

Température et mouvements des eaux des lacs

Autor(en): **Bosset, Eric**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **68 (1962-1964)**

Heft 310: **À la mémoire de F.-A. Forel**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-275441>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Température et mouvements des eaux des lacs

PAR

ERIC BOSSET

Inspecteur cantonal des eaux

Depuis F.-A. FOREL, professeur à l'Université de Lausanne dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, les physiciens différencient les lacs d'après les variations de température de leurs eaux, en surface et en profondeur. Cette classification ne donne toutefois guère une idée suffisante de la variété des conditions de vie dans les lacs. Aussi les limnologues actuels distinguent divers types de lacs et différencient dans chaque catégorie des faciès, sur la base d'une série de critères : particularités physiques et chimiques des eaux, productivité et qualité du plancton, nature des sédiments, caractères de la faune benthique et de la végétation littorale, etc. Ce système de classification, bien que très synthétique, est rationnel, car il tient compte des divers facteurs intervenant dans la vie d'un lac.

Quoi qu'il en soit, l'étude thermique des lacs revêt une importance considérable, car les phénomènes de stagnation et de circulation, combinés à ceux de production et de consommation, influent profondément sur l'évolution de toute masse lacustre.

Parmi les causes extérieures qui influencent directement les conditions thermiques d'un lac, la température de l'air et l'action des vents sont des facteurs prépondérants. En outre, la loi du maximum de densité (4°C pour l'eau douce) joue un rôle important, car la variation de la densité de l'eau en fonction de la température détermine la stratification des couches, ses perturbations périodiques et les courants qui en résultent.

Toute masse d'eau stagnante, par sa surface supérieure, est le siège d'échanges thermiques avec l'atmosphère ; tantôt elle se réchauffe, tantôt elle se refroidit. Les courants qui s'établissent de la surface vers le fond et vice versa, ainsi que le brassage des eaux sous l'influence du vent, contribuent à propager la chaleur au sein de la masse lacustre.

La conductibilité thermique de l'eau est très faible. Par conséquent, dans une masse d'eau immobile, sans mouvement de cause extérieure, la surface peut présenter des variations de température considérables, tandis que les couches moyennes et profondes ne subissent que des variations minimales ou nulles. La chaleur emmagasinée en surface ne

sera transférée aux couches plus profondes que par transmission moléculaire (phénomène de *conduction*).

Considérons maintenant le comportement thermique des lacs de région tempérée, qui présentent le plus d'intérêt. Du printemps à la fin de l'été les couches de fond, en raison de leur éloignement de l'air et du soleil, ne s'échauffent que très lentement ; les couches superficielles au contraire, fortement soumises aux influences extérieures, s'échauffent (ou se refroidissent) dans une mesure plus considérable. Il en résulte

