

Zeitschrift: Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 51 (1998)
Heft: 3

Artikel: Variaton de l'état trophique du lac d'Annecy (Haute-Savoie, France)
d'après l'analyse des diatomées et des pigments algaux
Autor: Druart, Jean-Claude / Pelletier, Jean Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-740160>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 31.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

VARIATION DE L'ETAT TROPHIQUE DU LAC D'ANNECY
(HAUTE-SAVOIE, FRANCE)
D'APRÈS L'ANALYSE DES DIATOMÉES ET DES PIGMENTS
ALGAUX
DANS QUELQUES CAROTTAGES

PAR

Jean-Claude DRUART* & Jean Pierre PELLETIER*

(Ms reçu le 3.11.1998, accepté le 29.12.1998)

ABSTRACT

Variation of the trophic status of Lake Annecy (Haute-Savoie, France) estimated from the diatoms and algal pigment composition in cores. - Three cores were studied for the Lake Annecy between 1995-1996 in the CLIMASILAC Research Program. Diatoms and algal pigments were analysed and the trophic evolution of the lake inferred. Conclusions are discordant. In the South Basin (LA 13 core), the eutrophication process, which began around 1940, has strongly increased from 1963, and is still present today, according to diatoms composition. The same evolution, though less accurate, can be seen in the North Basin (LA 18 core). In the nearby second North Basin core (AN 1), sampled in a deeper zone, which is 48 m long, diatoms are unexpectedly nearly lacking. This characteristic is unusual, and is not corroborated with the other sedimentological, chemical and biological parameters analysed on the core.

Key-words: Lake Annecy, paleolimnology, sediment, diatoms, pigments, eutrophication.

INTRODUCTION

L'étude des diatomées des sédiments du lac d'Annecy a été réalisée dans le cadre d'un programme de recherche pluridisciplinaire (programme pluriannuel CLIMASILAC).

Ces études sédimentologiques et biologiques (pollens, diatomées et pigments algaux), ont été entreprises pour la compréhension de l'évolution du lac et de son bassin versant. Plus précisément, l'analyse des diatomées pourra nous renseigner sur l'évolution de la bathymétrie, de certains aspects de la qualité de l'eau, des changements climatiques qui ont permis la colonisation du plan d'eau par les organismes, de l'origine du lac à nos jours. Certains pigments algaux (chlorophylle *a*) nous informeront de l'évolution de la production phytoplanctonique totale et des variations de l'état trophique des eaux. Ils seront mis en relation avec la flore diatomique, les teneurs en phosphore du sédiment et la matière organique produite par le lac.

* Institut National de la Recherche Agronomique, Station d'Hydrobiologie Lacustre, 75, avenue de Corzent, B.P. 511, F-74203 Thonon-les-Bains Cedex.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Sondage

Trois sondages ont été mis en œuvre pour cette étude:

1. Le sondage principal AN 1, de 48 mètres de long, réalisé dans le Grand Lac, près de Veyrier, par 57 mètres de profondeur.
2. LA 18, sondage de 2,50 mètres de long, également réalisé dans le Grand Lac près du sondage AN 1, destiné à étudier l'époque plus récente (0 à 5000 ans).
3. LA 13, sondage de 8,00 mètres de long, réalisé au centre du Petit Lac, également destiné à étudier l'époque récente.

Echantillonnage et traitement des échantillons

Au laboratoire, les carottes prélevées sont coupées en deux longitudinalement, afin d'échantillonner le sédiment du centre des carottes et réduire de ce fait d'éventuelles pollutions provenant de la partie externe de la carotte.

Des échantillons d'un volume d'un cm³ sont prélevés à des intervalles égaux ou variables, dans les structures sédimentologiques repérées à l'œil nu. En règle générale ces intervalles sont compris entre 1 et 20 cm. Ils sont effectués conjointement avec les sédimentologues, palynologues et autres spécialistes travaillant sur le même carottage.

