**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
**Herausgeber:** Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
**Band:** 61 (1936)

**Artikel:** Recherches hydrobiologiques sur le lac de Morat
**Autor:** Rivier, Odette
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-88727

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 01.07.2025

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

# RECHERCHES HYDROBIOLOGIQUES SUR LE LAC DE MORAT

PAR

ODETTE RIVIER

AVEC 16 GRAPHIQUES, 5 FIGURES DANS LE TEXTE ET 2 PLANCHES HORS TEXTE

## INTRODUCTION

Le lac de Morat a retenu l'attention de plusieurs naturalistes, tels que Forel, Imhof, Chodat, Bachmann, Burckhardt et, plus anciennement, de P. de Candolle. En 1825 déjà, ce dernier signalait dans ce lac la présence du « Sang des Bourguignons ». Forel, en 1879-1880, fit des mesures de températures dans le lac de Morat, étudia sa couleur, sa teneur en acide carbonique et en carbonates. Chodat (1897) le rapproche des lacs du Holstein et étudie son phytoplancton, Bachmann aussi s'occupe de ses algues microscopiques. Imhof et Burckhardt examinent sa population pélagique.

Mais une étude régulière et suivie de ce lac, échelonnée sur bien des mois, manquait encore. C'est cette lacune que j'ai tenté de combler.

Le travail qui va suivre a été fait à l'Institut de zoologie de l'Université de Neuchâtel, d'avril 1934 à janvier 1936. Les observations directes du lac ont été faites, une fois par semaine, si possible, de ce même mois d'avril jusqu'en novembre 1935.

Le professeur O. Fuhrmann a dirigé ce travail avec la bienveillance et la compétence que chacun lui connaît. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Merci aussi à M. Th. Delachaux, qui m'a aidée à déterminer les animaux et les algues récoltés; au Dr H.-J. Elster, directeur de l'Institut für Seenforschung, à Langenargen (Bodensee), chez qui j'ai fait plusieurs stages; au Dr Hans Bachmann, à Lucerne, qui m'a aidée dans la détermination, souvent délicate, du phytoplancton; au Dr E. Piguet pour la détermination des Oligochètes; à M. E. Guyot, directeur de l'Observatoire de Neuchâtel, pour les renseignements météorologiques qu'il m'a fournis, ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont parfois accompagnée sur le lac et aidée de toutes façons.

CHAPITRE I

# Relations morphologiques, géographiques et géologiques.

Le lac de Morat est situé sur le Plateau suisse; il est séparé du lac de Neuchâtel par le Vully. Sa forme est à peu près rectangulaire, sa plus grande dimension étant orientée du N.E. au S.W. Sa longueur est comprise entre 8 et 9 km., sa largeur entre 2,5 et 3 km.; le développement de ses côtes est de 20 km.; sa plus grande profondeur est d'environ 46 m. (entre Guévaux et Môtier), sa profondeur moyenne de 25 m., sa surface moyenne de 22,9 km$^2$; son volume de 0,58 km$^3$ [1].

L'altitude moyenne du lac de Morat est de 429$^m$,87 (1892 à 1934). Il est situé entre 46° 57′ 30″ et 46° 54′ 20″ de latitude N. et entre 7° 01′ 60″ et 7° 08′ 00″ de longitude E. Greenwich.

Le lac de Morat formait, à l'époque post-glaciaire, un seul lac avec ceux de Neuchâtel et de Bienne. Cette nappe d'eau recouvrait les vallées de la Thielle, de la Broye et de l'Aar et s'étendait de Moudon et d'Entre-Roche, d'un côté, à Wangen-sur-Aar, de l'autre. La colline de Jolimont formait une île et celle qui longe la rive droite du lac de Neuchâtel, jusqu'au Vully, une presqu'île. Actuellement, les caractères des lacs de Neuchâtel et de Morat sont totalement différents, le premier étant oligotrophe, le second eutrophe. Le lac de Morat est situé exclusivement dans la molasse; d'après Monard, il est dû à l'érosion glaciaire. Le relief du fond est simple; sur la ligne médiane existe une crête, parallèle à la longueur du lac, qui se dirige depuis la rive S.W. jusqu'à la moitié de la longueur du lac. Cette arête, de 10 m. environ de hauteur, est assez étroite. Le principal affluent est la Broye, grossie de la Petite Glâne; comme petits affluents, le lac reçoit : le Chandon, les ruisseaux de Vallamand, Guévaux, Môtier, Praz, Nant, Löwenberg, Montilier, Villars-les-Moines, Meyriez et Greng. Le seul émissaire est la Broye qui se rend dans le lac de Neuchâtel.

## Régime hydrographique.

Le régime actuel du lac résulte de la correction des eaux du Jura, exécutée de 1867 à 1890.

[1] Trois cotes sont employées dans la région pour fixer l'altitude : la cote de l'ancien Atlas topographique fédéral (R. P N. = 376$^m$,86), celle du nouvel Atlas (R. P. N. = 373$^m$,60) et celle admise par l'Etat et la ville de Neuchâtel, de 2$^m$,81 inférieure à celle de l'ancien Atlas et de 45 cm. supérieure à celle du nouvel Atlas. Suivant l'exemple de S. de Perrot, j'ai employé cette dernière.

Les renseignements topographiques m'ont été obligeamment communiqués par le Service topographique fédéral et le Service fédéral des eaux.

D'après Du Pasquier (1891-1895) (**13**) et de Perrot (1895-1925) (**38**), le niveau le plus élevé du lac a été, depuis 1891, de 431$^m$,65 le 19 juillet 1910 et le plus bas de 428$^m$,41 le 24 février 1891. L'amplitude des variations serait donc de 3$^m$,24. L'élévation maximum constatée en 24 heures est de 76 cm. (25-26 décembre 1916).

En général le niveau du lac de Morat est plus élevé que celui du lac de Neuchâtel, mais il peut arriver que l'inverse se produise et que la Broye reflue dans le lac de Morat.

Pendant la période qui intéresse ce travail, les fluctuations ont été les suivantes :

| | Maximum | Minimum | Ecart |
|---|---|---|---|
| 1934 | 429$^m$,97 le 23 mars | 428$^m$,94 les 12 et 13 janv. | 1$^m$,03 |
| 1935 | 430$^m$,73 le 5 déc. | 429$^m$,12 le 2 février | 1$^m$,61 |

Moyenne de 1898 à 1934 : 429$^m$,88.

Le lac fut donc bas en 1934 et moyen en 1935.

## Couleur.

D'après Forel, la couleur du lac de Morat correspond aux degrés X-XI de son échelle, « avec une teinte brunâtre en plus » (lac de Neuchâtel VI-VII).

Pendant la période qui nous occupe, cette couleur fut largement modifiée à deux reprises par la floraison d'algues. En été, *Microcystis aeruginosa* se développa en telles quantités que, dans les endroits abrités, le lac semblait recouvert d'un tapis vert-jaune.

La couche rouge sang qu'*Oscillatoria rubescens* forme sur le lac est bien connue. On l'appelle « Sang des Bourguignons », en souvenir de la bataille de Morat. Cette apparition a eu lieu en automne 1935. L'eau du lac entier avait une coloration brun rougeâtre, même aux endroits où l'algue ne formait pas de taches.

## Transparence.

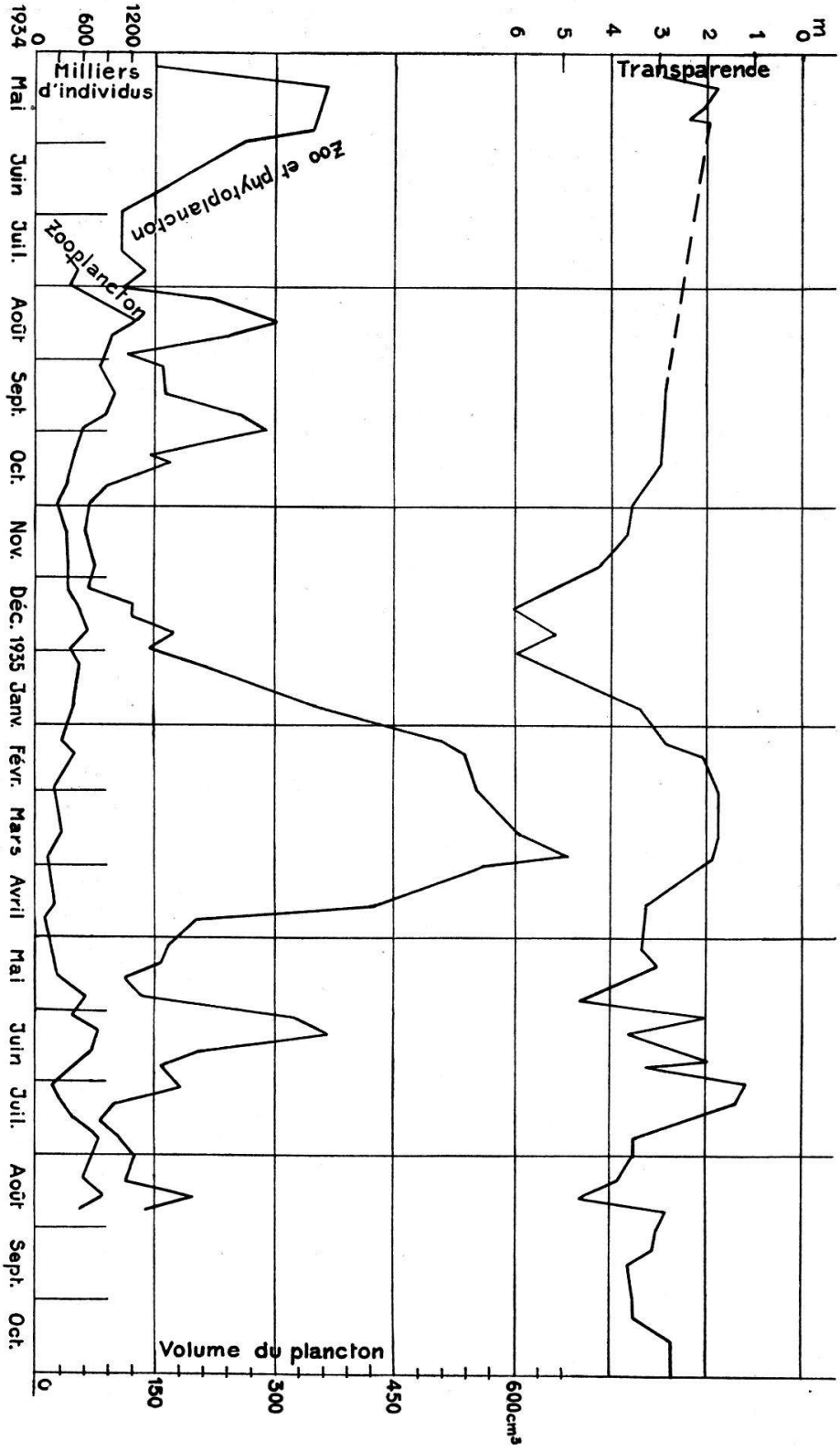
*Moyennes mensuelles.*

| 1934 | Avril | Mai | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2$^m$,05 | 2$^m$,15 | 2$^m$,80 | 3$^m$,20 | 3$^m$,90 | **5$^m$,60** |

| 1935 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Janv. | Févr. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Sept. | Oct. |
| 3$^m$,30 | 2$^m$,15 | **1$^m$,75** | 3$^m$,20 | 3$^m$,65 | 2$^m$,70 | 1$^m$,95 | 4$^m$,00 | 3$^m$,40 | 3$^m$,10 |

J'ai mesuré la transparence par la méthode bien connue du disque de Secchi. Elle varie de 1$^m$,10 (2 juillet 1935) à 6 m. (12 décembre 1934). (Graphique I.) [1]

[1] Dans les pêches de 40 à 0 m., les quantités de plancton, exprimées en cm$^3$ ou en milliers d'individus, se rapportent à une colonne verticale de 1 m$^2$ de section.