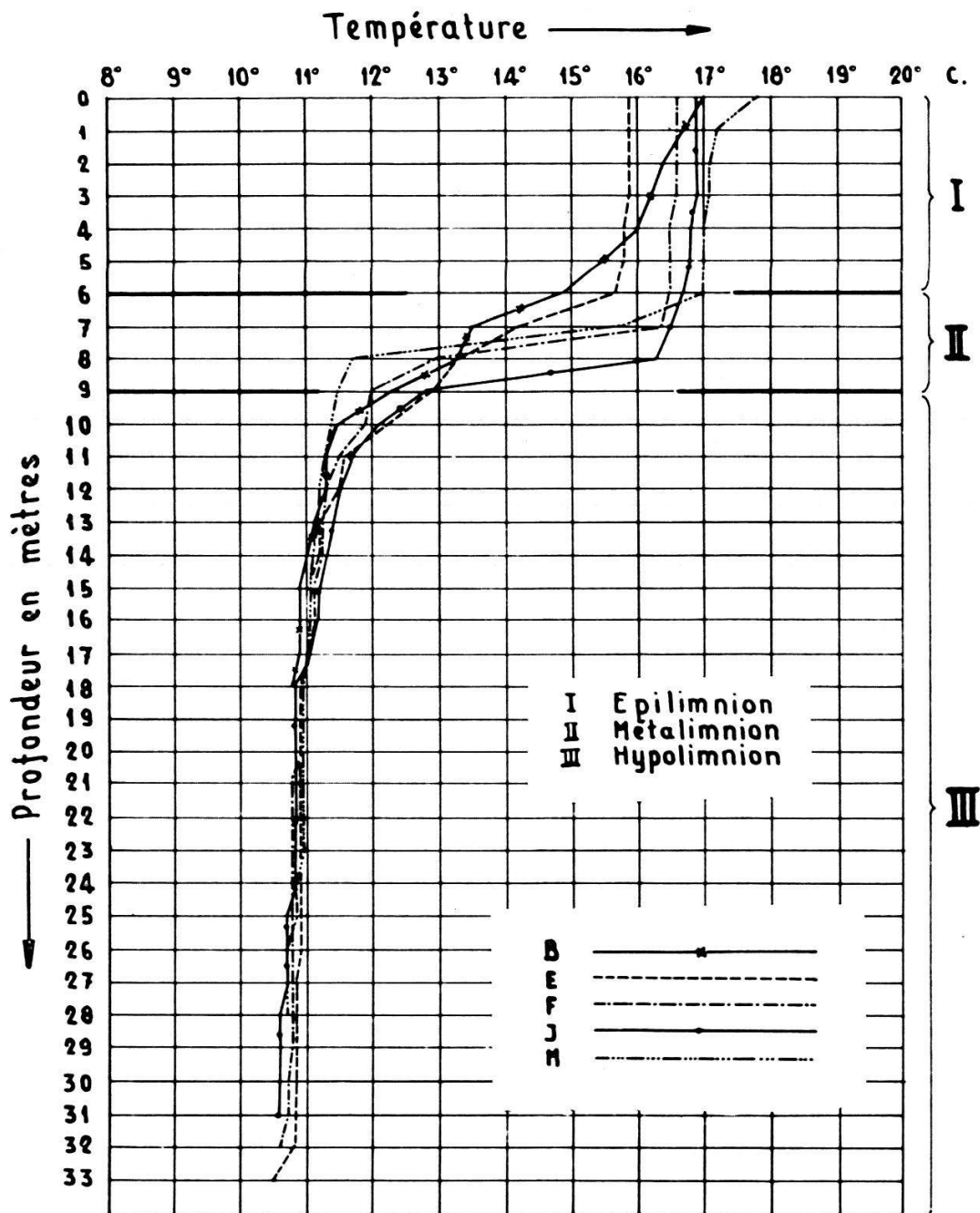


Fig. 1. — Lac de Joux : Stratification thermique les 1-4.VII.1955 aux cinq stations principales (profil longitudinal)

une *stratification* dite *thermique*, les eaux se disposant par couches suivant l'ordre de leur température, donc de leur densité.

Schématiquement, on peut distinguer trois assises superposées : un *épilimnion*, couche superficielle réchauffée par le soleil et remuée par les vents, qui constitue une *zone de circulation* ; un *métalimnion* ou thermocline, *zone de transition* caractérisée par une chute brusque de la température (saut thermique) ; un *hypolimnion* ou *zone de stagnation*, couche inférieure dans laquelle la température décroît lentement, voire même demeure presque constante (fig. 1).

Cette *stratification* est *directe* quand la température de la masse lacustre est tout entière supérieure à 4°C ; elle est *inverse* dans le cas contraire, entre 0° et 4°, cette disposition inversée se présentant dans les lacs recouverts de glace en hiver (fig. 2). Elle est annulée par les phénomènes de *circulation des eaux*, en automne lors du refroidissement de l'eau plus chaude que 4°, au printemps lors du réchauffement de l'eau plus froide que 4° (phénomène de *convection thermique*), l'intervention du vent créant ou favorisant la circulation. Elle est enfin perturbée par l'action des vents, des affluents et, dans une certaine mesure, des sources sous-lacustres, qui ne sont que des affluents particuliers.

Les deux premières causes de perturbation de la stratification thermique appellent quelques commentaires.

Les courants engendrés en surface par le vent, dits *courants de surface* ou de poussée du vent, en allant buter contre la rive « sous le vent », y déterminent une accumulation d'eau et par suite une dénivellation du lac ; celle-ci occasionne en profondeur, en sens opposé à celui du vent, des *courants de retour* dont l'intensité — en relation avec la puissance mécanique du vent — peut être forte, à en juger par les distances auxquelles sont parfois entraînés les filets de pêcheurs (fig. 3). L'action du vent se traduit par un mélange des couches d'eau superficielles et sub-superficielles, partant de couches de températures différentes (phénomène de *convection mécanique*).

Par les courants internes engendrés, les grands vents peuvent provoquer un afflux en surface d'eaux ailleurs profondes, et modifier ainsi la régularité de la stratification thermique, en particulier l'épaisseur de l'épilimnion.

Les courants dus à l'action du vent sont déviés par la force de Coriolis (due à la rotation de la terre), vers la droite dans l'hémisphère nord. Ils peuvent être perturbés par les écrans que constituent des îlots sous-lacustres, tels les « monts » du lac de Joux, situés à des profondeurs variables. A noter que les vents varient fréquemment d'intensité et se combinent souvent entre eux. Aussi les courants engendrés sont-ils, en général, la résultante de plusieurs actions.

