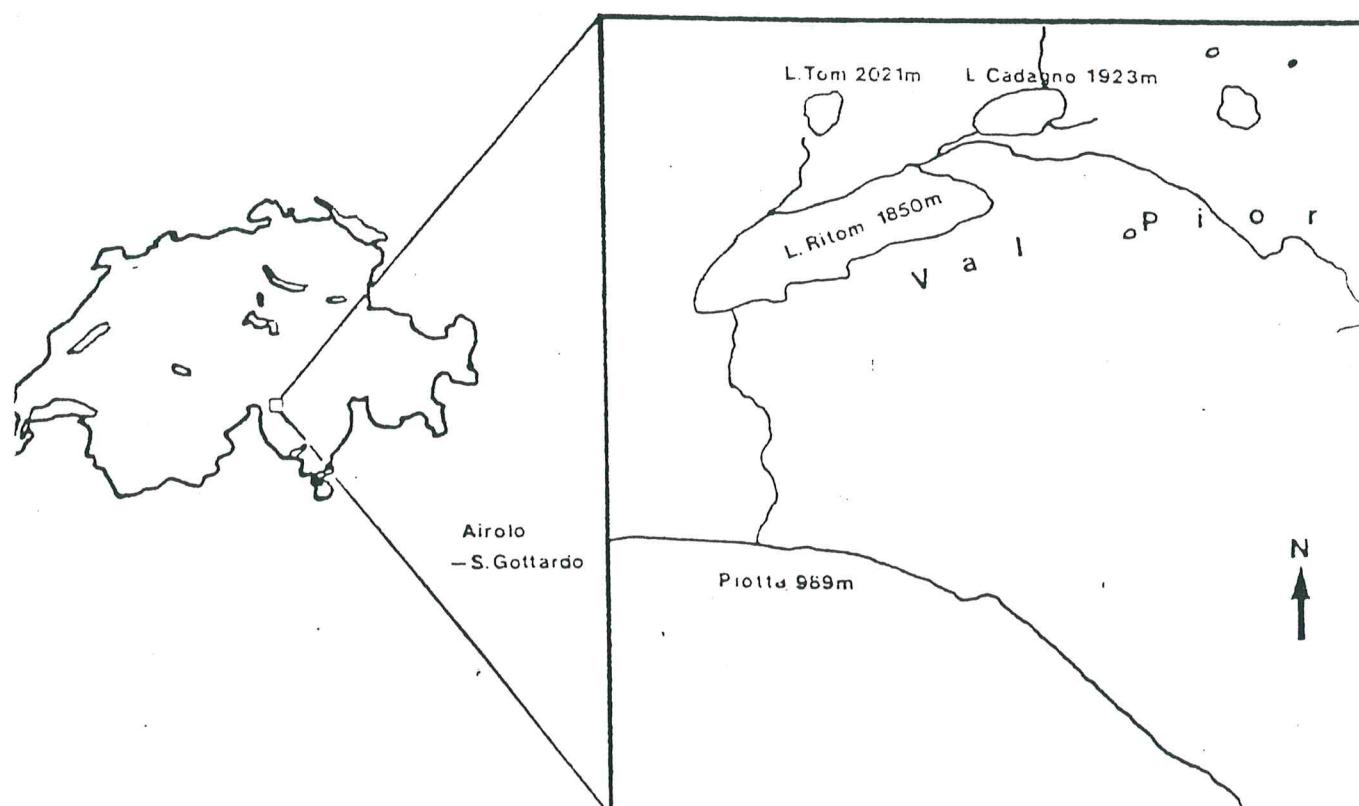
quand ils laissent accumuler en profondeur les produits de leur **métabolisme**, nous sommes en présence d'une stratification permanente. A stade, la zone profonde est complètement séparée de la couche trophogène et devient impropre à la vie qui demande de l'oxygène, en particulier la vie animale, comme c'est le cas du lac de Cadagno, mais pour des causes naturelles;

- en outre, si dans la zone de transition entre les deux couches il n'y a pas un filtre bactérien, l'hydrogène sulfuré (H_2S) et d'autres composés nocifs pourraient probablement envahir les eaux superficielles. Ainsi l'étude du fonctionnement de ce filtre biologique, constitué par la bactérie de l'espèce *Chromatium okenii*, qui métabolise un composé toxique comme l'hydrogène sulfuré, est extrêmement intéressant et fait l'objet de cette note.