Gr. I. Variation annuelle de la transparence et de la quantité de plancton. Pêches de 40 à 0 m.

Voici, à titre de comparaison, la transparence maximum de quelques lacs :

| | | |
|---|---|---|
| Garde et Léman . . . . . | 22 | mètres |
| Quatre-Cantons . . . . . | 18 | » |
| Wallenstadt . . . . . | 16 | » |
| Neuchâtel, Saint-Moritz, Annecy, Sempach | 11 | » |
| Zurich . . . . . | 9,4 | » |
| Baldegg . . . . . | 8 | » |
| Lützelsee . . . . . | 6 | » |
| Bret, Greifensee . . . . . | 5,5 | » |
| Katzensee . . . . . | 4,5 | » |

Le lac de Morat est donc peu transparent.

Thienemann distingue deux types de lacs. Pour les premiers, le minimum de transparence coïncide avec le maximum de développement du plancton; dans ces lacs-là, la transparence est plus grande dans les mois d'hiver que dans les mois d'été. Le second type comprend les lacs pauvres en plancton, dont la transparence dépend presque uniquement de l'apport dû aux précipitations atmosphériques; elle présente son maximum en été et son minimum en hiver.

Pendant la plus grande partie de l'année, le lac de Morat appartient au premier type. La moyenne de la transparence pour la période d'avril à septembre 1935 est de $2^m,70$, tandis qu'elle est de $3^m,30$ pour les mois d'octobre à mars. Mais, comme dans le lac de Plön, la transparence diminue fortement en hiver par suite du grand développement des Diatomées *(Melosira)* en février et en mars.

Durant la période de mai à août 1935, le lac appartient au second type. La limite de visibilité semble dépendre plutôt des précipitations. La quantité de plancton est beaucoup plus faible que précédemment; en juillet et en août, on n'a presque plus de phytoplancton. (Graphique I.) Le niveau du lac est élevé en juin et au début de juillet par suite des précipitations, qui, par ruissellement, entraînent des poussières dans le lac et dans ses affluents. (La transparence minimum de $1^m,10$ a été observée le lendemain d'un très violent orage accompagné de pluies diluviennes.) En août, le lac baisse et la transparence augmente.

La convection joue-t-elle un rôle, ou même le brassage produit par le vent, qui mélange les couches d'indices de réfraction différents? Certains auteurs le soutiennent, mais cette explication me semble douteuse.

De fin août à novembre 1935, *Oscillatoria rubescens* se développe de plus en plus et trouble l'eau; la transparence dépend de nouveau de la quantité de plancton.

A titre de comparaison, le 4 mai 1935, la transparence du lac de Neuchâtel était de 7 m.; celle de la Broye entre la Sauge et ce lac, de $1^m,60$ et celle du lac de Morat de $3^m,30$.

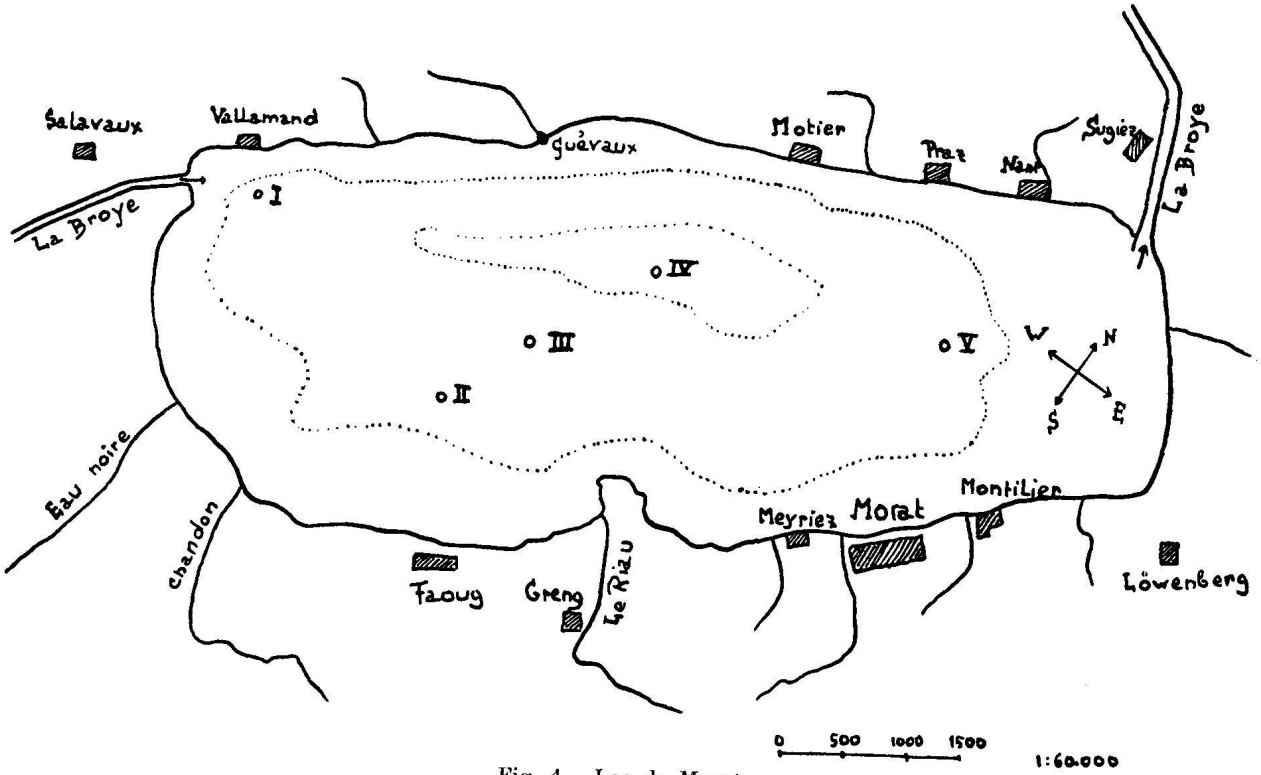



Fig. 1. Lac de Morat.

CHAPITRE II

# Thermique.

Les mesures de température ont été faites aux cinq stations représentées sur la figure 1, soit :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Station I : | profondeur | 23 | mètres |
| II : | » | 37 | » |
| III : | » | 28 | » |
| IV : | » | 43 | » |
| V : | » | 23 | » |

La station IV, où le lac atteint sa profondeur maximum (43 à 45 m.), a été visitée, autant que possible, une fois par semaine; les observations faites aux autres stations sont bien moins nombreuses. L'instrument utilisé était un thermomètre Negretti à renversement vérifié au dixième de degré, employé déjà par S. de Perrot sur le lac de Neuchâtel. Le bateau possédait une motogodille. Connaissant la vitesse du bateau, je calculais facilement le chemin parcouru et retrouvais assez exactement les stations en prenant des points de repère.

Sur les graphiques et tableaux qui suivent, 40 m. signifient le fond du lac, la profondeur réelle oscillant entre 43 et 45 m.

Le tableau I donne quelques observations de température à différentes stations et à différentes heures de la journée. La température superficielle varie le 29 mai 1934, par exemple, de 4°,5. Ces changements dépendent de l'heure et de l'état du temps. Les rayons du soleil, un refroidissement subit de l'atmosphère, causent une élévation ou une chute de température de la couche superficielle. Les couches situées plus bas demandent plus de temps pour se réchauffer.

Le graphique II représente les températures mesurées à la station IV de mai 1934 à novembre 1935. Les courbes de 20, de 30 et de 40 m. indiquent une température presque uniforme; la température à ces profondeurs n'est plus influencée directement par la chaleur solaire et varie par suite des courants produits par le vent et de la convection, processus très lent. Les températures des couches superficielles (0-10 m.) varient dans une bien plus large mesure.

Il ne faut d'ailleurs pas exagérer la valeur comparative de ces mesures, du moins de celles de la couche superficielle. Elles auraient dû être prises rigoureusement au même endroit et à la