Après séchage et pesée de 1 g de sédiment, chaque échantillon est traité et préparé suivant les méthodes décrites par GASSE (1975). Pour la détermination spécifique, l'usage du microscope électronique à balayage est parfois nécessaire.

Dénombrement des diatomées

L'évaluation de la richesse du sédiment en diatomées (pour établir la composition des assemblages fossiles) est réalisée en dénombrant 400 frustules au minimum contenus dans une suspension de 0,2 ml d'eau et de diatomées traitées, avec un microscope inversé ZEISS AXIOVERT 35. Pour la carotte LA 13, le nombre de diatomées comptées est compris entre $2 \cdot 10^1$ et $331 \cdot 10^5$ cellules par gramme de sédiment sec, tandis que pour la carotte LA 18, ce nombre est plus réduit et est compris entre 0 et $43 \cdot 10^4$ cellules par gramme de sédiment sec.

Détermination spécifique

Les déterminations ont été faites à partir d'ouvrages classiques tels que ceux de GERMAIN (1981), HUBER-PESTALOZZI (1942), KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1985, 1986, 1988, 1991 a et b), LANGE-BERTALOT & KRAMMER (1987), PATRICK & REIMER (1966, 1975), SIMONSEN (1987) et STRAUB (1989).

Pigments

Prélevés de la même façon que les diatomées, ils sont analysés suivant la méthode décrite par FEUILLADE (1972).