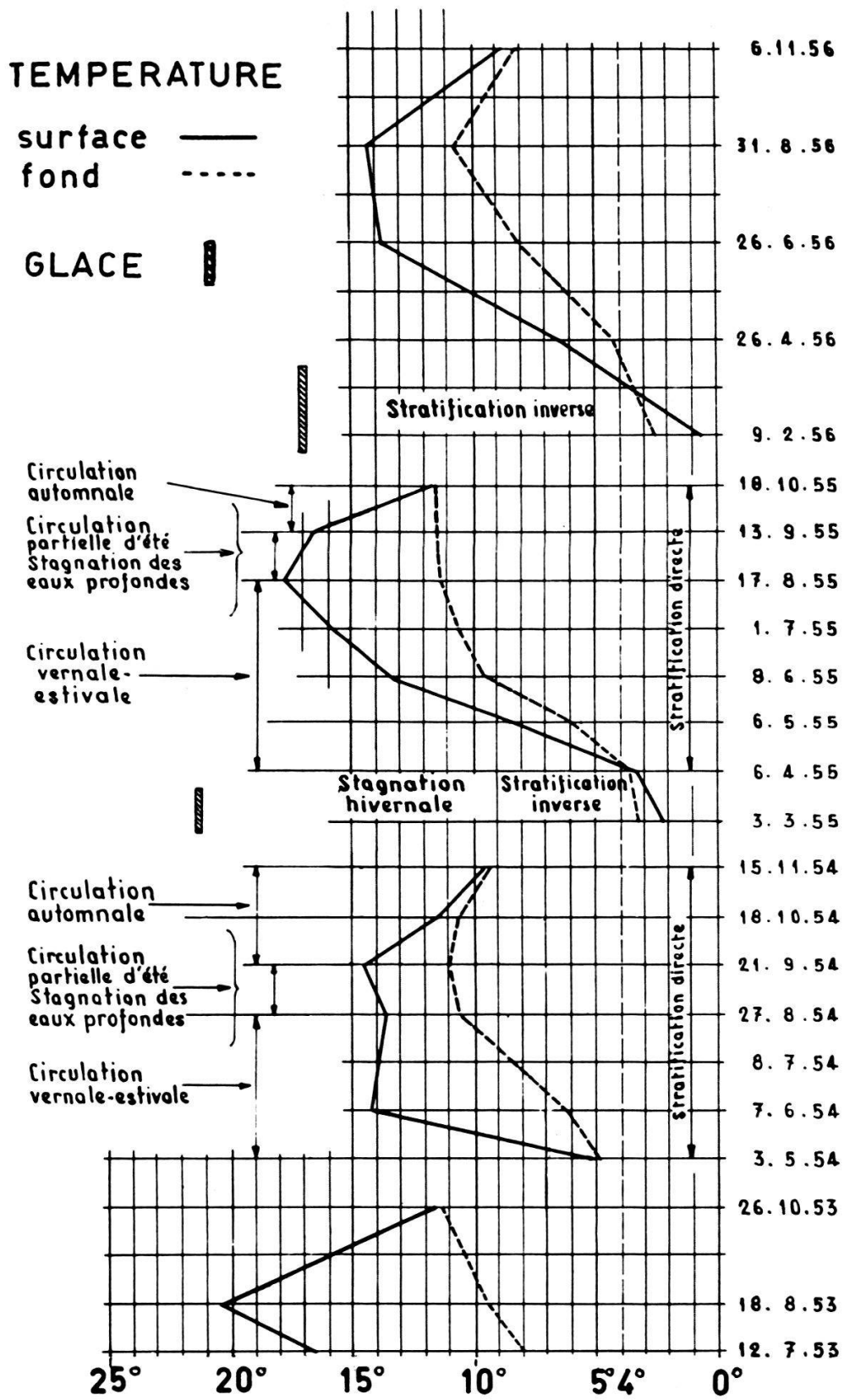


Fig. 2. — Lac de Joux : Marche de la température et mouvement de l'eau à la station centrale « E » (600 m sud des entonnoirs de la Roche-Fendue, profondeur maximum : 33,5 m)

L'influence du vent sur un lac dépend de plusieurs facteurs. L'exposition du lac et la forme de sa cuvette jouent un grand rôle, facilitant ou entravant la transmission à la surface de l'eau du mouvement de l'air. Les lieux environnants (montagnes, collines, forêts) et les écrans riverains (baies, péninsules, îles), diversement dispersés, peuvent s'opposer à l'accès du vent au lac, les seconds également à la circulation de l'eau.

Cependant, dans tout lac soumis à l'action du vent, le facteur décisif est la stabilité de la stratification, conditionnée par la différence de densité des couches superposées. En fait, dans un lac stratifié, les courants de retour n'intéressent que la couche épilimnique ; ils ne peuvent dépasser la « barre » thermique que constitue le thermocline (fig. 3). La profondeur à laquelle ils apparaissent dépend de la force du vent et de l'équilibre de stratification qui doit être vaincu par l'eau refoulée en profondeur.