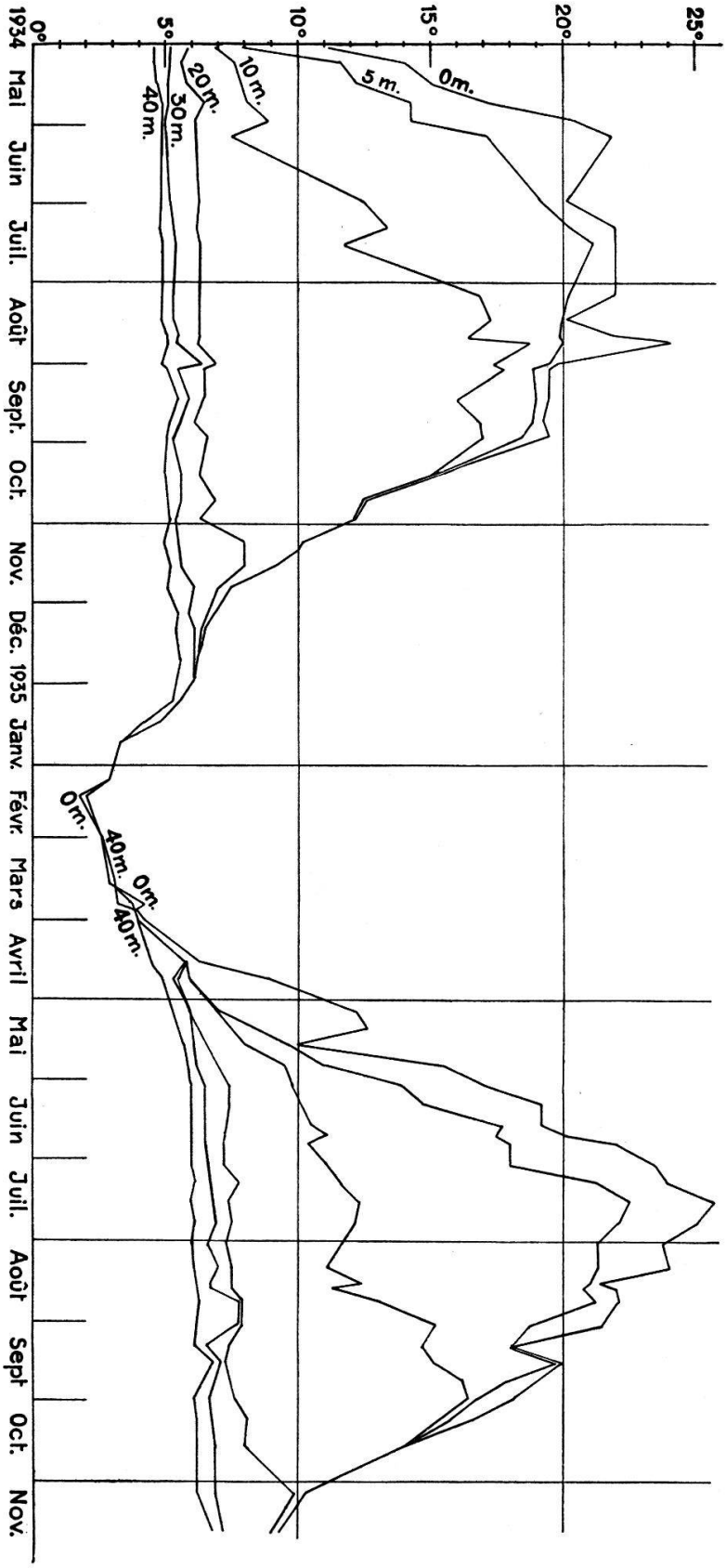
Tableau I

## *Températures à différentes stations le même jour*

| Temps (heures) | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Profondeur | IV c. s. | | | | | II c. s. | | I c. s. | | | | |
| m. | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | |
| 0 | 11,1 | .. | .. | .. | .. | 11,1 | 12,5 | 13,8 | .. | .. | .. | |
| 5 | 7,8 | .. | .. | .. | .. | 7,1 | 8,1 | 7,8 | .. | .. | .. | |
| 10 | 6,8 | .. | .. | .. | .. | 7,1 | 7,2 f | 6,2 | .. | .. | .. | 30 avril |
| 20 | 5,8 | .. | .. | .. | .. | 5,8 | .. | 5,9 f | .. | .. | .. | 1934 |
| 30 | 5,1 | .. | .. | .. | .. | 5,0 f | .. | .. | .. | .. | .. | |
| 40 | 4,5 f | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | |
| | II c. c. | III c. c. | | | IV c. s. | | | I v. c. | | | | |
| 0 | 12,1 | 13,1 | .. | .. | 14,0 | .. | .. | 16,5 | .. | .. | .. | |
| 5 | 10,5 | 10,3 | .. | .. | 11,5 | .. | .. | 7,2 | .. | .. | .. | |
| 10 | 6,8 | 7,0 | .. | .. | 7,5 | .. | .. | 6,2 | .. | .. | .. | 7 mai |
| 20 | 5,2 | 5,4 | .. | .. | 5,9 | .. | .. | 5,9 f | .. | .. | .. | 1934 |
| 30 | 5,0 f | 4,8 f | .. | .. | 5,1 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | |
| 40 | .. | .. | .. | .. | 4,5 f | .. | .. | .. | .. | .. | .. | |
| | | IV c. s. | | V c. s. | | | II c. s. | III c. s. | | | | |
| 0 | .. | 17,1 | .. | 19,3 | .. | .. | 19,2 | 19,9 | .. | .. | .. | |
| 5 | .. | 14,1 | .. | 13,0 | .. | .. | 13,1 | 13,0 | .. | .. | .. | |
| 10 | .. | 8,0 | .. | 8,6 | .. | .. | 8,9 | 8,3 | .. | .. | .. | 22 mai |
| 20 | .. | 6,4 | .. | 6,1 f | .. | .. | 6,2 | 6,0 f | .. | .. | .. | 1934 |
| 30 | .. | 5,0 | .. | .. | .. | .. | 5,9 f | .. | .. | .. | .. | |
| 40 | .. | 4,8 f | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | |

| Temps (heures) | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Profondeur | II c. s. | | III c. s. | | | IV c. s. | | | | I c. s. | | |
| m. | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | |
| 0 | 18,0 | .. | 18,4 | .. | .. | 20,4 | 20,8 | .. | .. | 22,5 | .. | |
| 5 | 15,9 | .. | 14,8 | .. | .. | 14,2 | .. | .. | .. | 16,4 | .. | |
| 10 | 8,6 | .. | 8,9 | .. | .. | 8,9 | .. | .. | .. | 9,6 | .. | 29 mai 1934 |
| 20 | 6,0 | .. | 6,9 | .. | .. | 6,0 | .. | .. | .. | .. | .. | |
| 30 | 5,2 f | .. | 6,1 f | .. | .. | 4,9 | .. | .. | .. | .. | .. | |
| 40 | .. | .. | .. | .. | .. | 4,8 f | .. | .. | .. | .. | .. | |
| | | | IV. c. s. | | | | | V c. c. | I c. c. | | | |
| 0 | .. | .. | 19,3 | .. | .. | .. | .. | 20,7 | 19,6 | .. | .. | |
| 5 | .. | .. | 18,9 | .. | .. | .. | .. | 19,1 | 18,8 | .. | .. | |
| 10 | .. | .. | 16,9 | .. | .. | .. | .. | 16,6 | 16,7 | .. | .. | 22 sept. 1934 |
| 20 | .. | .. | 6,1 | .. | .. | .. | .. | 6,2 f | 6,7 f | .. | .. | |
| 30 | .. | .. | 5,6 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | |
| 40 | .. | .. | 5,2 f | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | |
| | | | | | | | | IV c. s. | | II c. s. | I c. s. | |
| 0 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 25,1 | .. | 23,5 | 24,2 | |
| 5 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 22,1 | .. | 21,9 | 20,3 | |
| 10 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 12,2 | .. | 11,2 | 11,7 | 24 juillet 1935 |
| 20 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 7,5 | .. | 7,1 | 7,3 f | |
| 30 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 6,9 | .. | 6,9 f | .. | |
| 40 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 6,1 f | .. | .. | .. | |

*Explication des signes :* f. = fond.
c. s. = calme, soleil.
c. c. = calme, couvert.
v. c. = vent, couvert.




Gr. II. Températures.

Tableau II

## *Moyennes mensuelles de température*

| | 1934 | | | | | | 1935 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Prof. m. | **0** | **5** | **10** | **20** | **30** | **40** | **0** | **5** | **10** | **20** | **30** | **40** |
| | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° | ° |
| Janvier | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,2 |
| Février | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Mars | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,6 |
| Avril | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 6,5 | 5,5 | 5,5 | 4,9 | 4,9 | 4,5 |
| Mai | 16,0 | 11,5 | 7,5 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 13,0 | 10,0 | 8,5 | 6,5 | 6,0 | 5,5 |
| Juin | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 20,0 | 16,0 | 10,5 | 7,3 | 6,5 | 6,0 |
| Juillet | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 24,0 | 21,0 | 11,5 | 7,0 | 6,5 | 6,0 |
| Août | 21,5 | 19,5 | 17,5 | 6,6 | 5,5 | 4,9 | 23,0 | 20,5 | 12,5 | 7,7 | 7,0 | 6,0 |
| Septembre | 19,5 | 18,5 | 16,5 | 6,7 | 5,5 | 5,0 | 19,5 | 18,0 | 15,5 | 7,6 | 7,2 | 6,3 |
| Octobre | 15,5 | 15,0 | 14,0 | 6,6 | 5,5 | 5,2 | 15,0 | 14,5 | 14,5 | 8,4 | 6,8 | 6,8 |
| Novembre | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 6,6 | 5,7 | 5,2 | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Décembre | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,4 | 6,0 | 5,3 | .. | .. | .. | .. | .. | .. |

| Prof. m. | **0** | **5** | **10** | **20** | **30** | **40** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | ° | ° | ° | ° |
| Moy. ann. août 1934-août 1935 ..... | 12,2 | 11,0 | 9,2 | 5,8 | 5,3 | 4,9 |

même heure de la journée, ce qui n'était pas possible pour des raisons d'ordre pratique.

Les moyennes mensuelles (tableau II) ont été calculées à l'aide de ce même graphique, en arrondissant au demi-degré pour les couches supérieures à 20 m.; précision bien suffisante, étant donné les variations accidentelles considérables.

Février 1935 est le mois le plus froid, avec 3° à toutes les profondeurs; août le plus chaud, avec une température moyenne de 11°,1. Le maximum absolu fut observé le 16 juillet 1935 à 18 heures; la température à la surface était de 25°,7; en 1934, il n'était que de 24°,2 le 23 août à 11 heures. Le minimum mesuré, 1°,8, fut observé le 12 février 1934. Le lac était recouvert depuis la veille d'une couche de glace de 10 cm. dans les bords, de 2-3 cm. en avant, incapable de porter le poids d'une personne. Voici les résultats de l'observation :

12 février, 16 heures, soleil; profondeur : 42$^{m}$,7.

| | |
|---|---|
| Température de l'air . . | 1°,5 |
| 0 m. . . . . | 1°,8 |
| 5 m. . . . . | 2°,0 |
| 40 m. . . . . | 2°,0 |

Les jours suivants, le temps se radoucit et le lac dégela complètement; le 19 février cependant, il était de nouveau recouvert d'une très mince couche de glace.