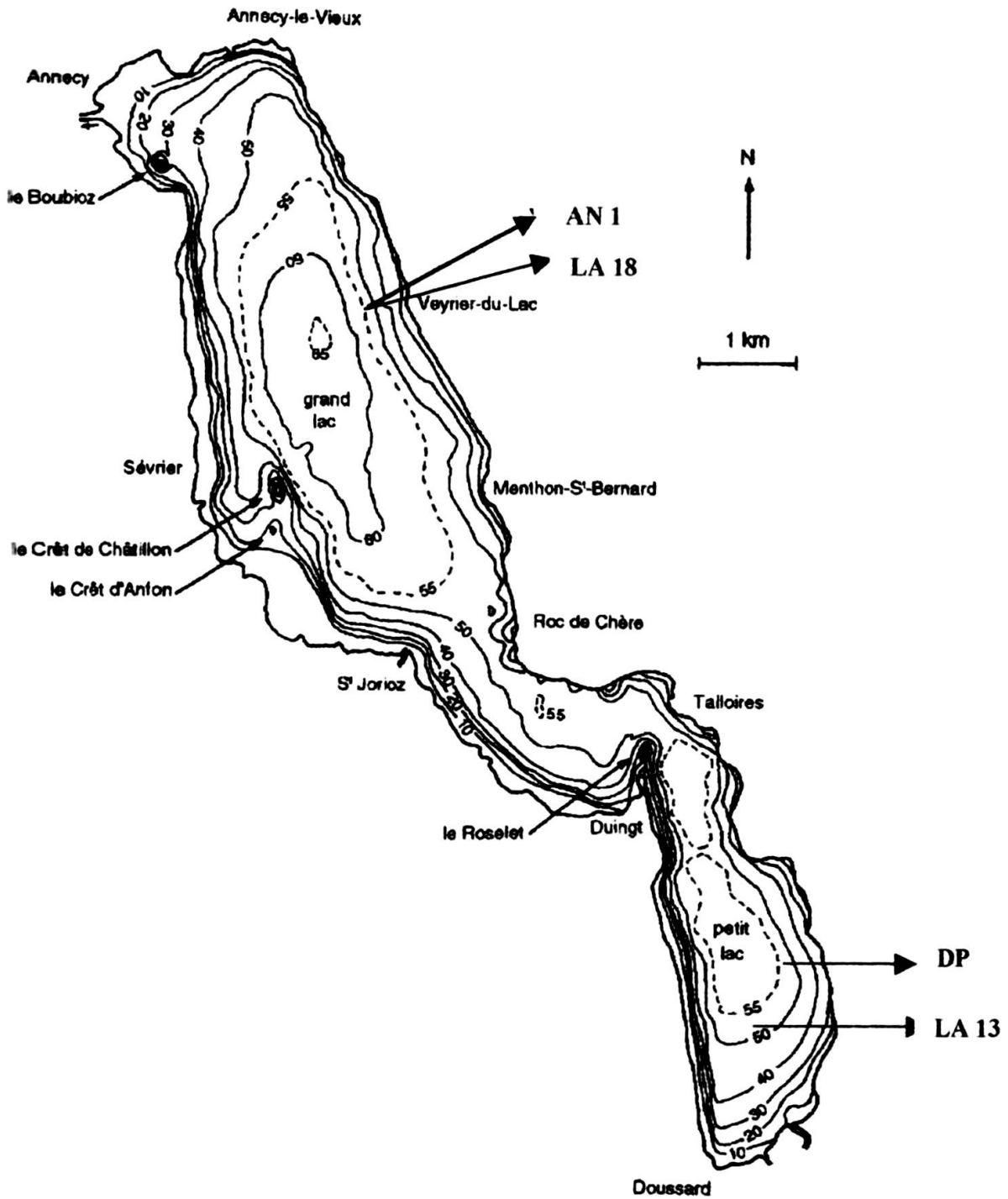


FIG. 1.

Carte de localisation des sondages étudiés sur le lac d'Annecy.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Diatomées

Les sédiments du carottage AN 1 du Grand Lac (Fig. 1) analysés à toutes les profondeurs (0 à 48 m) ne renferment que quelques dizaines de diatomées au plus, situées pour la plupart dans la partie supérieure (0 à 5 m). Un travail récent de BALVAY & DRUART (1992) sur le lac d'Annecy a permis de recenser 437 espèces d'algues dont 243 taxons de diatomées. A la vue de cette publication, le lac d'Annecy est un lac à diatomées et il est très surprenant de ne les retrouver que très faiblement dans les sédiments de ce sondage. Par ailleurs, différentes études effectuées sur d'autres lacs périalpins, Nantua (FEUILLADE *et al.*, 1995), Paladru (DRUART, 1990; BOREL *et al.*, 1994; BROCHIER & DRUART, 1993), Neuchâtel (WÜTHRICH, 1960, 1961) et Léman (DRUART, 1996), montrent qu'il y a toujours des diatomées dans ces sédiments mais en quantité plus ou moins importante. Certaines diatomées pélagiques (*Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Synedra acus* var. *angustissima*) ayant un frustule très fin et fragile se retrouvent plus difficilement dans les sédiments du fait d'une possible dissolution de leur squelette. L'analyse du carottage LA 18 prélevé à côté d'AN 1, contient beaucoup de diatomées, surtout dans la tranche supérieure 0-25 cm (figure 2), correspondant à la période récente (environ 1940 - 1998). La quasi-absence des diatomées dans le sondage profond AN 1 est donc assez énigmatique. Pourquoi à quelques mètres près, sur le fond du lac, le sédiment est-il si différent?

Diverses hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène:

1) la dissolution des frustules siliceux. BARKER *et al.* (1994) ont étudié ce phénomène et ont démontré que beaucoup de diatomées étaient très dégradées ou dissoutes à un pH supérieur à 9. Une température de l'eau de 25°C accélérerait ce processus. Mais dans la plupart des taxons comme *Navicula*, *Nitzschia*, *Cyclotella* ou *Cymbella*, le frustule est épais et robuste et se conserve très bien dans les sédiments. Il doit normalement se retrouver lors de l'analyse. Il est à noter que beaucoup de diatomées rencontrées dans les différents sondages étudiés sont fortement fragmentées;

2) une production algale très faible du lac due à une forte oligotrophie. Pendant le traitement des échantillons de sédiment à l'acide chlorhydrique, on a constaté un faible dégagement de gaz carbonique indiquant une faible teneur du sédiment en calcite liée éventuellement à un développement réduit des algues;