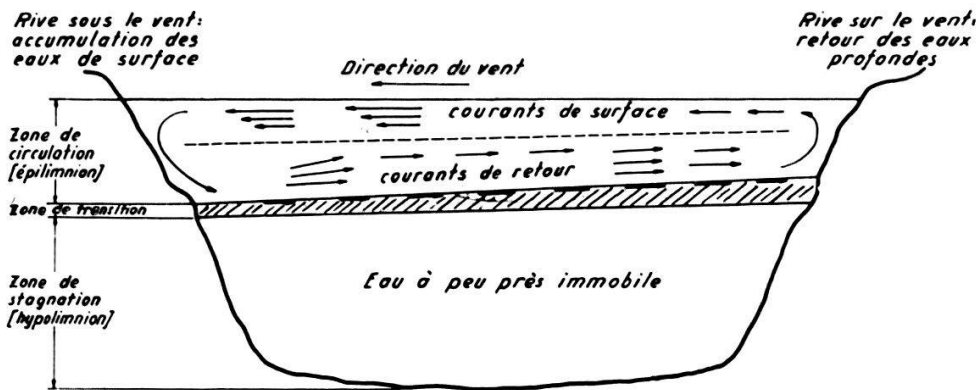


Fig. 3. — Représentation schématique des courants internes dans un lac stratifié soumis à l'action du vent

D'autre part, le thermocline — qui indique la limite du réchauffement et du refroidissement journaliers — est généralement de puissance variable d'un point à l'autre ; de même, il existe des irrégularités dans la distribution thermique, en sorte que les plans isothermes de la couche épilimnique ne sont pratiquement jamais horizontaux.

Une autre cause influant sur la thermique lacustre, ce sont les courants des affluents, liés à la distribution de la densité. Lorsque les eaux courantes sont peu chargées de matières salines dissoutes et plus chaudes que les eaux lacustres, elles s'étalent à la surface du lac, en une nappe d'étendue plus ou moins considérable ; par contre, lorsqu'elles sont plus froides et accusent une forte charge tant en sels dissous qu'en alluvions en suspension, qu'elles sont par conséquent plus denses que l'eau limpide à température égale, elles s'enfoncent dans le lac, descendent dans des couches plus profondes que celles que leur assignerait leur température, et s'étendent en nappe horizontale au niveau d'une couche de même densité (phénomène de *convection hydrostatique*).

Dans le premier cas, la pénétration de l'affluent dans le lac se manifeste par un *courant de surface*, dans le second par un *courant de fond*. Selon les rapports de densité, régis par la température et la teneur en sels dissous et substances en suspension, des eaux du lac et de l'affluent, il peut y avoir antagonisme entre les deux courants ; une position d'équilibre s'établit entre surface et fond, sous forme d'un courant intermédiaire de mi-eau.

Ces *courants de densité*, dont l'intensité est essentiellement fonction du débit de l'affluent et de l'émissaire, peuvent être perturbés par les courants dus à l'action du vent.

L'Orbe, qui se jette dans le lac de Joux, par le courant de fond engendré, joue un rôle prépondérant dans le réchauffement des couches profondes. Cette influence des eaux de l'Orbe, riches en bicarbonate calcique et chargées de particules minérales en suspension, ressort des observations suivantes. Après avoir refroidi l'eau superficielle en pénétrant par le chenal sous-lacustre du Fil de l'Orbe, le courant de l'Orbe suit le fond de la beine méridionale, terrasse très étendue et peu profonde, descend le long du talus et gagne les couches profondes et plus froides. Les courbes de la figure 4 montrent qu'en 1954, comme en 1955, de mai jusqu'en août la température du Fil de l'Orbe demeure constamment inférieure à celle de la surface du lac.

De ce courant sous-lacustre, qui amène toujours plus de chaleur à mesure que la saison s'avance, résulte une élévation progressive de la température des eaux profondes, qui atteint 11,5-11,6°C à la fin de la stagnation estivale. A noter qu'au début de la phase de réchauffement, le débit de l'Orbe est élevé par suite de la fonte des neiges ; en outre, l'accumulation hydraulique est pratiquée dans le lac pendant les mois d'été.

Dans un lac de grande étendue et profond, cet effet serait peu sensible. Mais dans le lac de Joux, étant donné sa profondeur relativement faible (33,5 m par rapport à la cote maximum 1005,00 m) et l'importance du bassin d'alimentation (211 km²) par rapport à la superficie du lac (8,67 km²), cette influence est manifeste. A l'action directe de la rivière en profondeur vient s'ajouter le réchauffement général favorisé par l'intervention des vents dominants, souffles du NE et SW.

En plus des courants lacustres signalés, il existe d'autres mouvements : les *seiches* et les *marées*. Rappelons que les seiches, dont l'origine principale est la variation locale de la pression atmosphérique, sont des vagues d'oscillation qui soulèvent l'eau du lac soit le long de son axe (seiches longitudinales), soit dans sa section transversale (seiches transversales). Dans chaque catégorie, il y en a de deux espèces, selon qu'elles présentent un ou deux nœuds sur leur étendue. Quant aux courants de marée, décelables dans certains lacs, ils sont dus à l'attraction luni-