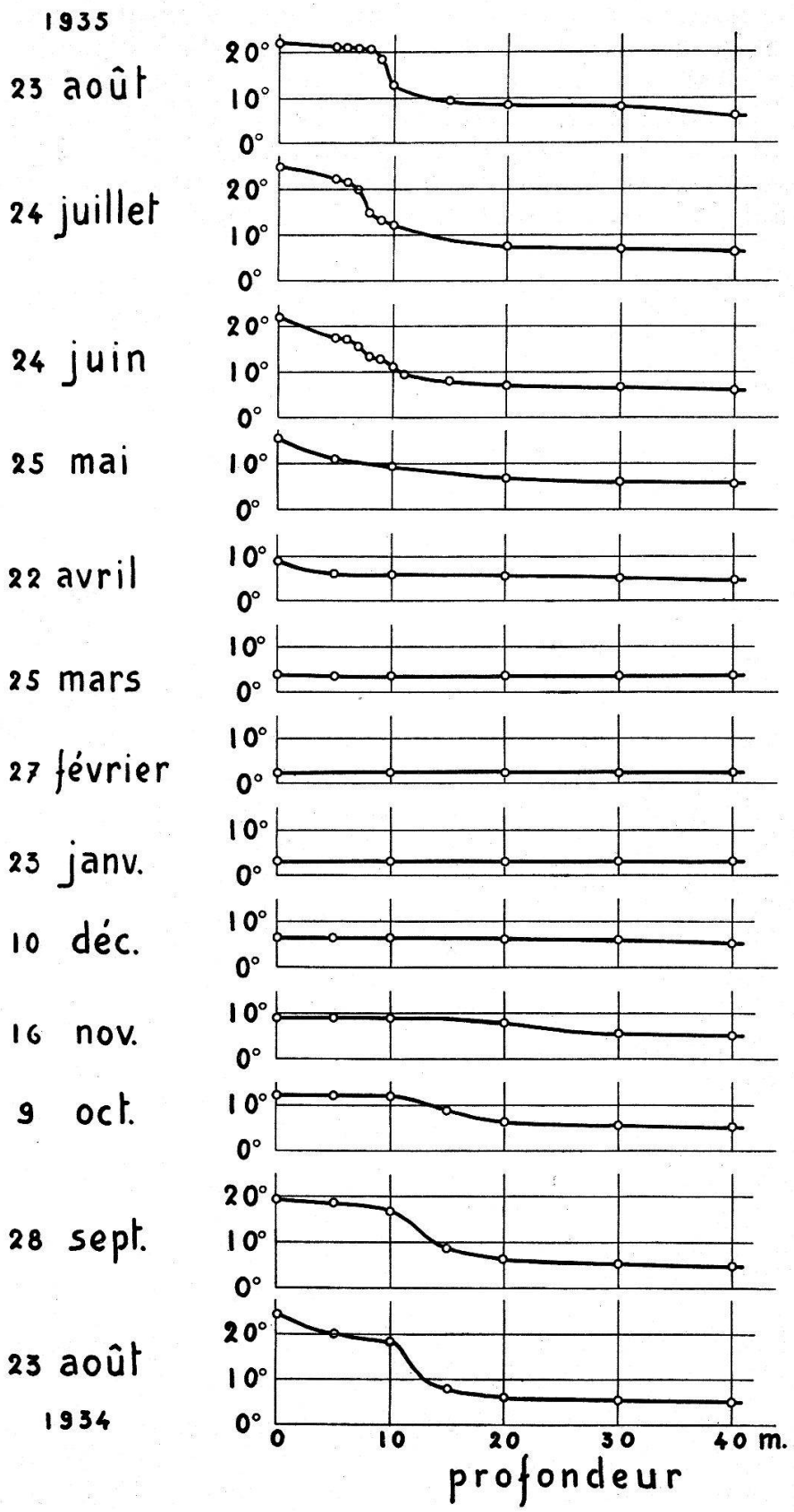
19 février, 12 heures, soleil; profondeur : 12 m.

| | | |
|---|---|---|
| Température de l'air . . | 4°,0 | |
| 0 m. . . . . | 3°,8 | (immédiatement sous la glace) |
| 12 m. . . . . | 2°,5 | |

Le soleil, déjà chaud, réchauffait très vite la couche superficielle. La glace, épaisse de 1 cm. environ, était très transparente et la limite de visibilité de 2 m. seulement; les rayons du soleil traversaient la glace et chauffaient la couche sous-jacente, rendue très absorbante par l'abondance du phytoplancton.

On sait qu'en été la température d'un lac ne s'abaisse pas d'une façon régulière de la surface au fond, mais tombe brusquement de plusieurs degrés à une certaine profondeur. Cette zone, caractérisée par un brusque saut de température, s'appelle *couche de saut thermique* (Sprungschicht). Thienemann appelle *épilimnion* la couche qui va de la surface à la couche de saut thermique, appelée aussi *métalimnion*. L'*hypolimnion* est la zone située au-dessous du métalimnion et s'étendant jusqu'au fond du lac.

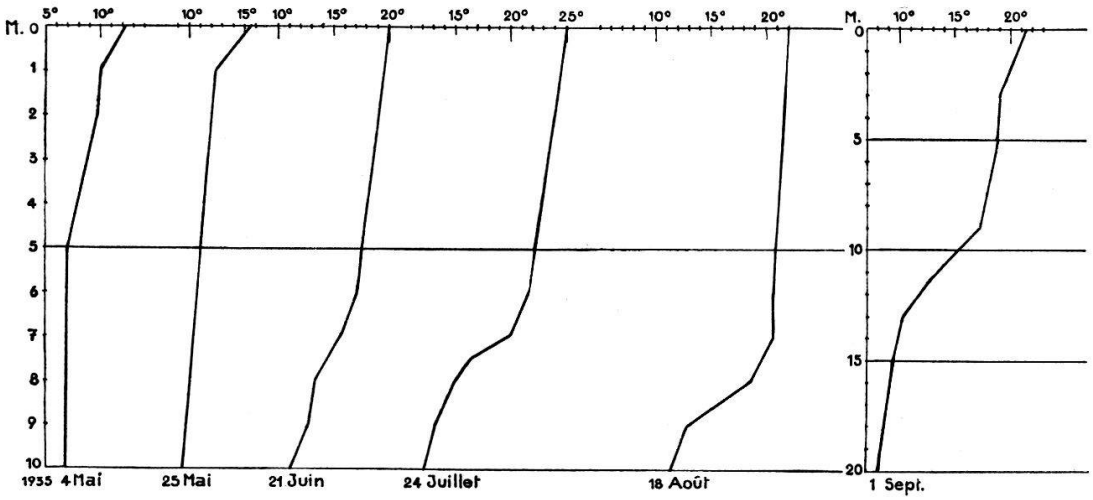
L'examen du graphique III montre que la couche de saut thermique est extrêmement apparente en été et disparaît en hiver, fait relevé par d'autres auteurs.




Gr. III. Couche de saut thermique.

On remarque de plus que, d'une façon générale, cette couche s'éloigne de la surface lorsqu'on passe de l'été à l'automne.

Pour préciser, j'ai étudié l'épilimnion et la couche de saut thermique de mètre en mètre en 1935. (Graphique IV.) On y voit plus nettement que sur le graphique général l'établissement progressif de la couche de saut thermique et la façon dont elle descend dans le courant de l'été. En septembre, elle se trouve entre 9 et 13 m.




Gr. IV. Couche de saut thermique (détail).

Durant un même jour, la couche de saut thermique peut varier de position suivant l'heure de prise des mesures. Le 23 août 1934, par exemple, à 11 h., elle se trouve entre 11 et 12 m. (écart 3°,9); à 18 h. entre 10 et 11 m. (écart 6°!). Il est très probable que ce phénomène est dû aux courants produits soit par le vent, soit même par l'arrivée de la Broye dans le lac.

C'est le 24 juillet et le 23 août que la chute est la plus marquée sur un petit espace :

24 juillet 1935 : différence de température de 4°,9 entre 7 et 8 m.
23 août 1934 : différence de température de 6° entre 10 et 11 m.

En été 1934, la couche de saut thermique s'est trouvée placée plus bas qu'en 1935, soit entre 10 et 15 m.

Le 23 août, il y avait une différence de température de 7°,3 entre 10 et 12 m.

Le 4 mai 1935, j'eus l'occasion de mesurer presque simultanément les températures suivantes :

*a)* Lac de Neuchâtel, 8 h., température surface: 7°,9; air: 11°.
*b)* Broye (La Sauge), 9 h., température surface: 10°,0.
*c)* Lac de Morat, 11 h., température surface: 12°,2; air: 14°.

La température de la Broye a été mesurée peu avant son entrée dans le lac de Morat :

| | | Broye | Lac de Morat | Air |
|---|---|---|---|---|
| *1934 :* | 6 août | 17°,8 | 23°,6 | 25°,0 |
| | 22 septembre | 15°,9 | 19°,6 | 19°,6 |
| *1935 :* | 23 août | 24°,2 | 24°,0 | — |
| | 17 octobre | 10°,5 | 15°,0 | 16°,0 |

La Broye est donc sensiblement plus froide que le lac, sauf le 23 août où les températures sont à peu près les mêmes; c'était à la fin d'une journée très chaude; le courant de la rivière était très faible et l'eau avait pu s'échauffer considérablement.

Il me semble intéressant de rapprocher mes mesures de celles que Forel a faites pendant les années 1879-1880 (**17**). Le lac de Morat gela subitement dans la nuit du 17 au 18 décembre 1879 et resta gelé jusqu'en mars 1880.

Forel, sur le lac gelé, choisit également quatre stations, dont l'une coïncidait exactement avec ma station IV.

Il trouva d'une station à l'autre, le même jour et à la même profondeur, des différences locales pouvant s'élever à 3 ou 4 dixièmes de degrés. Il fit également les mesures suivantes en août 1880 :

| Profondeur | Température |
|---|---|
| 0 m. | 19°,1 |
| 5 m. | 18°,8 |
| 10 m. | 18°,0 |
| 15 m. | 10°,8 |
| 20 m. | 9°,6 |
| 30 m. | 8°,9 |
| 35 m. | 8°,5 |
| 40 m. | 8°,0 |

Comparons les trois mois d'août 1880, 1934 et 1935 :

1880. Métalimnion entre 10 et 15 m.; temp. à 40 m. : 8°,0.
1934. Métalimnion entre 10 et 15 m.; temp. à 40 m. : 4°,9.
1935. Métalimnion entre 5 et 10 m.; temp. à 40 m. : 6°,0.

La période d'avril à août est celle du réchauffement du lac. En 1880, cette période fut calme et à peine plus chaude que la moyenne; en 1934, elle fut calme aussi, mais plus chaude que la moyenne; en 1935, elle fut pluvieuse et venteuse.

Voici les intensités moyennes, mesurées à l'Observatoire de Neuchâtel, des vents de différentes directions :

| | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août |
|---|---|---|---|---|---|
| 1880. | — | — | — | — | — |
| 1934. | 0,97 | 0,99 | 0,73 | 0,85 | 0,63 |
| 1935. | 1,29 | 1,15 | 1,04 | 1,28 | 0,89 |

En 1935, le brassage du lac fut donc bien plus énergique qu'en 1880 et 1934; l'insolation fut de 92 heures inférieure à celle de 1934. Ces causes suffisent-elles à expliquer les différences de position du métalimnion et les divergences de température abyssale? Je n'ai pas la prétention de résoudre cette question.

D'après Thienemann, un temps calme et chaud produit vite une stratification thermique; plus la chaleur et le calme de l'atmosphère persistent, plus l'épilimnion descend. Les années 1880 et 1934 vérifient cette hypothèse.

Forel et Chodat signalent que la température du lac de Morat peut atteindre 0° à toutes ses profondeurs. Forel, pendant un des hivers les plus froids qui aient jamais été enregistrés, ne paraît pas avoir constaté cette température; à 40 m., il a mesuré 2°,7. Le minimum observé en 1935 fut, à 40 m., de 2°,0. Cette assertion est donc loin d'être prouvée.

## CHAPITRE III

# Chimie.

Il existe d'étroites relations entre la composition chimique de l'eau des lacs et le plancton, puisque c'est de l'eau que les algues tirent leur nourriture. Cette composition varie suivant les lacs et les saisons.

Les prélèvements d'eau ont été faits au moyen de l'appareil de Friedinger, contenance 1 l. [1].

J'ai dosé :

a) *L'oxygène*, par la méthode de Winkler.

b) *Les carbonates*, d'après Klut; titration par l'acide chlorhydrique avec le méthylorange comme indicateur.