3) d'après F. STRAUB (communication personnelle), la faible représentation des diatomées dans les sédiments de certains lacs peut provenir d'apports détritiques très importants à certaines époques et qui «diluent» les restes d'organismes (comme les diatomées par exemple ou les pollens) dans le sédiment. Ces apports détritiques peuvent arriver au lac par des rivières pendant des périodes très humides ou lors de déstabilisation des bassins versants par la déforestation anthropique. Par contre l'analyse visuelle des échantillons montrait l'importance de la matière organique sans doute d'origine détritique.

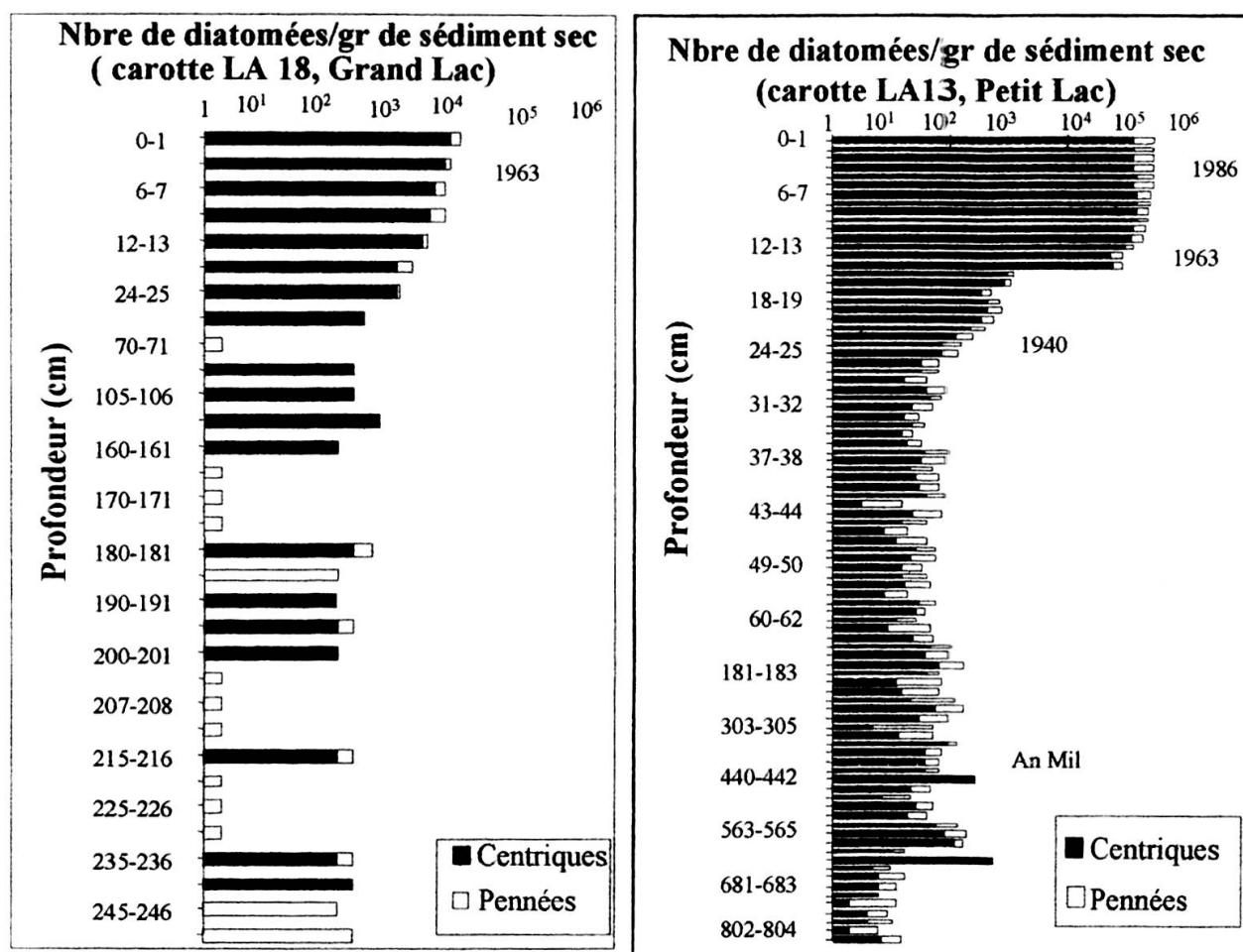


FIG.2.