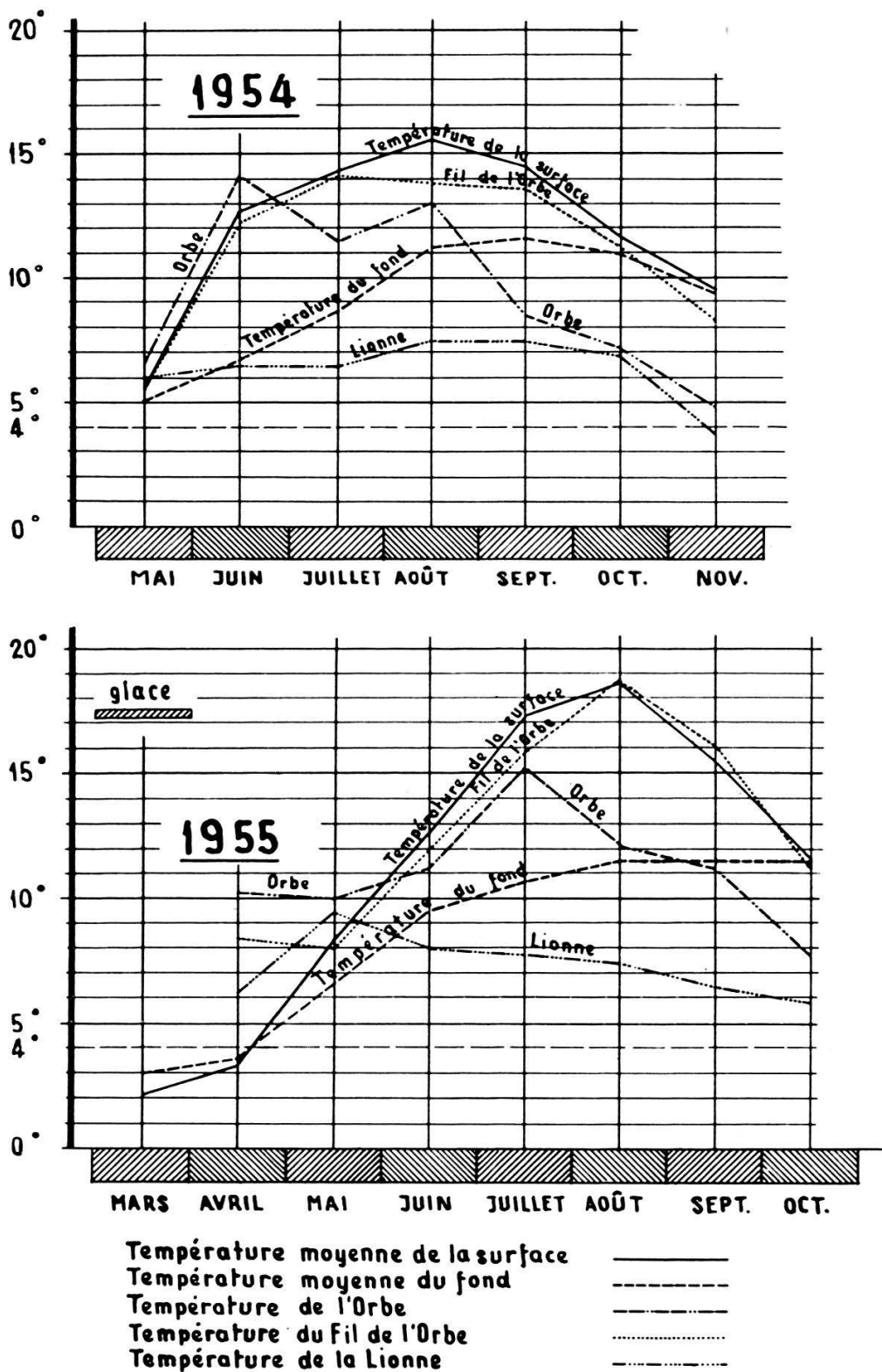


Fig. 4. — Lac de Joux : Températures moyennes du fond et de la surface. Températures de l'Orbe au pont des Crêtets, du Fil de l'Orbe (850 m NE de l'embouchure de l'Orbe), et de la Lionne au pont vers la fabrique de limes de L'Abbaye

solaire. Seiches et marées constituent des dénivellations périodiques, de faible amplitude, souvent masquées par des courants ayant d'autres origines.

En résumé, dans nos régions tempérées, la masse lacustre présente alternativement deux phases : l'une de *stratification*, lors du réchauffement de l'eau plus chaude que 4° ou du refroidissement de l'eau plus froide que 4°C ; l'autre d'*uniformisation*, dans les circonstances opposées. Cette action d'uniformisation résulte de l'intervention des phénomènes de conduction et de convection.

D'autre part, même pendant les périodes d'équilibre thermique, ou de stagnation, le milieu lacustre est perturbé par des causes extérieures d'origines diverses, notamment par les vents et les affluents. Aussi la masse d'eau est en continuel mouvement par suite des courants prenant naissance en son sein. Ces courants mélangent les couches et modifient la régularité de la stratification thermique.