Par colorimétrie :

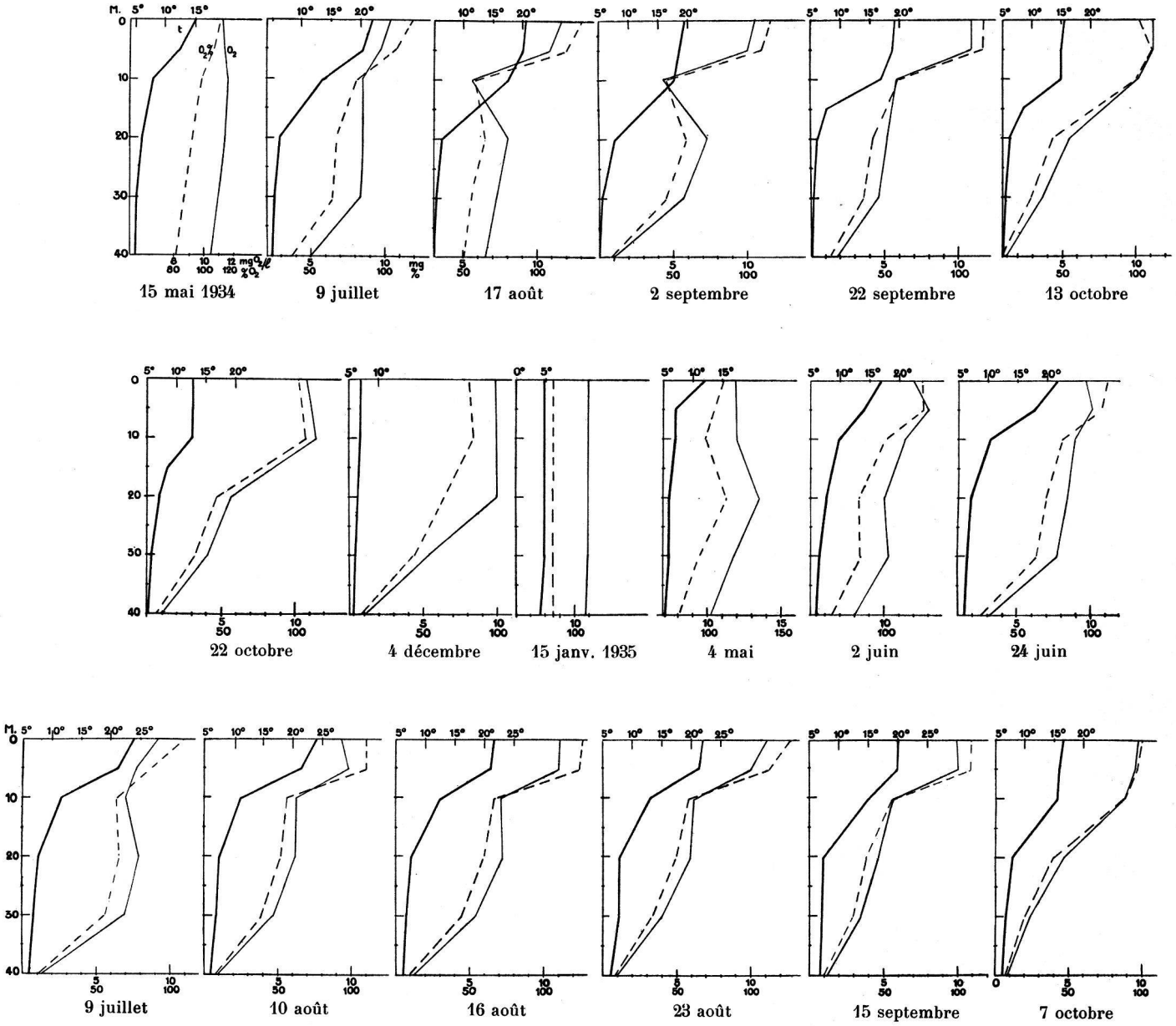
c) *Les phosphates*, d'après Denigès; coloration bleue par le molybdate d'ammonium et le chlorure stanneux en présence d'acide sulfurique.

d) *Les silicates*, d'après Winkler; coloration jaune par le molybdate d'ammonium en présence d'acide sulfurique.

e) *Les nitrites*, d'après Gries et Ilosvay; coloration rose par l'$\alpha$-naphtylamine et l'acide sulfanilique.

D'une façon générale, la teneur en sels dissous augmente avec la profondeur.

[1] Quelques essais d'analyse de l'eau de la Broye, peu avant son entrée dans le lac de Morat, ont été faits également; quoique peu nombreux, ils me semblent présenter un certain intérêt.




Gr. V. Oxygène et température.

## Oxygène.

Le tableau III et le graphique V montrent la répartition de l'oxygène suivant la profondeur pendant les différents mois.

A côté de la courbe d'oxygène exprimée en mg./l. se trouve la courbe des % de la quantité saturante, calculée d'après les tables de Maucha (**34**).

On voit que la couche de 0 à 10 m., habitée par le phytoplancton qui produit de l'oxygène par photosynthèse, est sursaturée de ce gaz de mai à octobre; puis, d'octobre à décembre, cette couche n'est plus même saturée; le phytoplancton accuse un minimum durant cette période. La circulation complète répand ensuite ce gaz à quantité à peu près égale dans toutes les profondeurs; la température, la quantité de plancton et celle d'oxygène sont les mêmes dans tout le lac. En mai, la stratification thermique est rétablie, la surface est à nouveau sursaturée d'oxygène, car le phytoplancton est abondant.

La couche superficielle, en contact avec l'atmosphère, peut contenir de 125 à 129 % d'$O_2$ (maximum obtenu pendant la seconde quinzaine d'août), le minimum absolu 81,5 % se place en décembre. Dans la zone profonde, l'oxygène sert à l'oxydation des matières organiques en décomposition; il devient extrêmement rare de fin juin à fin décembre (minimum absolu 7,3 %). (**37**.)

Ces caractères s'appliquent bien exactement à ceux d'un lac eutrophe, tel que le définit Thienemann.

En été, les courbes de température et d'oxygène sont à peu près parallèles, la quantité d'oxygène diminuant brusquement dans le métalimnion; le point à 15 m., particulièrement intéressant les 17 août et 2 septembre 1934, manque malheureusement; il est probable que la diminution d'oxygène s'étend jusqu'à cette profondeur. En automne, la circulation s'établit, causée par le refroidissement des couches superficielles et par le vent. L'oxygène descend alors peu à peu en profondeur avec les couches superficielles, il gagne le métalimnion et l'hypolimnion. Le 7 novembre, la teneur en oxygène est la même de 0 à 10 m.; le 4 décembre, de 0 à 20 m.; le 15 janvier, l'oxygène est également réparti de 0 à 40 m.; la circulation a atteint toutes les profondeurs.

La courbe d'oxygène à 40 m. (graphique VI) montre que le fond du lac est à peu près privé de ce gaz de juillet (en 1934, d'août) à décembre, soit pendant la période de stagnation estivale et de circulation partielle. En janvier, la circulation est terminée, la température est égale à toutes les profondeurs, le phytoplancton abondant dans toutes les couches. Le minimum d'oxygène à 40 m. se transforme subitement en un maximum, puisque des couches saturées se sont mélangées avec celles du fond.

Comment expliquer la diminution rapide de ce gaz dans le métalimnion? Plus la température s'abaisse, plus l'eau dissout d'oxygène, et cependant ces deux courbes sont parallèles dans la

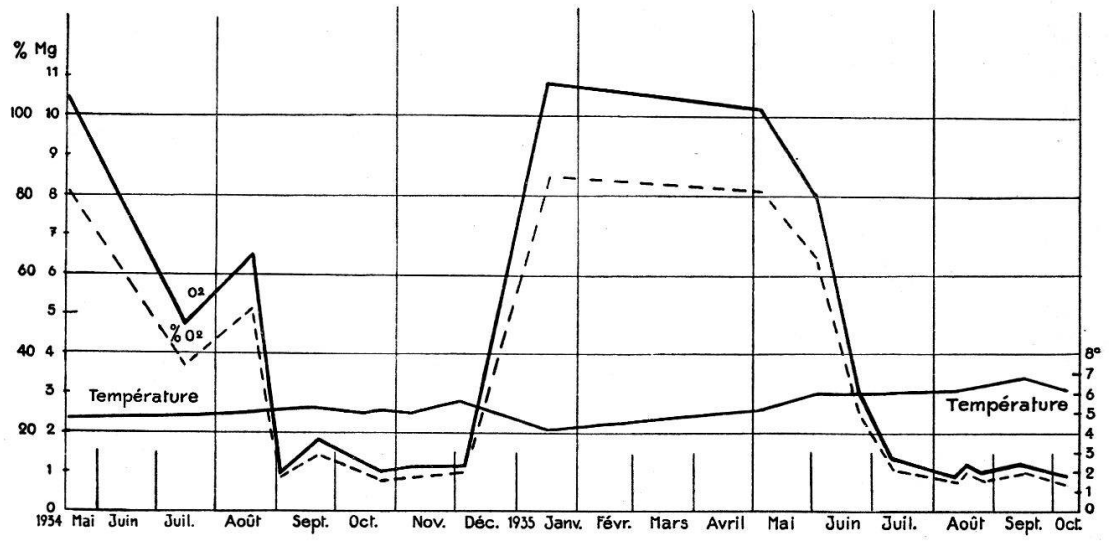
Tableau III

# *Oxygène mg./l.*

| | 1934 Mai 15 | | | Juillet 9 | | | Août 17 | | | Septembre 2 | | | Septembre 22 | | | Octobre 13 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % |
| 0 | 15,1 | 11,3 | 112 | 22 | 10,4 | 119 | 20,5 | 11,6 | **129** | 19,5 | 10,6 | 116 | 19,3 | 10,9 | 118,5 | 15,5 | 11,2 | 103 |
| 5 | 12,3 | 11,4 | 107 | 20,3 | 9,7 | 107 | 20,0 | 10,8 | 119 | 18,9 | 10,1 | 110 | 18,9 | 10,9 | 117,5 | 15,0 | 11,2 | 111 |
| 10 | 7,8 | 11,6 | 98 | 13,4 | 8,5 | 81,5 | 17,5 | 5,5 | 57,5 | 17,8 | 4,3 | 45,5 | 16,9 | 5,8 | 60 | 15,0 | 10,2 | 101,5 |
| 20 | 5,8 | 11,4 | 92,5 | 6,2 | 8,5 | 68,8 | 6,2 | 8,0 | 65 | 6,5 | 7,3 | 59,5 | 6,1 | 5,2 | 42 | 6,3 | 5,5 | 44,5 |
| 30 | 5,1 | 11,0 | 86,5 | 5,3 | 8,3 | 65,5 | 5,3 | 7,2 | 57 | 5,5 | 5,7 | 45,5 | 5,6 | 4,6 | 36,7 | 5,6 | 3,7 | 29,5 |
| 40 | 4,7 | 10,4 | 81 | 4,8 | 4,7 | 36,7 | 5,0 | 6,5 | 51 | 5,1 | 1,0 | 7,9 | 5,2 | 1,8 | 14,2 | 5,0 | 1,2 | 9,4 |