2. Définition du corps d'eau

Emplacement géographique

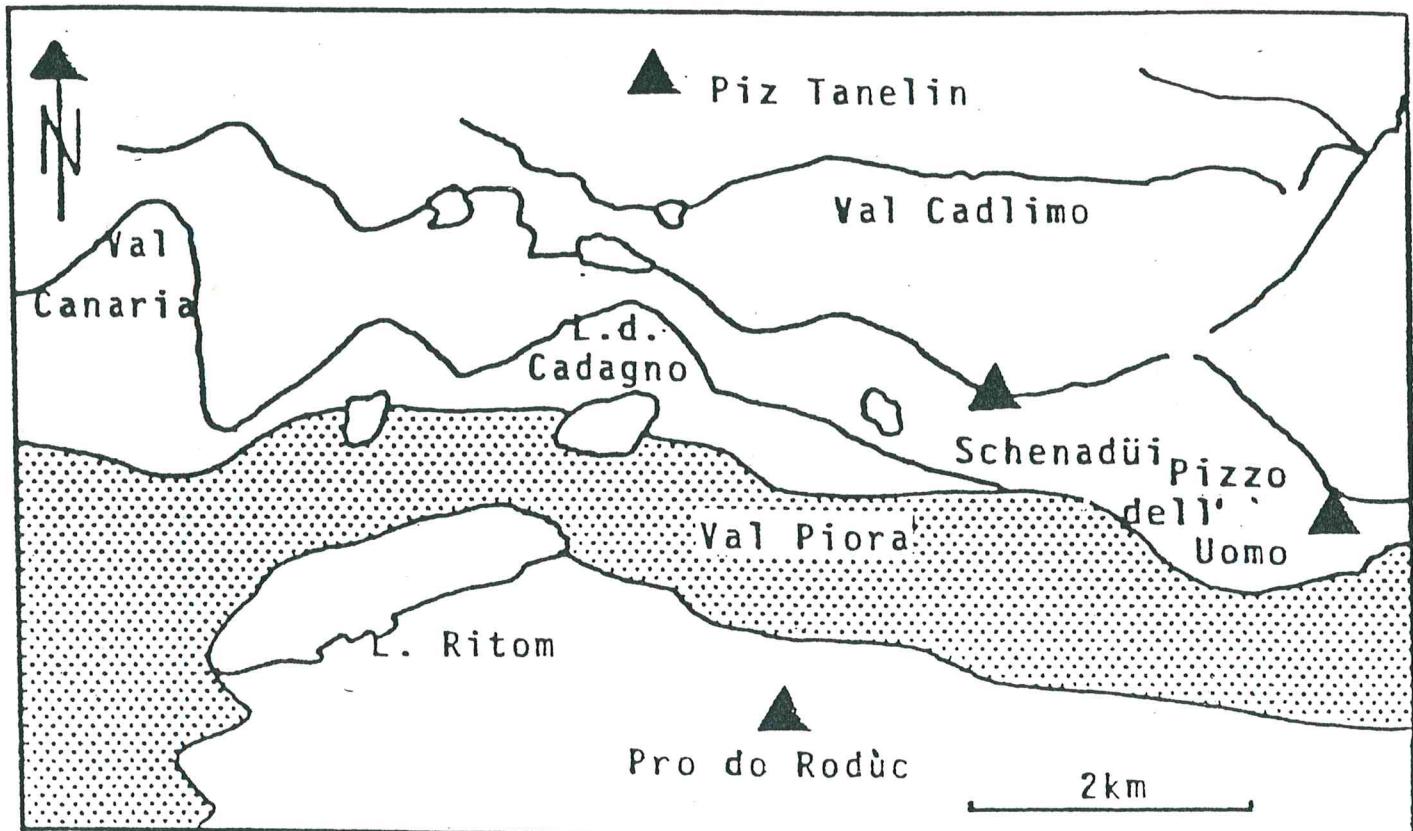
Le lac de Cadagno est un lac alpin situé dans le Massif du St. Gotthard à une altitude de 1923 m.s.m. (Fig. 1).



Géologie

Sur le plan géologique le val Piora a la particularité de posséder une lentille de calcaire prise entre deux mâchoires de roche cristalline.

Sur cette lentille composée de **dolomie** et de **gypse** se trouve le lac de Cadagno (Fig. 2).



LENTILLE DE DOLOMIE

Fig. 2

Val Piora avec la lentille de dolomie.

La méromicticité crénogénique

La stratification saline des eaux du lac est d'origine géologique.

En surface, le lac reçoit des eaux cristallines, pauvres en sels minéraux, provenant du massif cristallin et par des sources sous-lacustres des eaux riches en soufre, calcium et magnésium.

Géo-morphologie

Pendant l'hiver, le niveau du lac est abaissé de 3 m afin d'alimenter le barrage du Ritom.

Les *données géo-morphologiques* pendant les deux saisons sont résumées dans le tableau ci-dessous.

	ETE	HIVER
Altitude (m.s.m.)	1923	1920
Longueur (m)	842	760
Largeur (m)	423	380
Profondeur maximale (m)	21	18
Profondeur moyenne (m)	9.27	8.10
Périmètre total (m)	2109.70	1924.08
Surface (ha)	26.10	21.58
Volume total (km ³)	2.42	1.70

3. Matériel et méthodes

- A) Les paramètres abiotiques: **conductivité** ($\mu\text{S}/\text{cm}$), température ($^{\circ}\text{C}$), **pH**, Oxygène (mg/l) ont été mesurés avec une sonde Hydropolytester HPT C (Züllig AG).
- B) Des mesures colorimétriques ont été utilisées pour les dosages de l'hydrogène sulfuré (μM), des phosphates ($\mu\text{g}/\text{l}$) et de l'ammonium (mg/l).

4. Résultats

Dans la zone de transition, entre les deux nappes d'eau, se développe un filtre bactérien qui peut avoir, selon les saisons et surtout les conditions de lumière, une épaisseur de 50 cm à 2 m (Fig. 3).

L'eau, à ce niveau, apparaît rouge à cause d'un pigment caractéristique contenu dans les cellules bactériennes: l'okénone (pigment appartenant à la famille des caroténoides) (Fig. 4).