En ce qui concerne la *classification des lacs au point de vue thermique*, rappelons que depuis FOREL, on distingue trois types de lacs, selon la nature des variations annuelles de leur température :

- a) *Type polaire ou froid* : lacs à stratification thermique inverse, dont la température — tant en surface qu'en profondeur — reste toujours inférieure à 4°C, même en été.
- b) *Type tempéré* : lacs à stratification thermique alternante, dont la température est tantôt au-dessus de 4°, tantôt au-dessous de 4°C. *Exemples* : lacs de Joux et Brenet.
- c) *Type tropical ou chaud* : lacs à stratification thermique directe, dont la température superficielle ne descend jamais au-dessous de 4°C. *Exemples* : Léman et lac de Neuchâtel.

Il faut ici souligner une constatation intéressante. Les observations systématiques effectuées depuis six ans par les laboratoires cantonaux de Neuchâtel et de Vaud montrent que la température de surface dans le lac de Neuchâtel n'est jamais inférieure à 4°, sauf cas tout à fait exceptionnels. Au cours de cette série d'observations, des températures de 3,7-3,8° — entre 0 et 2 m — ont été enregistrées une seule fois, au début de 1962, dans deux secteurs très localisés : au large de Cheseaux (Noréaz) dans le haut lac, et non loin de l'embouchure de la Broye. L'influence des courants de la Thielle et de la Broye, déviés par la force de Coriolis, paraît manifeste.

Chaque catégorie de lacs peut se subdiviser en deux ordres, suivant la profondeur du lac ou, mieux, selon les variations de température du fond.

La profondeur du lac, plus exactement la profondeur moyenne exprimant la relation entre le volume des eaux et la surface du lac,

joue un rôle prépondérant. Dans un lac profond, les gains et pertes de chaleur sont répartis, par unité de surface, dans une grande masse d'eau ; tel n'est pas le cas dans les lacs peu profonds. Cela étant, dans les premiers les variations saisonnières de la température atmosphérique ne se répercutent pas jusqu'au fond ; dans les seconds, au contraire, elles se manifestent dans toute l'épaisseur du lac.

En conséquence, les deux ordres que l'on distingue sont :

1^{er} ordre : lacs de grande profondeur, dont la température des eaux de fond reste constante ou varie peu.

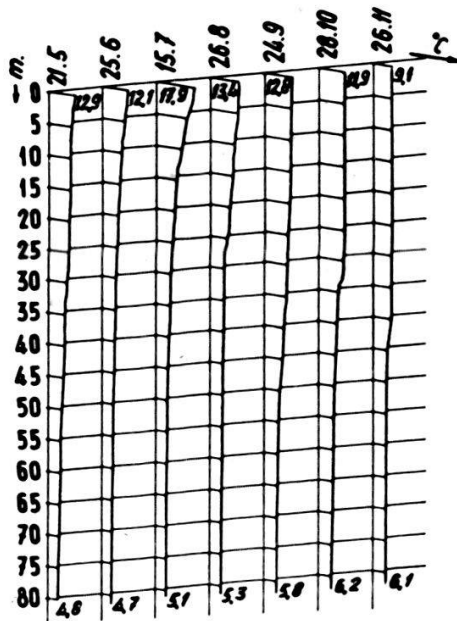


Fig. 5

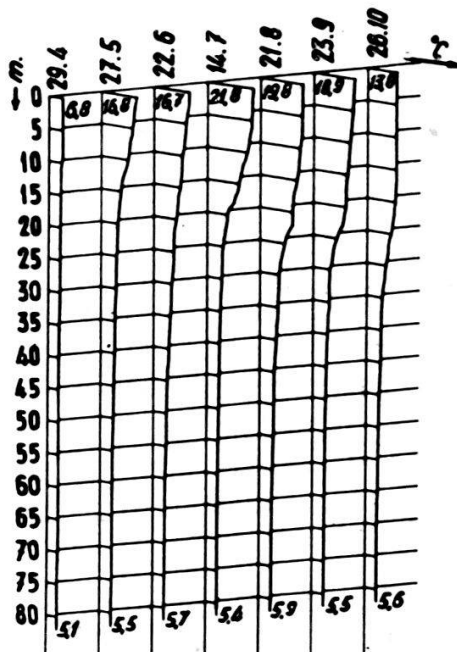


Fig. 7

Ainsi, dans le lac de Neuchâtel, d'une profondeur maximum de 154 m, les sondages thermométriques exécutés mensuellement de mai 1957 à octobre 1959 à la station N, où la profondeur atteint 82 m, indiquent de faibles fluctuations de la température de la zone profonde du haut lac ; l'amplitude de la variation annuelle oscille entre 0,8° et 1,4° (fig. 5-7).