| | Octobre 22 | | | Décembre 4 | | | 1935 Janvier 15 | | | Mai 4 | | | Juin 2 | | | Juin 24 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % |
| 0 | 12,6 | 10,8 | 102 | 6,9 | 9,9 | **81,5** | 4,8 | 10,9 | 85 | 12,2 | 11,9 | 111 | 17,1 | 12,0 | 125 | 22,0 | 9,7 | 111 |
| 5 | 12,6 | | | 6,9 | | | 4,8 | 10,9 | 85 | 7,0 | | | 14,0 | 13,0 | 126 | 18,0 | 10,1 | 107 |
| 10 | 12,5 | 11,4 | 107 | 6,9 | 10,0 | 84 | 4,8 | 10,9 | 85 | 6,9 | 12,0 | 99 | 9,8 | 11,4 | 101 | 10,4 | 8,9 | 80 |
| 20 | 6,9 | 5,7 | 47 | | 10,0 | | 4,8 | 10,9 | 85 | 5,9 | 13,5 | 108 | 7,4 | 10,0 | 83,5 | 7,2 | 8,4 | 69,5 |
| 30 | 5,6 | 4,1 | 32,7 | 5,9 | 5,4 | 43,5 | 4,8 | 10,9 | 85 | 5,9 | 11,8 | 94,5 | 6,5 | 10,3 | 84 | 6,5 | 7,7 | 63 |
| 40 | 5,1 | 1,0 | 7,85 | 5,5 | 1,1 | 8,7 | 4,2 | 10,8 | 84,5 | 5,3 | 10,2 | 81 | 6,0 | 8,0 | 64,5 | 6,0 | 3,1 | 25 |

| | Juillet 9 | | | Août 10 | | | Août 16 | | | Août 23 | | | Septembre 15 | | | Octobre 7 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % | Tp. | $O_2$ | $O_2$ % |
| 0 | 24,0 | 9,2 | 109 | 24,0 | 9,3 | 110 | 21,5 | 11,1 | 126 | 22,1 | 11,1 | **127,5** | 20,0 | 9,9 | 109 | 16,6 | 9,7 | 100 |
| 5 | 21,3 | 7,7 | 87 | 21,3 | 9,8 | 110 | 21,0 | 11,0 | 124 | 21,2 | 10,0 | 113 | 19,8 | 10,0 | 109 | 15,8 | 9,5 | 96 |
| 10 | 11,6 | 7,0 | 64,5 | 11,1 | 6,2 | 56,5 | 12,4 | 7,1 | 66,5 | 13,0 | 6,1 | 58 | 15,1 | 5,7 | 56,5 | 15,4 | 8,8 | 88 |
| 20 | 7,8 | 7,9 | 66,5 | 7,5 | 6,2 | 52 | 7,5 | 7,2 | 60,5 | 7,9 | 5,9 | 50 | 7,3 | 4,7 | 39 | 8,1 | 4,7 | 40 |
| 30 | 6,7 | 6,9 | 56,5 | 7,0 | 4,7 | 38,8 | 6,7 | 5,4 | 44 | 7,8 | 4,0 | 33,9 | 7,1 | 3,5 | 29 | 6,8 | 2,4 | 20 |
| 40 | 6,1 | 1,3 | 10,5 | 6,1 | 0,9 | **7,3** | 6,2 | 1,2 | 9,7 | 6,3 | 1,0 | 8,1 | 6,8 | 1,2 | 9,9 | 6,2 | 0,9 | **7,3** |




Gr. VI. Oxygène à 40 m. (Mg = mg $O_2$/l).

couche de saut thermique. Thienemann pense qu'elle serait due à des courants de convection et des «Turbulenzströmungen» **(45)**; il y aurait dans cette couche un amoncellement de plancton mort qui, en s'oxydant, absorberait de l'oxygène. Ruttner **(40)** croit que ce minimum se produit quand le réchauffement solaire se fait sentir jusqu'à une certaine zone trop pauvre en lumière pour permettre la photosynthèse; la putréfaction y serait alors très rapide. On observe ce minimum dans un lac à transparence faible et à épilimnion étendu en profondeur.

Il est difficile de trouver ces explications entièrement satisfaisantes et la question semble dépendre de beaucoup d'autres facteurs que nous ne connaissons pas.

En août et septembre 1934, la courbe d'oxygène du lac de Morat présente un coude extrêmement brusque. Elle est alors semblable à celle du Gr. Plöner See (21 août 1927), du Pielburger See (29 août 1926) et de l'Ossiachersee (Kärtnergebiet) **(45)**.

Thienemann appelle ce genre de courbe «la courbe d'été normale» pour un lac eutrophe. Si l'on compare en été les courbes d'oxygène des lacs oligotrophes avec celles des lacs eutrophes, on constate que, pour les premiers (lac de Neuchâtel), la diminution d'oxygène est minime de la surface au fond et n'est pas plus rapide dans le métalimnion; dans les lacs eutrophes, au contraire (lac de Morat), la chute d'oxygène est rapide dans le métalimnion, et le fond est presque privé de ce gaz.

Le 23 août 1935, je dosai l'oxygène dissous dans la Broye peu avant son entrée dans le lac. Voici les résultats de cette opération:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 m. . . . | Température | 25°,3 | $O_2$ mg./l. | 7,2 | $O_2$ % | 87,6 |
| 1m,80 (fond) | » | 21°,3 | » » | 6,00 | » | 67,7 |

La surface du lac atteignait ce jour-là son maximum de saturation (127,5 %); la Broye n'avait que 87,6 %; cette rivière est très

sale, car elle reçoit les eaux de lavage des fabriques de Payerne; elle n'amène donc pas d'oxygène dans le lac.

**Carbonates** (voir tableau IV).

Le lac de Morat est relativement riche en calcaire (81 - 109 mg. CaO par litre). L'épilimnion en contient moins que les couches profondes, car les plantes et les animaux, rassemblés surtout dans cette couche, assimilent le calcaire de l'eau. Les couches superficielles sont plus pauvres en calcaire en été qu'au printemps; dans les couches profondes, cette quantité varie peu.

**Phosphates** (id.).

Les phosphates sont indispensables au plancton; il y en a cependant fort peu dans l'eau des lacs en général; dans le lac de Morat, on en trouve davantage dans les couches profondes que dans les couches superficielles; ce sont probablement les animaux morts qui leur donnent naissance. La quantité varie de 0 à 33 mg. P/m$^3$. Ils sont, sauf exception, assez également répartis de 0 à 10 m., puis leur proportion augmente avec la profondeur. C'est à la fin de l'été que les couches profondes en contiennent le plus; le zooplancton, très dense en été, a péri avec la fin de cette saison et tombe au fond. L'épilimnion peut être privé de phosphates.

**Silicates** (id.).

Les silicates sont nécessaires aux Diatomées qui les utilisent pour construire leur enveloppe. Comme ce groupe d'algues est très important dans le lac de Morat, il était intéressant d'étudier la teneur de l'eau en silice; elle peut atteindre 2320 mg. Si/m$^3$.

Les Diatomées, vivant et se multipliant dans les couches supérieures, les appauvrissent en silice; puis elles meurent, tombent au fond du lac, s'y dissolvent et enrichissent les couches profondes en silice.

C'est à la fin de l'été que cette dissolution atteint son maximum et que les couches profondes sont le plus riches.

**Nitrites** (id.).

L'eau du lac est pauvre en azote nitreux (0 - 59 mg. N/m$^3$). Ces sels sont plus abondants en été qu'en automne. Lorsque l'eau est chaude, la putréfaction et l'oxydation sont plus actives que dans l'eau froide et la proportion des nitrites augmente.

Comme pour les autres sels étudiés, leur proportion augmente presque toujours avec la profondeur.

**Vase du fond du lac.**

La vase du fond du lac est grise, collante, et dégage une odeur nauséabonde. Un échantillon en a été prélevé le 23 janvier 1935

Tableau IV

| | Lac de Morat | | | | | | | | | | Broye | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Carbonates mg. CaO/l.** | | | | | | | | | | | | |
| **1935** | **7 janvier** | **26 mars** | **2 juin** | **7 juin** | **25 juin** | **2 juillet** | **10 juillet** | **25 juillet** | **23 août** | **8 octobre** | **10 juillet** | **23 août** |
| m. 0 | .. | 104 | 106 | .. | 95,2 | .. | 89,6 | .. | 81,2 | 84 | 106 | 117 |
| 5 | .. | .. | .. | .. | 95,2 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| 10 | .. | .. | .. | .. | 95,2 | .. | 106 | .. | .. | 84 | .. | .. |
| 20 | .. | 104 | 106 | .. | 109,2 | .. | 106 | .. | 104 | 104 | .. | .. |
| 30 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| 40 | .. | 104 | 106 | .. | 109,2 | .. | 106 | .. | 104 | 109,2 | .. | .. |
| **Phosphates mg. P/m³** | | | | | | | | | | | | |
| m. 0 | 16,1 | 8,2 | 0 | 3,7 | 0 | .. | 8,3 | 14,7 | 0 | 0 | .. | 2,4 |
| 10 | .. | .. | .. | 3,7 | 0 | .. | 8,3 | 14,7 | 0 | 0 | .. | .. |
| 20 | 13 | 6 | 0 | 3,7 | 0 | .. | 8,3 | 8,6 | 0 | 3,5 | .. | .. |
| 30 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| 40 | 13,6 | 6 | 10,8 | 19,9 | 13,4 | .. | 7 | beauc. | 3,7 | 33 | .. | .. |
| **Silicates mg. Si/m³** | | | | | | | | | | | | |
| m. 0 | .. | .. | 650 | 570 | 510 | 580 | 550 | .. | 840 | 700 | 2000 | 2150 |
| 10 | .. | .. | .. | 570 | 530 | 430 | 550 | .. | .. | .. | .. | .. |
| 20 | .. | .. | 1000 | 510 | 530 | .. | 550 | .. | 1190 | 700 | .. | .. |
| 30 | .. | .. | .. | .. | .. | 700 | .. | .. | .. | 1540 | .. | .. |
| 40 | .. | .. | 850 | 1230 | 1080 | .. | 1270 | .. | 2000 | 2320 | .. | .. |
| **Nitrites mg. N/m³** | | | | | | | | | | | | |
| m. 0 | .. | .. | .. | 3,8 | 0 | 3 | 6,6 | 6,7 | 8,3 | 3,2 | 14,2 | 19,8 |
| 10 | .. | .. | .. | 3,8 | 0 | 0 | 6,7 | 5,9 | .. | 4,2 | .. | .. |
| 20 | .. | .. | .. | 5 | 0 | .. | 29,4 | 22,8 | 0 | 0 | .. | .. |
| 30 | .. | .. | .. | .. | .. | 36,1 | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| 40 | .. | .. | .. | 5,5 | 14,7 | .. | 40 | 59 | 16,6 | 0 | .. | .. |

à 43$^{m}$,70 de profondeur et analysé au Laboratoire cantonal de Neuchâtel. Voici le résultat de cette analyse :

*Vase séchée à 105° à poids constant.*

| | |
|---|---|
| Carbonate de calcium . . . . . | 50,8 % |
| Carbonate de magnésium . . . . . | 2 % |
| Oxyde de fer . . . . . | 3,4 % |
| Oxyde d'aluminium . . . . . | 2,6 % |
| Silice et silicates insolubles . . . . . | 36,9 % |
| Matières organiques et non dosées . . | 4,3 % |

Traces de strontium.
Présence de traces de sulfures dans la boue liquide.