Représentation des diatomées centriques et pennées (benthiques et planctoniques) dans les sondages LA 18 (à gauche) et LA 13 (à droite).

S'il semble difficile de retenir la première hypothèse, les deux dernières sembleraient plus réelles. Le sondage AN 1 est peut-être situé sur une forte pente ou a fait l'objet d'un important écoulement sous-lacustre de matière organique et minérale provenant du bassin versant et masquant les diatomées déposées dans le sédiment. Ce phénomène ne se constate pas sur la carotte LA 18 pourtant du même âge et prélevée à quelques mètres de celle-ci. Il faudra continuer les études pour essayer d'approfondir ce phénomène.

Dans la carotte LA 18 (Grand Lac), comme d'ailleurs dans la carotte LA 13 (Petit Lac), on constate une augmentation progressive du développement des algues à partir de – 25 cm jusqu'en haut du sondage. Les espèces principales (*Cyclotella cyclopuncta* pour les diatomées centriques; *Fragilaria crotonensis* et *Synedra acus* var. *angustissima* pour les diatomées pennées) y sont dominantes. Cela correspond à la phase principale d'eutrophisation qui commence réellement vers 1940 (profondeur approximative de 25 cm).

La carotte LA 13 (Petit Lac) renferme un nombre très important de diatomées (Fig. 1). La phase principale d'eutrophisation commence aussi à –25 cm (environ 1940) par un premier développement d'algues. Elle est datée par la méthode C14. Les espèces

principales (*Cyclotella cyclopuncta* pour les diatomées centriques; *Fragilaria crotonensis* et *Synedra acus* var. *angustissima* pour les diatomées pennées) sont les mêmes que celles rencontrées dans le sondage LA 18. Elles augmentent également très régulièrement à partir de -25 cm avec un pic vers -15 cm (1963) caractérisant une accélération de l'eutrophisation. Par la suite, on ne retrouve pas une amélioration de la qualité des eaux du lac après la mise en service du collecteur des eaux urbaines à partir de 1975. Mais ce phénomène est constaté également dans d'autres lacs (Léman et Bourget). En effet si on enregistre une baisse régulière du phosphore dans les eaux de ces lacs (REVAQUIER *et al.*, 1995; GAYTE *et al.*, 1998), le plancton (phytoplancton et zooplancton) y est toujours abondant. Il y a un décalage dans le fonctionnement de ces deux compartiments, expliqué par l'adaptation du compartiment biologique à la baisse des nutriments (phosphore). Il faut attendre un certain temps (qui peut être long parfois!), avant de constater une amélioration du fonctionnement du lac. La dernière phase d'eutrophisation constatée à partir de 1940 est également mise en évidence par une augmentation régulière de la matière organique produite par le lac (LALLIER-VERGES *et al.*, en préparation) durant cette période.

Autour de -3.5 m (période approximative de l'An Mil), on constate une petite augmentation de la matière organique lacustre et des diatomées (Fig. 2). Des études plus serrées sur les sédiments seront nécessaires pour approfondir ce phénomène, qui est peut-être lié à une déforestation locale et une occupation humaine du bassin versant. Les études archéologiques seront alors d'un grand secours.