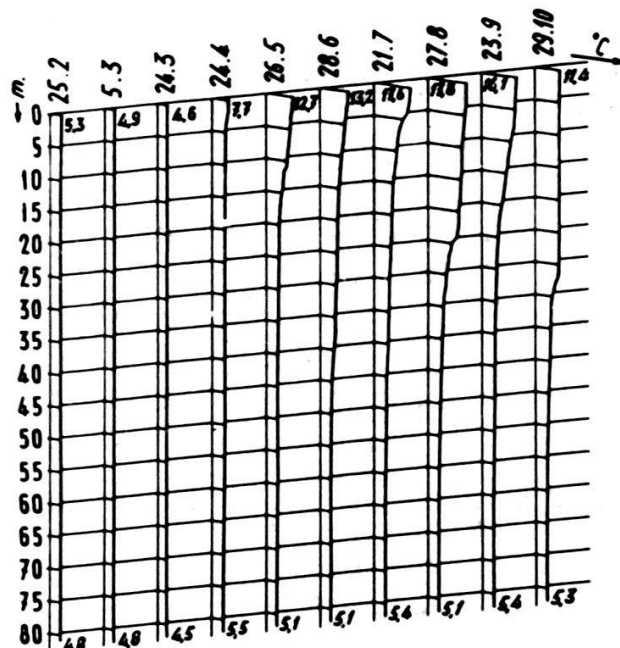


Fig. 6

Fig. 5, 6 et 7. — Lac de Neuchâtel : Distribution de la température à la station « N » (1,150 km SE de l'embouchure de l'Arnon, profondeur maximum : 82 m) en 1957 (5), en 1958 (6) et 1959 (7)

2^e ordre : lacs de faible profondeur, où la température du fond varie notablement.

Dans le lac de Joux, par exemple, les observations faites de juillet 1953 à novembre 1956 dans la cuvette centrale, profonde de 31-33 m, indiquent une amplitude de 9,1°. Ce lac présente, par conséquent, de fortes variations de la température des eaux de fond, qui suivent d'assez près celles de la température de surface (fig. 2 et 8).

La stratification thermique et les mouvements de l'eau ont des conséquences importantes sur les caractères physico-chimiques et la population microbiologique des eaux des lacs. Examinons les principaux faits.

Pendant les périodes de stratification thermique, le net gradient de température (donc de densité) au niveau du métalimnion empêche les eaux « légères » de surface de se mélanger avec les eaux « lourdes » de profondeur. Le thermocline sépare les eaux du lac en deux zones, épi- et hypolimnique. Par conséquent, durant la phase de stagnation, les couches profondes sont privées de tout apport d'oxygène et doivent vivre sur leurs réserves, jusqu'à la prochaine période de circulation. La quantité d'oxygène disponible s'épuise peu à peu, d'autant plus que les eaux profondes contiennent davantage de substances réductrices et que la phase de stagnation dure plus longtemps ; selon les circonstances, l'oxygène peut disparaître au voisinage du fond et même dans les couches susjacentes. Les eaux superficielles, au contraire, en contact avec l'atmosphère, brassées par les vents et les vagues, sont pratiquement toujours saturées d'oxygène ; elles peuvent même être le siège de fortes sursaturations, par suite de la photosynthèse d'algues très abondantes.

Les phénomènes de circulation jouent un rôle essentiel dans le ravitaillement des lacs en oxygène, surtout lorsqu'ils produisent un brassage général des eaux. En se mélangeant aux eaux profondes, celles de surface — donc saturées d'oxygène — permettent au lac de refaire sa provision d'oxygène, au printemps et en automne dans le cas des lacs tempérés.

La *circulation* est dite *totale* (holomixie) lorsqu'elle se produit dans tout le volume du lac. Du fait que l'eau est en mouvement de la surface jusqu'au fond, l'oxygène atmosphérique est apporté en chaque point du lac jusqu'au niveau des sédiments, rendant ainsi possibles les processus d'oxydation à la surface de la vase. La *circulation* est *partielle* (méromixie) lorsqu'elle n'a lieu que dans un volume restreint du lac. Il arrive, en effet, que les échanges considérés intéressent seulement la partie superficielle du lac, tandis que les eaux profondes demeurent stagnantes.

En fait, les *lacs méromictiques* correspondent à la superposition de deux masses d'eau de compositions chimiques différentes, chacune d'elles ayant sa propre vie. La différence de concentration entre les eaux de