CHAPITRE IV

# Etude du plancton.

## Technique.

Les méthodes de pêches du plancton ont été très discutées et je ne veux pas revenir sur les avantages et les inconvénients de chacune d'elles.

Certains auteurs proscrivent absolument le filet pour des recherches quantitatives. Ils préfèrent la pompe ou l'appareil de prise d'eau, qui permettent de prélever un certain volume d'eau à une profondeur déterminée. Le tout ou une partie de cette eau est alors centrifugé et le plancton dénombré.

Toutes ces méthodes sont plus ou moins inexactes et il faut bien se garder de considérer leurs résultats comme rigoureux. Leur emploi simultané et leur combinaison donneraient naturellement les résultats les plus exacts.

Le filet seul a été employé pour l'étude qui va suivre. C'est la méthode la plus simple et la plus ancienne, qui est bien suffisante pour donner une idée générale des variations qualitatives, quantitatives et de la répartition en profondeur du plancton dans l'espace de dix-huit mois.

J'ai utilisé un filet Fuhrmann à fermeture, construit en gaze de soie n° 15 et de surface d'ouverture de 490 cm$^2$ (**20**). Ce filet fut employé de juillet 1934 à août 1935; il filtrait certainement mieux en 1934 qu'en 1935. En effet, les mailles se bouchent peu à peu à l'usage, surtout dans un lac riche en phytoplancton comme le lac de Morat; une partie de l'eau est alors refoulée au dehors. D'avril à juillet 1934, j'employai un autre filet, construit à Langenargen, d'une surface d'ouverture supérieure de 1332 cm$^2$. Le filet Fuhrmann, ramené à la même ouverture, pêche environ deux fois plus de plancton que ce dernier filet.

Exemple : 28 juin 1934. Pêches de 17 à 0 m.

Filet Fuhrmann 74 cm³ de plancton sous 1 m².
Filet de Langenargen 34,9 cm³ sous 1 m².

## Mode opératoire

Je ne me suis pas occupée de la faune littorale du lac, me bornant à l'étude des animaux et des plantes de la région pélagique. Les cinq stations dont il est parlé plus haut ont été plusieurs fois visitées; après m'être assurée que la composition du plancton est partout la même, au même moment, dans des endroits très éloignés les uns des autres, j'ai fait surtout mes observations à la station IV.

Une fois par semaine, autant que possible, j'y faisais une pêche totale, du fond à la surface, et cinq pêches partielles, par étage : du fond à 30 m., de 30 à 20 m., de 20 à 10 m., de 10 à 5 m. et de 5 à 0 m. Je mesurais ensuite les températures à diverses profondeurs et prélevais de l'eau pour les analyses chimiques.

296 pêches ont été faites à la station IV en dix-huit mois (avril 1934 à août 1935); 121 pêches proviennent des autres stations pendant la même période. Des pêches, qualitatives seulement, ont été encore faites jusqu'en novembre 1935.

Le plancton a été conservé, sédimenté, examiné et dénombré suivant les méthodes habituelles (**39**).

## Biologie.

Le développement du plancton durant la période de mai 1934 à août 1935 est représenté sur le graphique I (p. 128). Le maximum absolu tombe à la fin de mars; il est causé par un immense développement de Diatomées *(Melosira)*; les Cladocères et les Copépodes accusent un minimum à ce moment-là. Au printemps (mai 1934-juin 1935), on note un second grand maximum coïncidant, cette fois, avec un maximum de zooplancton; le phytoplancton est encore très abondant (1934, espèce dominante : *Synedra delicatissima*; 1935, espèce dominante : *Tabellaria fenestrata* var. *asterionelloïdes)*. En été, on trouve un minimum en juillet, puis deux plus petits maximums, celui d'août causé presque uniquement par le zooplancton, et celui d'automne 1934 par *Dinobryon sertularia*. De fin octobre au début de décembre, minimum aussi bien pour le zooplancton que pour le phytoplancton.

On sait que ces maximums et ces minimums peuvent se déplacer suivant les années; dressons un tableau comparatif des trois lacs :

*Lac de Neuchâtel.*

| Années | 1er minimum | 1er maximum | 2me maximum | 2me minimum |
|---|---|---|---|---|
| 1897-1898 | Février-mars | Mai | Août-sept. | Octobre |
| 1900 | Février-mars | Juillet | Décembre | Novembre |
| 1917 | Février | Juin | Novembre | Nov.-déc. |
| 1919-1920 | Juillet | Mai | Septembre | Nov.-déc. |

*Lac de Bienne.*

| Années | 1er minimum | 1er maximum | 2me maximum | 2me minimum |
|---|---|---|---|---|
| 1913-1914 | Janvier | Mars-avril | Octobre | Mai |

*Lac de Morat.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1934-1935 | Juillet | Mars | Mai-juin | Nov.-déc. |

Pour ces trois lacs, le premier maximum est dû au développement considérable du phytoplancton :

Lac de Bienne : 500 $cm^3$ de plancton sous 1 $m^2$ dans une colonne de 40 m. de hauteur.

Lac de Morat : 670 $cm^3$ de phytoplancton sous 1 $m^2$ dans une colonne de 40 m. de hauteur.

Le développement du plancton est beaucoup plus faible dans le lac de Neuchâtel que dans les deux autres.

Le second maximum est causé, dans les trois lacs, par le zooplancton.

Comparons le plancton du lac de Morat avec celui de quelques autres lacs de la Suisse. Ces lacs diffèrent les uns des autres par la forme, la grandeur et la profondeur. Les conditions biologiques n'y sont pas les mêmes et le développement du plancton sera aussi différent suivant le lac qu'il peuple.

J'ai choisi les lacs suivants parmi les lacs de Suisse déjà étudiés :

| | Prof. maximum m. | Prof. moyenne m. | Altitude m. | Superficie $km^2$ |
|---|---|---|---|---|
| Neuchâtel | 153 | 65 | 432 | 215,9 |
| Zurich | 143 | 45,5 | 409 | 88 |
| Greifensee | 32 | 17 | 439 | 8,5 |
| Katzensee | 7,8 | — | 443 | 0,35 |
| Bienne | 75 | 32 | 432 | 42 |
| Morat | 45 | 25 | 432 | 22,9 |

Le lac de Neuchâtel est, par la Broye, en relation directe avec le lac de Morat; l'altitude et les conditions climatiques des deux lacs sont les mêmes. L'analogie s'arrête là; les conditions biologiques des deux lacs sont très différentes, puisque le premier est un lac oligotrophe et le second un lac eutrophe.

Le lac de Zurich est en train de se transformer peu à peu en un lac eutrophe depuis 1896, parce qu'il reçoit beaucoup d'eaux d'égouts et de fabriques. *Oscillatoria rubescens* s'est mise à s'y développer en masse; c'est au mois de mai que le plancton atteint dans ce lac son plus grand développement et le minimum se trouve en décembre.

Le Greifensee présente beaucoup d'analogie avec le lac de Morat : lac eutrophe très riche en Diatomées, transparence variant de $1^m,80$ à $5^m,80$, température peu inférieure à celle du lac de Morat. Malheureusement, il n'existe pas de mesure quantitative

du plancton du Greifensee, mais sa composition est presque la même que celle du lac de Morat.

Le Katzensee est un très petit lac, situé non loin de Zurich. Son plancton accuse deux maximums, l'un en mai, l'autre en novembre; le minimum dure de janvier à mars. Le maximum de novembre est dû à un grand développement de Diatomées, comme en mars dans le lac de Morat.

## Répartition verticale.

(Graphique VII.) [1]

Le plancton est réparti de la même façon de mai à novembre : il est concentré dans les couches de 0 à 10 m., sans jamais, toutefois, déserter complètement les couches profondes; son maximum se trouve presque toujours entre 0 et 5 m. Le phytoplancton se trouve exclusivement entre 10 et 0 m.; les couches profondes en contiennent des quantités insignifiantes. A mesure que la circulation automnale s'établit, le plancton est entraîné dans des couches de plus en plus profondes. (Cf. le chapitre sur l'oxygène.) En hiver, on trouve à toutes les profondeurs du zooplancton et du phytoplancton en grande quantité. Le 23 janvier, le maximum se trouvait entre 30 et 40 m.

Puis l'eau se réchauffe (mai), la stratification se rétablit peu à peu et le plancton reprend sa disposition d'été.

Il se trouve surtout concentré entre 15 et 30 m. dans le lac de Neuchâtel; dans celui de Zurich, la couche de 10 à 15 m. est la plus peuplée; dans le Greifensee, le plancton est concentré dans les couches superficielles, tandis que ce sont surtout les couches profondes du Katzensee qui sont les plus habitées.