L'analyse de ces sondages profonds ne permet pas aussi bien que la sédimentologie littorale, d'appréhender l'évolution de la bathymétrie d'un lac au cours des temps. Il faut impérativement travailler sur des sondages littoraux. Dans les sondages profonds du lac d'Annecy, la proportion des diatomées benthiques est extrêmement forte (plus de 80% de la population globale); mais une analyse qualitative plus fine des diatomées rencontrées ne permet pas de mieux interpréter ce paramètre.

Chlorophylle a

L'étude des pigments algaux a été menée sur le site DP dans le Petit Lac, où un sondage de 40 cm a été analysé; huit échantillons ont été prélevés. Il s'avère qu'il reste des pigments jusqu'à 40 cm de profondeur. La teneur en chlorophylle *a* active est assez faible en haut du sondage (6,09 µg/g de sédiment). Cette valeur est comparable avec celle observée par FEUILLADE *et al.* (1995) sur le lac de Nantua. A 40 cm, elle est de 67,33 µg/g de sédiment soit 10 fois plus qu'en haut du sondage mais 4 fois moins qu'au lac de Nantua. Ces concentrations en chlorophylle *a* prouvent bien qu'il y a eu développement de phytoplancton dans le lac et probablement de diatomées. CARPENTER *et al.* (1986) soulignent la difficulté d'interpréter des analyses pigmentaires dans les sédiments du fait de leur forte tendance à se dégrader dès leur production. La concentration plus forte en profondeur peut provenir justement d'une dégradation d'une partie des pigments algaux de la partie supérieure de la carotte.

D'après le tableau de comparaison des valeurs de chlorophylle *a* donné par FEUILLADE *et al.* (1995), le lac d'Annecy se classe comme un lac oligotrophe. Mais la chlorophylle *a* ne représente qu'une partie des pigments algaux contenus dans le sédiment et de ce fait sous-évalue le caractère trophique du lac qui semble être mésotrophe durant la période étudiée, comme le montre l'étude des diatomées.

Le phosphore

Cet élément responsable en partie de l'eutrophisation des lacs, a été analysé dans les sédiments du Petit Lac (COPPÉE, 1993).

Sur les trois formes de phosphore rencontrées dans le sédiment (phosphore apatitique, phosphore organique et phosphore inorganique non apatitique), seules les deux dernières formes sont utilisables par les algues. Le phosphore organique associé à la matière organique autochtone (algues) ou allochtone (débris de végétaux, eaux usées), peut être remobilisable lors de la décomposition de la matière organique et retourne sous forme soluble vers l'eau du lac. Son maximum de concentration (700 µg de P/g de sédiment) est situé vers 10 cm de profondeur, correspondant aux années 1975 - 1980. Le phosphore inorganique non apatitique, associé à toutes les substances non organiques, peut être remobilisé facilement dans les sédiments superficiels si les conditions d'oxygénation des eaux au contact du sédiment se détériorent. Le maximum de concentration (900 µg de P/g de sédiment) est observé entre 5 et 9 cm de profondeur, correspondant aux années 1965 - 1975. Il faut signaler que ces valeurs sont comparables à celles observées dans les sédiments du Léman à la même époque (MEYBECK, 1970). Ensuite, vers la surface on note une diminution rapide des teneurs d'un facteur de 3 à 5. La décroissance de cette forme de phosphore dans les sédiments résulte de l'effort entrepris durant cette période par les communes riveraines du lac d'Annecy limitant les rejets de phosphore. Mais cette amélioration de la qualité chimique des eaux ne se retrouve pas dans le compartiment biologique où les diatomées sont encore extrêmement nombreuses, comme le montre cette étude.