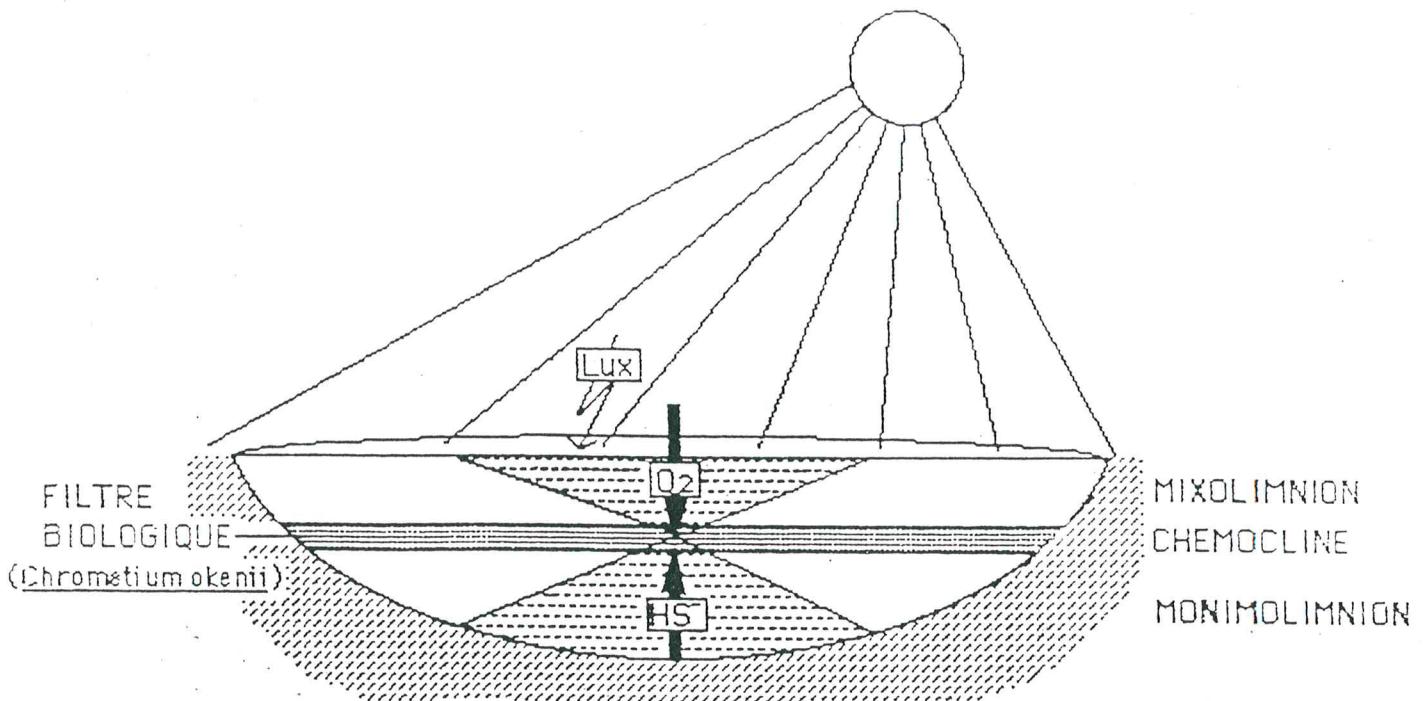


Fig. 3

Emplacement du filtre dans le lac, l'hydrogène sulfuré est métabolisé par *Chromatium okenii* selon la formule:

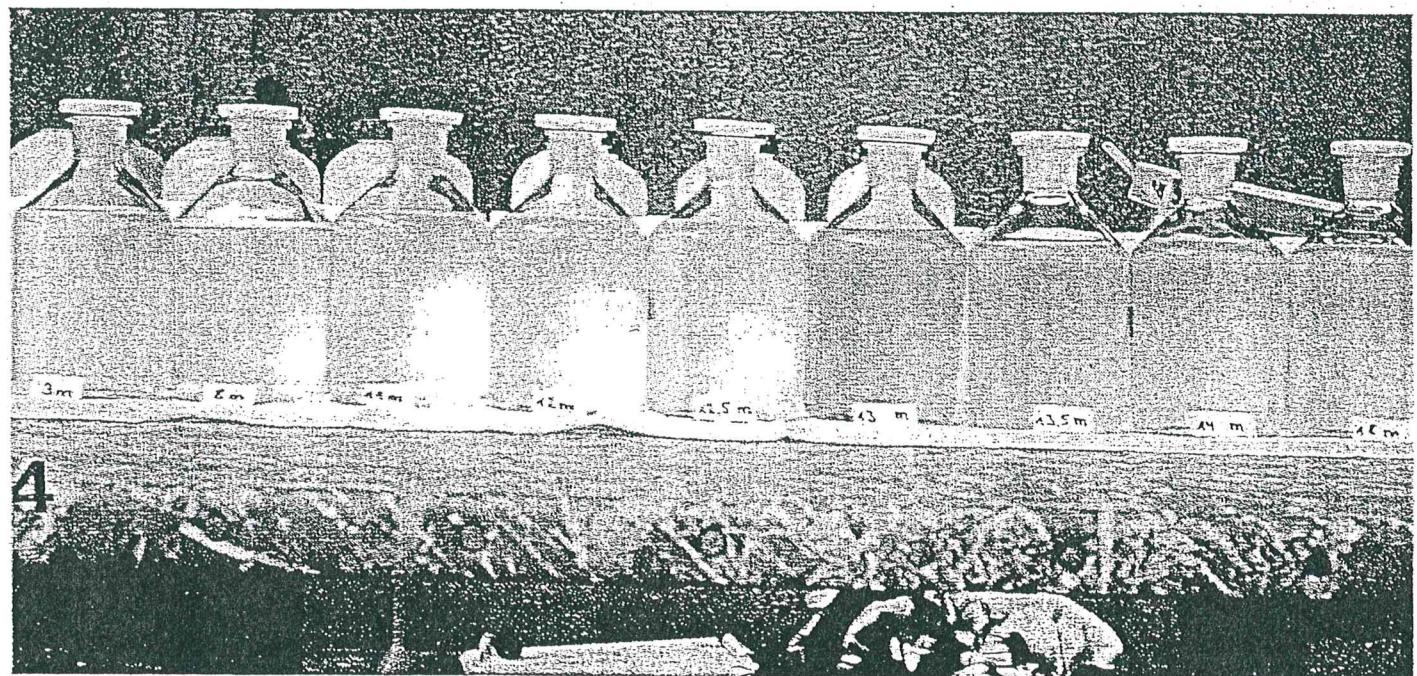
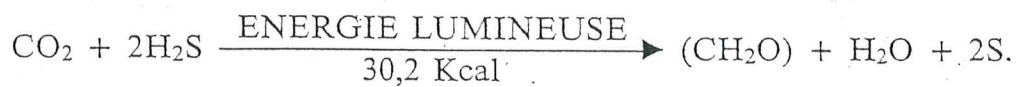


Fig. 4

Série de bouteilles d'eau prélevée dans le lac à différentes profondeurs. Entre 13 et 13,5 m l'eau est colorée en rouge par les caroténoides de la bactérie *Chromatium okenii*.

A) L'absence d'oxygène, la présence d'hydrogène sulfuré et la bonne pénétration de la lumière dans l'eau, constituent les conditions qui permettent la prolifération massive, en profondeur, des bactéries phototrophes anaérobies de l'espèce *Chromatium okenii* (Fig. 5). Les profils des paramètres abiotiques, établis sur la colonne d'eau et aux différentes profondeurs, nous permettent de localiser le filtre (Fig. 6). En outre, l'interprétation de l'allure des courbes nous permet aussi de vérifier les propriétés et les besoins de *Chromatium okenii*; l'absence d'oxygène en même temps qu'une présence suffisante, mais pas toxique, d'hydrogène sulfuré. Dans l'exemple rapporté ces conditions sont remplies à la profondeur de 13 m.



Fig. 5

Cellules de *Chromatium okenii*:

a) Les gouttelettes contiennent du soufre natif

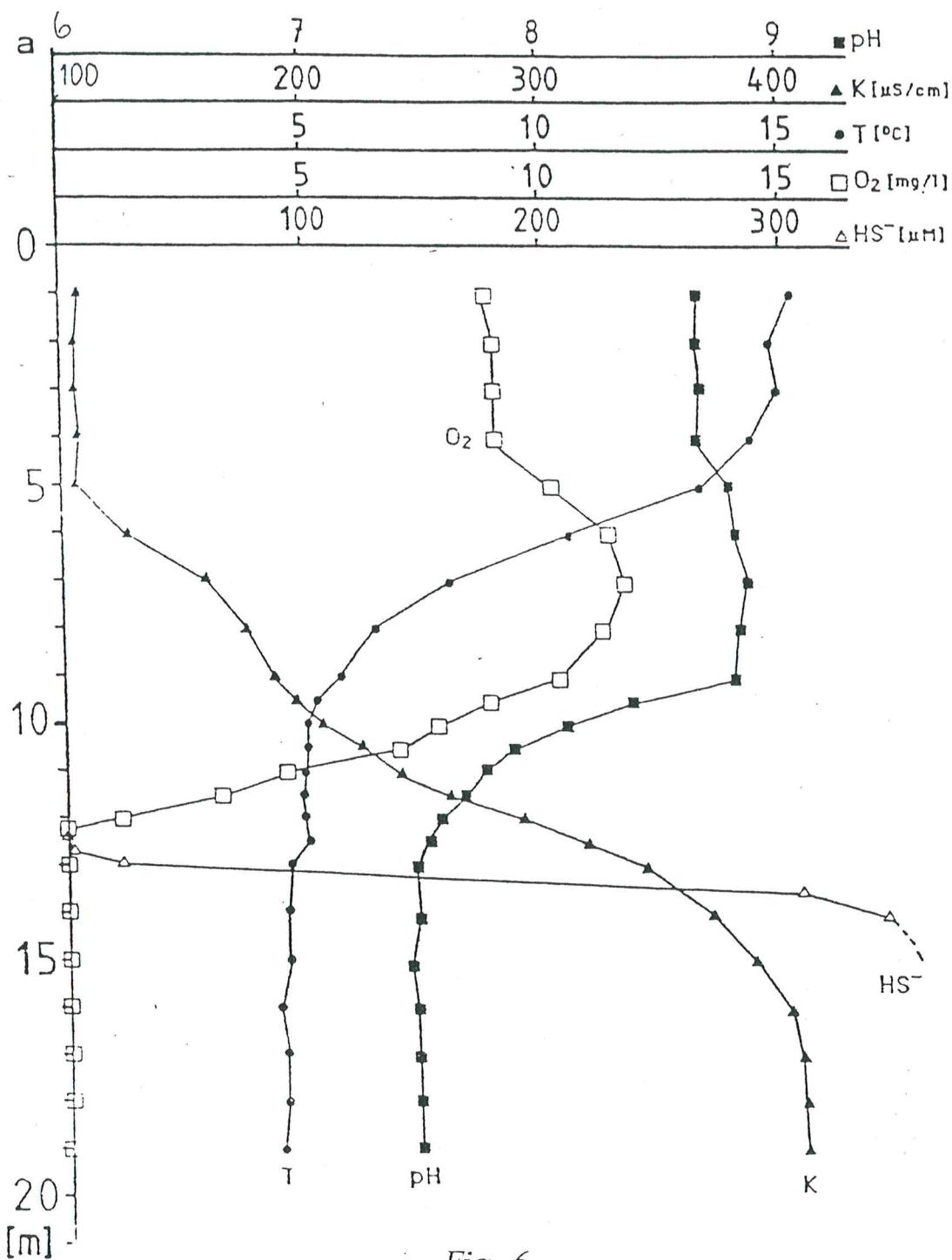


Fig. 6

Profils : valeur pH, conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), température ($^{\circ}\text{C}$), oxygène (mg/l), hydrogène sulfuré (μM).

Il faut aussi remarquer le profil de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) qui démontre une concentration saline très élevée dans la zone profonde (qui dépasse $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ à 15 m de profondeur), tandis que dans les eaux superficielles, nous sommes confrontés à une faible salinité ($120 \mu\text{S}/\text{cm}$). De même (Fig. 7), il nous est permis de vérifier le fonctionnement du filtre, vis-à-vis d'un autre composé toxique, le NH_4^+ et d'un composé trophogène comme l'orthophosphate PO_4^{3-} qui passent aussi par un minimum à 13 m où le *Chromatium* est localisé.

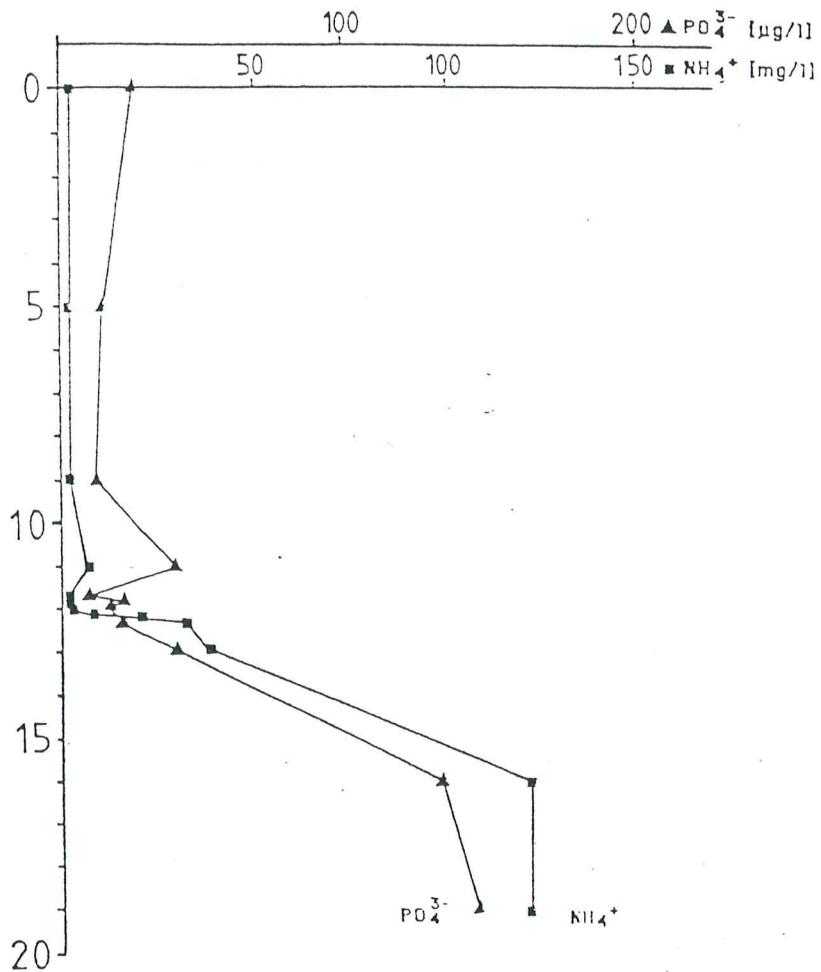


Fig. 7

Profils de l'ammonium (mg/l) et de l'orthophosphate ($\mu\text{g/l}$).