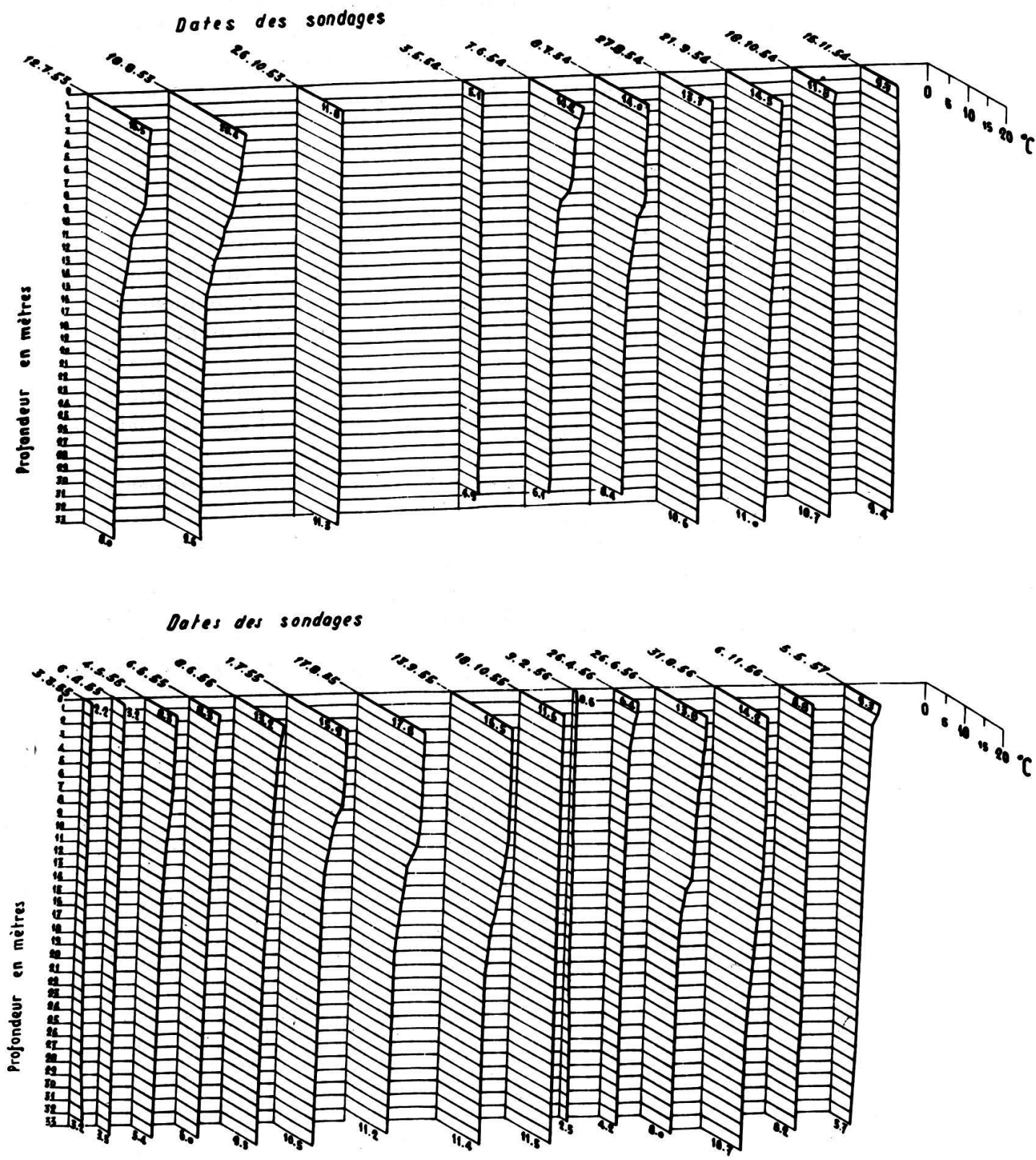


Fig. 8. — Lac de Joux : Diagrammes des températures à la station centrale « E » (600 m sud des entonnoirs de la Roche-Fendue, profondeur maximum 33,5 m)

surface et celles de fond peut résulter d'infiltrations d'eau souterraines, de la dissolution de roches du bassin lacustre, ou de phénomènes biologiques qui enrichissent en électrolytes les eaux de fond. Il se crée ainsi une « couche lourde et morte », qui ne participe plus aux brassages totaux. Dans les *lacs holomictiques*, au contraire, la différenciation en couches n'intervient qu'en période de stagnation, estivale ou hivernale.

Quant aux courants lacustres, ils jouent un rôle très efficace, non seulement dans le mélange des eaux, mais aussi dans les échanges qui s'opèrent au sein de la masse lacustre. Ils influent notamment sur la répartition des germes et des organismes planctoniques, en favorisant leur migration (passive) dès la région littorale vers la profondeur et même, suivant les circonstances, en perturbant de façon profonde cette répartition.

Rappelons enfin que la température intervient d'une manière sensible dans le développement et la répartition des organismes peuplant le milieu lacustre.

En bref, l'influence des phénomènes thermiques et des mouvements des eaux des lacs, sur le milieu, est considérable.

LITTÉRATURE

- BOSSET, E. 1961. — Le lac de Joux. Etude hydrologique du bassin. Recherches de mai 1953 à avril 1957. Thèse Fac. Sciences, Univ. Lausanne.
- DAMAS, H. 1955. — L'eau des lacs. *Livre de l'eau*, 2. Centre belge d'étude et de documentation des eaux. Liège.
- FOREL, F.-A. 1895. — Le Léman. Monographie limnologique, 2. Rouge, Lausanne.
- IMBEAUX, E. 1935. — Qualités de l'eau et moyens de correction. Dunod, Paris.
- OLSZEWSKI, P. 1951. — The thermal conditions of mountain lakes. *Bull. Académie polonaise des sciences et lettres*.
- SOLLBERGER, H. 1960. — Quelques problèmes posés par le lac de Neuchâtel. *Bull. Soc. neuch. de géographie*, 52.
- SYMOENS, J. 1950-1951. — Quelques acquisitions récentes en limnologie. Quelques données sur la biologie des lacs. *Les Naturalistes belges*, 31 et 32. Impr. médicale et scientif., Bruxelles.