CONCLUSION

Les études diatomiques réalisées sur les trois sondages du lac d'Annecy (AN 1, LA 13 et LA 18) ont donné des résultats très différents. Dans le Grand Lac, les carottes AN1 et LA 18 sont discordantes et montrent une anomalie au niveau de AN 1 où les diatomées sont quasi absentes. Globalement, la carotte LA 18 révèle la présence d'un nombre plus faible de diatomées ainsi que quelques niveaux stériles. Le sondage LA 13 dans le Petit Lac, montre la présence d'un grand nombre de diatomées surtout sur le haut du sondage. Dans le Grand Lac comme dans le Petit Lac, ces dernières permettent de mettre en évidence le début de l'eutrophisation autour de 1940 avec une forte augmentation de cette dernière vers 1963. La matière organique produite dans le lac corrobore ces résultats. Mais on ne constate aucune amélioration de la qualité biolo-

gique des eaux du lac par l'analyse qualitative et quantitative des diatomées, depuis la mise en place du collecteur d'eaux usées à partir de 1975.

L'analyse de sondages littoraux permettra d'appréhender l'évolution de la bathymétrie du lac au cours des temps et de la croiser avec les études sédimentologiques ou archéologiques déjà effectuées dans le cadre de ce programme CLIMASILAC.

RÉSUMÉ

Lors du programme de recherche pluriannuel et pluridisciplinaire CLIMASILAC réalisé sur le lac d'Annecy en 1995 et 1996, des analyses de diatomées et de pigments algaux ont été effectuées dans les sédiments de trois sondages. Elles visent à caractériser l'évolution trophique du lac. Les résultats obtenus montrent une très grande discordance entre ces sondages. Dans le Petit Lac (carotte LA 13), les analyses diatomiques révèlent une eutrophisation naissante vers 1940, avec une forte aggravation de celle-ci à partir de 1963 et perdurant jusqu'à nos jours. Dans le Grand Lac (LA 18), cette situation, même si elle se marque, est beaucoup moins lisible. La carotte profonde (AN 1) prélevée également près de la carotte LA 18, montre une quasi-absence des diatomées à tous les niveaux étudiés (de 0 m à 48 m) dans le sédiment et nous interpelle sur ce fait inhabituel. Cette caractéristique enregistrée lors du dépôt ou de la conservation des diatomées dans le sédiment, n'est pas corroborée par les autres analyses sédimentologiques, chimiques ou biologiques effectuées simultanément sur le même sédiment.

Mots-clés: Lac d'Annecy, paléolimnologie, sédiment, diatomées, pigments, eutrophisation.

BIBLIOGRAPHIE

- BALVAY, G. & J.C. DRUART. 1992. Le plancton du lac d'Annecy: historique et inventaire. *Archs Sci. Genève*, 45 (2): 135-169.
- BARKER, P., J.C. FONTES, F. GASSE & J.C. DRUART. 1994. Experimental dissolution of diatom silica in concentrated salt solutions and implications for paleoenvironmental reconstruction. *Limnol. Oceanogr.*, 39 (1): 99-110.
- BOREL, J.L., J.L. BROCHIER, & J.C. DRUART. 1994. Résultats préliminaires des études paléoécologiques et paléoclimatiques du sondage Colletière C'' (lac de Paladru, France). *Ecologia Mediterranea*, 10 (1/2): 89-96.
- BROCHIER, J.L. & J.C. DRUART. 1993. Le milieu lacustre. In: M. Colardelle et E. Verdel (eds), les habitats du lac de Paladru Isère, dans leur environnement. La formation d'un terroir au XI^e siècle, Documents d'Archéologie Française N° 40, Ed. de la Maison des Sciences de l'Homme, 1993: 39-61.
- CARPENTER, S.R., M.M. ELSER & J.J. ELSER. 1986. Chlorophyll production, degradation and sedimentation implications for paleolimnology. *Limnol. Oceanogr.*, 31 (1): 112-124.
- COPPÉE, V. 1993. Etude sédimentologique et géochimique des sédiments récents du lac d'Annecy. Thèse Uni. Genève: 116 pp.
- DRUART, J.C. 1990. Etude paléoécologique du site archéologique de Colletière-Charavines (Paladru, Isère, France). *Cryptogamie, Algol.* 11 (2): 91-110.