- B) Le fonctionnement du filtre bactérien dépend de la pénétration de la lumière dans le lac. En hiver, à cette altitude, les lacs sont couverts de glace et de neige. Il était dès lors intéressant de vérifier si, malgré la diminution de la pénétration de la lumière dans le corps d'eau, provoquée par la présence de glace, l'hydrogène sulfuré était encore métabolisé par la bactérie. Il s'agissait ainsi, de vérifier si la diminution de l'activité bactérienne et en général du métabolisme du filtre, permettait à la nappe saline et **anoxique**, où sont confinées les substances toxiques, d'envahir progressivement les couches d'eau superficielles oxygénées. Selon les mesures effectuées en hiver (Fig. 8), nous avons pu constater une compression considérable de la couche d'eau oxygénée provoquée soit par la baisse artificielle du niveau de 3 m, soit par la montée vers la surface des composés du soufre. Nous avons repéré l'hydrogène sulfuré à 10 m de profondeur, ce qui comporte une perte de trois mètres d'oxygénation, en comparaison avec la situation que nous constatons en été. Toutefois, cette montée progressive vers la surface est limitée grâce à la présence de microorganismes, liés au métabolisme de l'hydrogène sulfuré, qui prennent la relève de *Chromatium okenii*. Nous avons pu mettre en évidence les microorganismes liés au métabolisme de «remplacement» qui s'instaure dans le lac en hiver. Il s'agit d'une association bactérienne formée par les genres *Amoeobacter* et *Thiobacillus*.

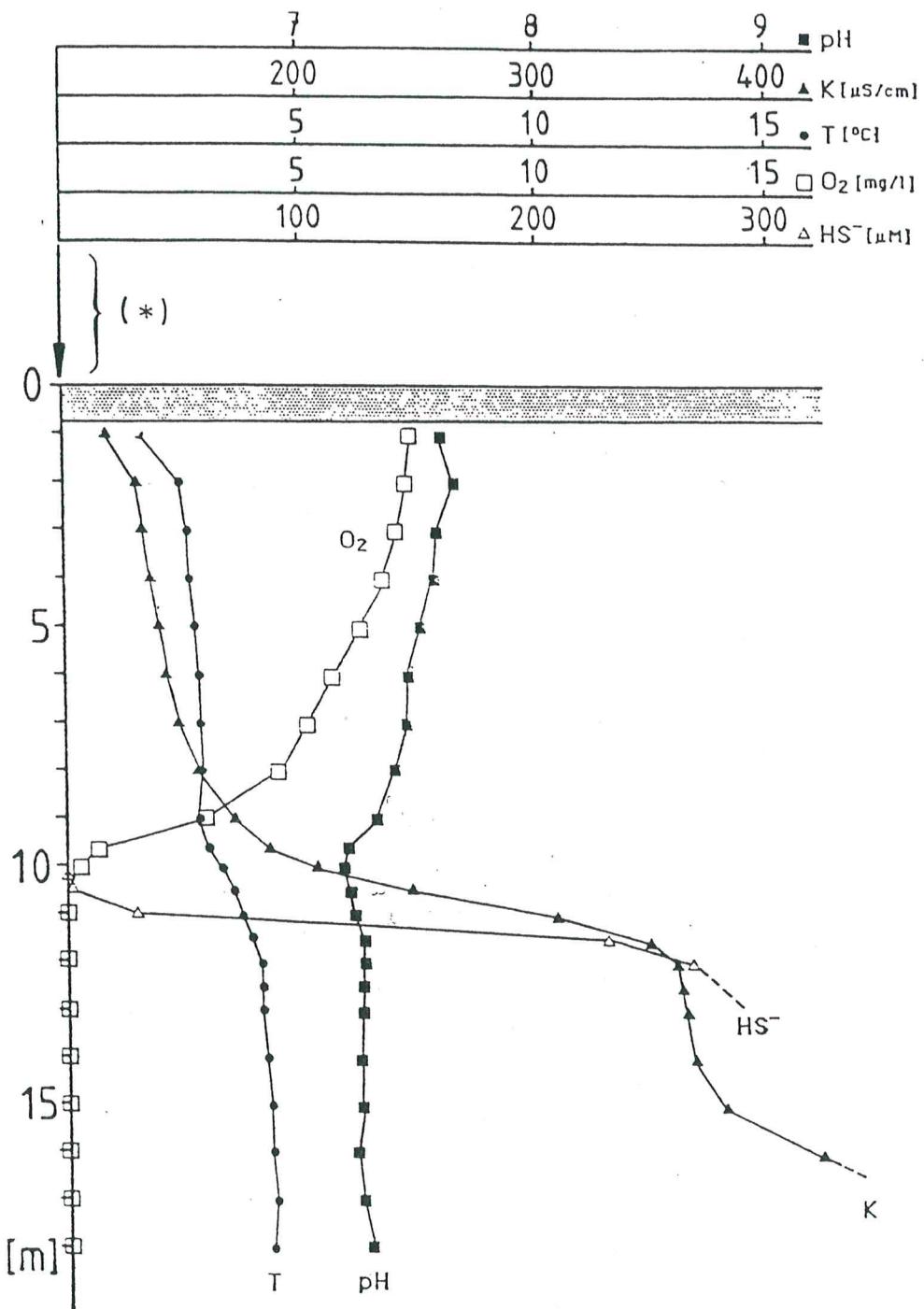


Fig. 8

Situation en hiver établie avec les paramètres: pH, conductivité, température, oxygène, H₂S.