- DRUART, J.C. 1996. Diatoms. *In: Quaternary Geology of the Geneva Bay (Lake Geneva, Switzerland): Sedimentary Record, Palaeoenvironmental and Palaeoclimatic Reconstruction since the Last Glacial Cycle*. Thèse A. Moscardiello, Univ. Genève: 189-191.
- FEUILLADE, M. 1972. Croissance d'*Oscillatoria rubescens* et variations quantitatives de la chlorophylle et des différents caroténoïdes en fonction de l'éclairement. *Ann. Hydrobiol.* 3: 21-31.
- FEUILLADE, M., J. DOMINIK, J.C. DRUART & J.L. LOIZEAU. 1995. Trophic status evolution of Lake Nantua as revealed by biological records in sediment. *Arch. Hydrobiol.* 132 (3): 337-362.
- GASSE, F. 1975. L'évolution des lacs de l'Afar Central (Ethiopie et T.F.A.I.) du Plio-Pléistocène à l'Actuel. Reconstitution des paléomilieux lacustres à partir de l'étude des Diatomées. Thèse Univ. Paris, I: 406 pp., II: 103 pp., III: 59 pl.
- GAYTE, X., D. FONTVIEILLE, B. VINÇON-LEITE, B. TASSIN, P. BLANC, J.C. DRUART, G. BALVAY, J. PELLETIER & G. PAOLINI. 1998. Analyse de l'évolution de la qualité des eaux du lac du Bourget (1995-96). Univ. de Savoie (GRETI); Ecole Nationale des Ponts et chaussées (CERGRENE); INRA (SHL Thonon) et cellule Technique du lac du Bourget: 346 pp.
- GERMAIN, H. 1981. Flore des diatomées: eaux douces et saumâtres. *Boubée (Ed.) Paris*: 444 pp.
- HUBER-PESTALOZZI, G. 1942. Das Phytoplankton des Süßwassers. *Binnengewässer* 14 (2/2): 1-549.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1985. Naviculaceae. *Stuttgart, Cramer*, 230 pp.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1986. Bacillariophyceae. 2/1. *Stuttgart, G. Fischer Verlag*, 876 pp.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1988. Bacillariophyceae. 2/2. *Stuttgart, G. Fischer Verlag*, 596 pp.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1991a. Bacillariophyceae. 2/3. *Stuttgart, G. Fischer Verlag*, 576 pp.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1991b. Bacillariophyceae. 2/4. *Stuttgart, G. Fischer Verlag*, 437 pp.
- LANGE-BERTALOT, H. & K. KRAMMER. 1987. Bacillariophyceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. *Biblioth. Diatomologica* 15: 1-289, 62 pl.
- MEYBECK, M. 1970. Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman. Thèse Uni. Paris: 245 pp.
- PATRICK, R. & CH. REIMER. 1966. The diatoms of the United States. Vol. I, Monographs of the *Acad. Nat. Sci. of Philadelphia*, 13: 1-688.
- PATRICK, R. & CH. REIMER. 1975. The diatoms of the United States. Vol. II, Monographs of the *Acad. Nat. Sci. of Philadelphia*, 13: 1-213.
- SIMONSEN, R. 1987. Atlas and Catalogue of the diatom Types of Friedrich Hustedt. *Stuttgart, Cramer*, I: 525 pp. II: 395 pp. III: 376 pp.
- REVACLIÉ, R., J.P. PELLETIER & J.C. DRUART. 1995. Evolution du phytoplancton du Léman. Campagne 1994. *Rapp. Comm. Int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1994*, 87-106.
- STRAUB, F. 1989. Hauterive-Champréveyres, 4. Diatomées et reconstitution des environnements pré-historiques. *Archéologie Neuchâteloise* 10: 120 pp.
- WÜTHRICH, M. 1960. Les diatomées du lac de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuchâteloise Sci. nat.*, 83: 7-40.
- WÜTHRICH, M. 1961. Etude des sédiments du lac de Neuchâtel. Les diatomées. *Bull. Soc. neuchâteloise Sci. nat.*, 84: 5-33.