Le rôle de *Chromatium okenii* dans l'écosystème du lac de Cadagno n'est pas seulement essentiel en tant que filtre, mais aussi pour l'apport considérable, au niveau de la production primaire. On estime en effet que l'apport donné au **bilan trophique** du lac par les **bactéries phototrophes** représente au moins 1/4 de la **production primaire** des algues. Ceci est considérable pour toute la chaîne alimentaire d'un lac alpin situé à 2000 mètres d'altitude. Cette répercussion favorable se fait sentir jusqu'aux derniers maillons de la chaîne alimentaire et le lac est reconnu depuis des siècles comme étant très poissonneux (Fig. 9).

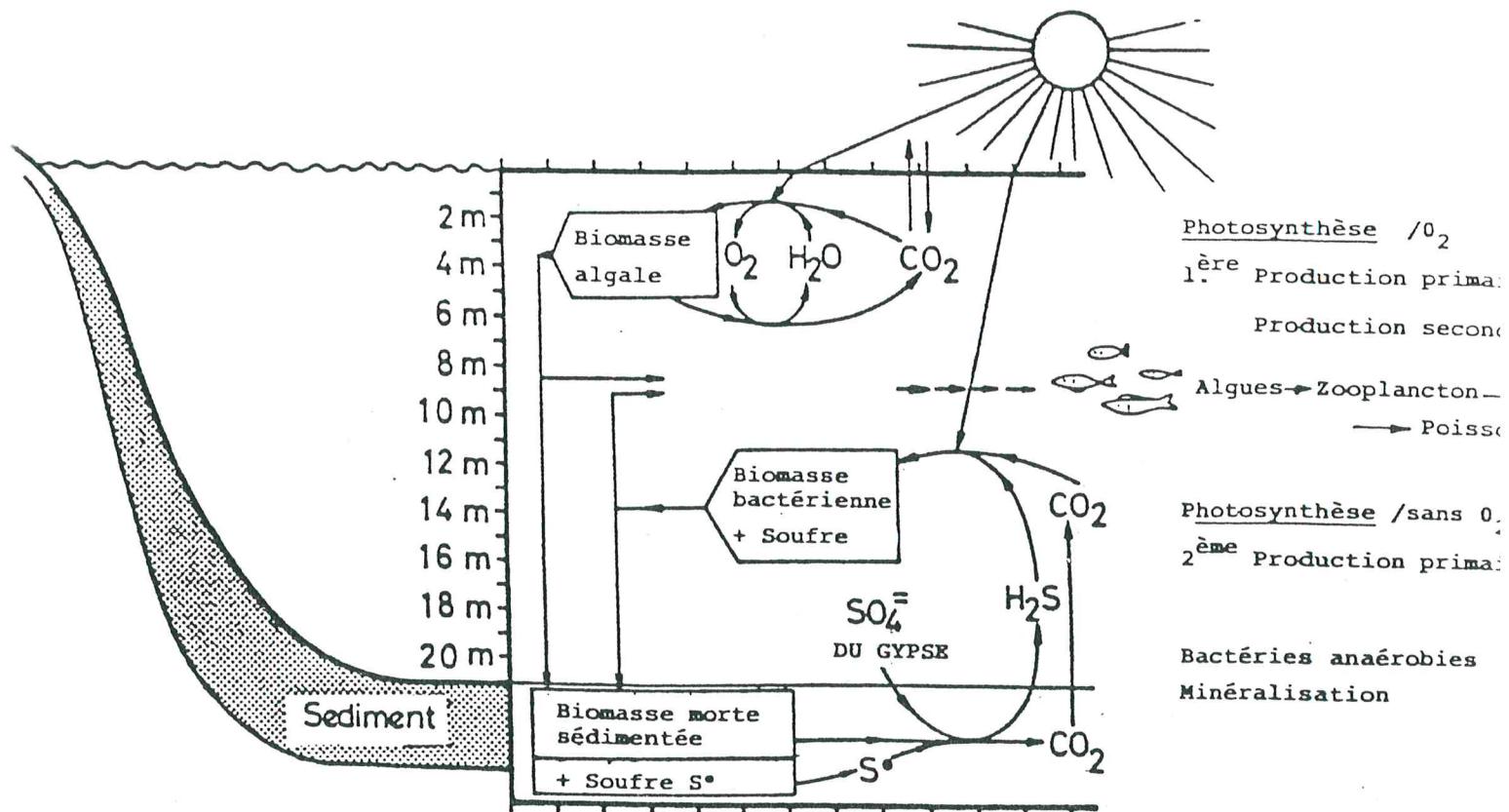


Fig. 9

Schéma de l'écosystème du lac de Cadagno avec la double productivité primaire (algale et bactérienne). (D'après K. Hanselmann modifié.)

- C) L'okénone est un caroténoïde spécifique des *Chromatium okenii*. Sa mise en évidence, par chromatographie sur couche mince, à partir des sédiments du lac, nous permet d'affirmer que le phénomène lié au *Chromatium okenii* est présent dans le lac depuis des siècles. En effet, il faut tenir compte que la sédimentation annuelle, dans le lac, est de 0,5 à 1 cm et que l'on peut encore détecter l'okénone en analysant des couches sédimentaires sur des carottes de 150-170 cm.

5. Conclusion

Chromatium okenii constitue un filtre biologique important situé dans la zone de transition entre la couche oxygénée et la couche anoxyque du lac. L'emplacement du filtre coïncide aussi avec l'interface entre la couche d'eau, riche en sels, et la couche superficielle où existent des conditions d'**oligomesotrophie**. *Chromatium okenii* métabolise l'hydrogène sulfuré, l'ammonium et le phosphate et s'oppose ainsi à leur diffusion vers la surface. Cette action

filtrante est effectuée en association avec d'autres microorganismes phototrophes qui prennent la relève en hiver lorsque la pénétration de la lumière diminue.

L'activité des bactéries phototrophes représente aussi une production primaire supplémentaire qui correspond au 1/4 de la production primaire due aux algues.

L'analyse des sédiments nous permet de constater la stabilité du phénomène qui est présent depuis des siècles.

R. PEDUZZI
Laboratoire d'écologie
microbienne

GLOSSAIRE

Anoxique	Privé d'oxygène.
Bactéries phototrophes	Bactéries possédant un système spécifique de pigments photosynthétiques et un métabolisme producteur d'énergie. Chez les bactéries pourpres la bacteriochlorophylle est accompagnée de caroténoïdes (l'Okénone dans le cas de <i>Chromatium okenii</i>).
Bilan trophique	Bilan inhérent à la nourriture.
Conductivité	Grandeur physique qui mesure l'aptitude d'une substance à se laisser traverser par le courant électrique. La présence de sels dissous dans l'eau augmente la conductivité de l'eau qui varie en fonction de la température. La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
Dolomie	Roche sédimentaire carbonatée renfermant plus de 50% de dolomite (carbonate naturel, double, de calcium Ca CO_3 et de magnésium Mg CO_3).

Eutrophisation	Enrichissement d'un milieu en substances nutritives. Augmentation des substances nutritives (nitrates, phosphates) dans les eaux naturelles, spécialement les lacs, qui cause un excès de production biologique et accélère la détérioration de la qualité de l'eau. Ce processus, quand il est provoqué par les activités humaines, devient un des problèmes majeurs de la gestion des ressources hydriques.
Gypse	Roche sédimentaire formée de sulfate de calcium hydraté, cristallisé ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$).
Métabolisme	Ensemble des transformations de matière et d'énergie qui se produisent à l'intérieur des êtres vivants. Ces phénomènes de transformations physico-chimiques ou biologiques se produisent à l'intérieur des cellules, des organismes ou d'un corps d'eau (p. ex. un lac). Ensemble des transformations subies par les substances qui constituent ces entités biologiques. Le métabolisme est composé par des réactions de synthèse (anabolisme) et par des réactions de dégradations libérant de l'énergie (catabolisme).
Oligo-mésotrophie	Etat qualificatif pour un lac de type intermédiaire entre l'oligotrophie et la mésotrophie. · Oligotrophe, étymologiquement peu nourri, qualifie un milieu pauvre en substances nutritives.
Paramètre abiotique	Les facteurs physiques et chimiques de l'environnement; dans le milieu aquatique, les caractères physicochimiques de base pour les eaux sont: température, pH, conductivité, teneur en oxygène (O ₂ exprimé en mg/l), teneur en sels minéraux (p. ex. phosphates, nitrates, hydrogène sulfuré, etc.).
pH	Symbolique exprimant, par le chiffre dont il est accompagné (pH 6, pH 7,5 etc.) le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau ou d'une solution saline. Le pH est le logarithme négatif de la concentration des ions hydrogènes dans l'eau. Les solutions dont le pH est compris entre 0 et 7 sont acides en ordre décroissant, alcalines entre 7 et 14 en ordre croissant et neutres pour un pH de 7.

Production primaire Production de matière organique végétale par la photosynthèse exprimée comme quantité de matière vivante élaborée en un temps donné sur une surface déterminée (ou par volume).

Trophogène Qui produit nourriture. Le terme est utilisé pour substances qui génèrent de la matière organique.
Couche trophogène, lieu où est produite la matière organique.

BIBLIOGRAPHIE

BOURCART, F. E.: Les lacs alpins suisses, étude chimique et physique, thèse présentée à l'Université de Genève, Georg & Co Editeurs, Genève, 1906.

HANSELMANN, K.: Lago Cadagno, ein «Reagensglas» für Umweltforschung in der Natur, Neue Zürcher Zeitung, Forschung und Technik, 121, 28, 5, 1985.

PEDUZZI, R.; TONOLLA, M.: Chromatium okenii, filtre bactérien retenant les composés toxiques et trophogènes dans un lac alpin (lago di Cadagno, Suisse), Actes du deuxième congrès de la Société Française de Microbiologie, Strasbourg, 1989.

TONOLLA, M.; DEL DON, C.; BOSCOLO, P.; PEDUZZI, R.: The problem of fish management in an artificially regulated meromictic lake: lake Cadagno, Riv. Ital. Acquacol., 23, 57-68, 1988.

ZÜLLIG, H.: Vorläufige Mitteilungen über das Vorkommen des aus Purpurbakterien stammenden Pigmentes Okenon in Seesedimenten, Schweiz. Z. Hydrol. 46/2, 297-300, 1984.