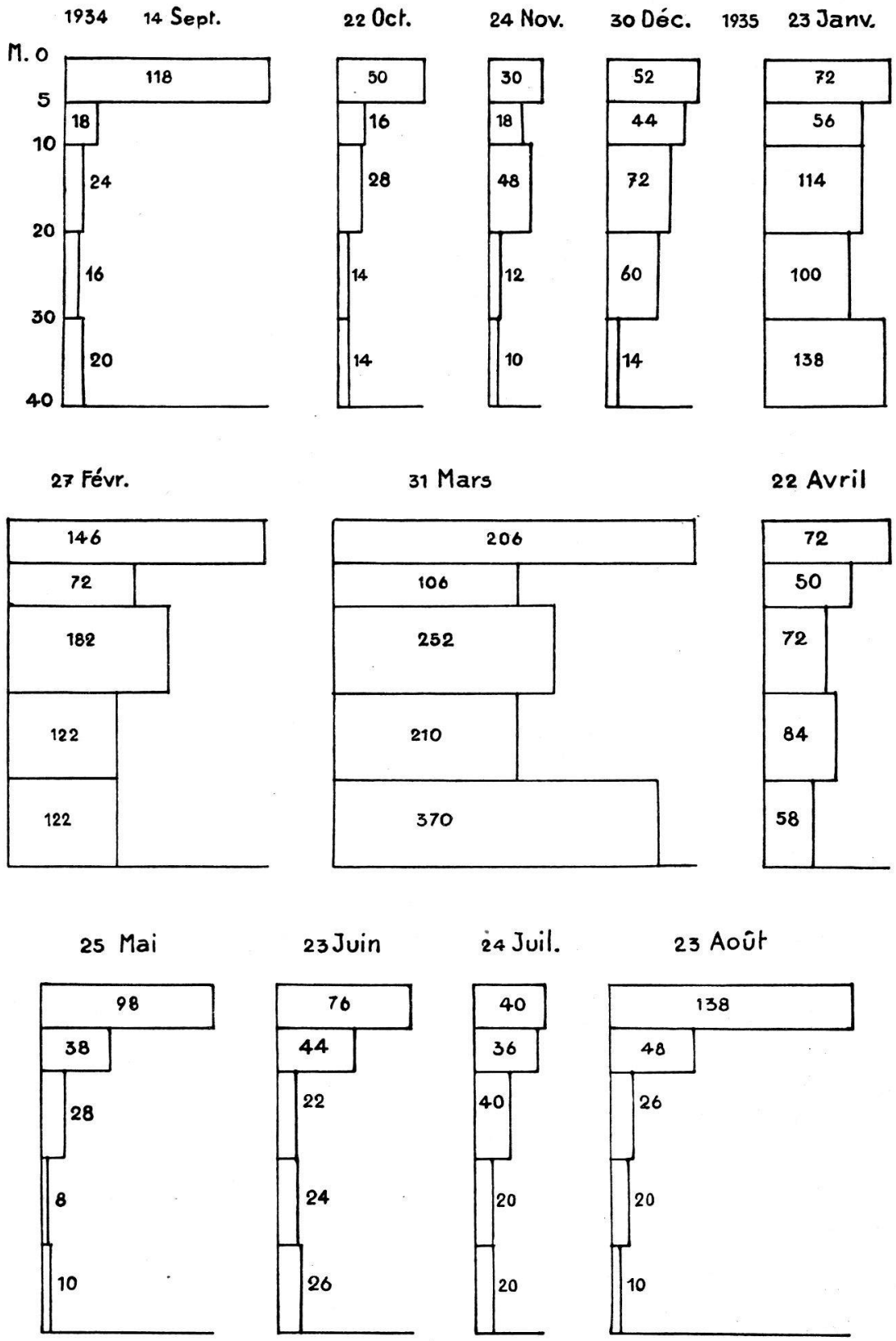
Cette disposition du plancton, différente suivant les lacs, est certainement en relation avec le degré de transparence de ceux-ci. Les animaux pélagiques sont presque tous leucophobes et évitent la lumière directe du soleil; pour être à l'aise, ils doivent donc descendre à une bien plus grande profondeur dans le lac de Neuchâtel (transp. 11 m.) que dans le Greifensee (transp. $5^{m},80$) par exemple. Le Katzensee (transp. $4^{m},50$) paraît faire exception à cette règle.

Le phytoplancton a besoin de lumière pour assimiler les substances nutritives de l'eau; d'où son accumulation dans les couches de la surface.

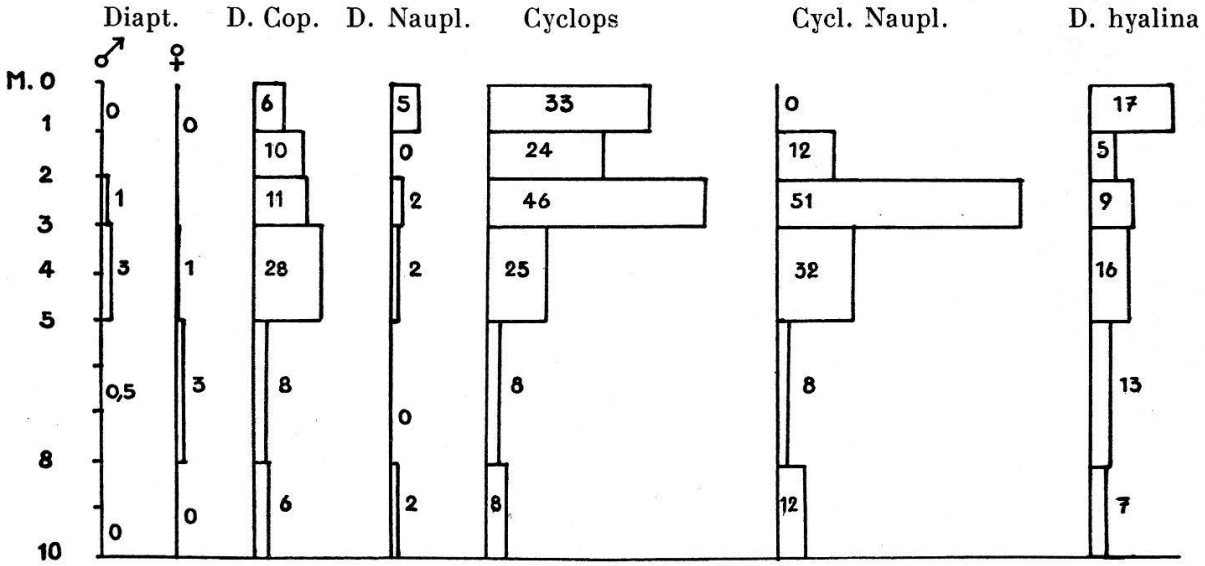
Le 24 juin 1935, par un temps calme et ensoleillé, j'étudiai en détail la répartition du plancton de 10 à 0 m. et l'influence éventuelle de la couche de saut thermique sur sa quantité totale. Ce jour-là, la couche de saut thermique était située entre 5 et 10 m. (Voir graphique VIII.)

La quantité maximum de plancton se trouvait entre 2 et 3 m.; cette couche était habitée principalement par les *Cyclops* et leurs

[1] Voir note 1, p. 127.




Gr. VII. Répartition verticale du plancton durant une année ($cm^3$ sous 1 $m^2$).




Gr. VIII. Répartition verticale de 10 à 0 m. (milliers d'individus sous 1 m²); 24 juin 1935.

Nauplius. Les *Diaptomus* ♂ et leurs Copépodites se tenaient surtout de 3 à 5 m., les ♀ de 3 à 8 m.; leurs Nauplius et les Cladocères préféraient la couche superficielle.

Pour toutes ces espèces, comme pour le plancton dans son ensemble, on constatait une diminution rapide de 5 à 8 m., puis la quantité augmentait légèrement de 8 à 10 m. L'abaissement de température étant de 4° entre 0 et 5 m. et de 7°,6 entre 5 et 10 m., on peut en conclure que la couche de saut thermique correspond à une diminution de plancton.

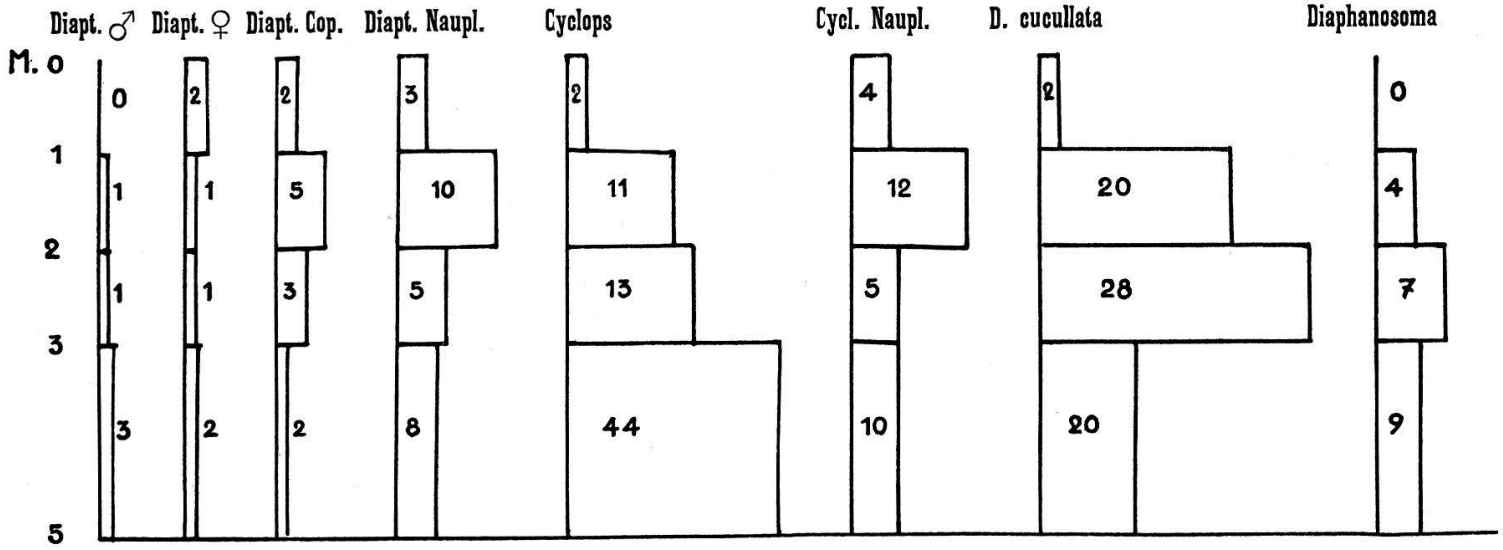
Behrens (**6**, p. 67) écrit, lors de ses observations dans le lac de Sakrow : « Wie die Temperatur, so sinkt auch die Bevölkerungsziffer im Metalimnium durchaus sprungartig. Aber im unteren Teile der Sprungschicht bemerken wir ein erhebliches Ansteigen der Bevölkerungsdichte. An ein Minimum im mittleren Teile der Sprungschicht grenzen also oben und unten je stärker bevölkerte Schichten. Die Erscheinung tritt lange Zeit vollkommen regelmässig auf... »

Le lac de Morat, à ce point de vue, est semblable au lac de Sakrow.

Le 16 août 1935, par un temps calme et ensoleillé, j'étudiai la répartition de 5 à 0 m. par des pêches successives de 5 à 3 m., 3 à 2 m., 2 à 1 m. et 1 à 0 m. (Voir graphique IX.)

Comme précédemment, la quantité maximum de plancton se trouvait entre 2 et 3 m.; mais les espèces n'étaient pas tout à fait réparties de la même façon.

Seuls, les *Diaptomus* ♀ avaient leur maximum dans la couche superficielle; les Copépodites, Nauplius et *Daphnia hyalina* se tenaient surtout entre 1 et 2 m., *Daphnia cucullata* et *Diaphanosoma* entre 2 et 3 m., tandis que les *Cyclops* et les *Diaptomus* ♂ préféraient la couche de 3 à 5 m.




Gr. IX. Répartition verticale de 5 à 0 m. (milliers d'individus sous 1 m²); 16 août 1935.

Il résulte de ces deux séries d'observations que, même par des conditions atmosphériques semblables, la répartition des espèces peut varier. L'heure a peut-être aussi une influence; la première de ces séries a été faite à 15 h., la deuxième à 10 h. 30.

## Composition du plancton.

Burckhardt, Imhof, Chodat et Bachmann ont dressé la liste des espèces qu'ils ont trouvées dans le lac de Morat. Leurs listes et la mienne donnent le joli total de 75 espèces. Il y en a 17, trouvées par mes prédécesseurs, que je n'ai pas observées dans le lac pendant la période de mes recherches; il est probable qu'elles n'étaient que temporairement absentes et s'y retrouveront une autre année. A ce propos, je signalerai l'absence complète d'*Oscillatoria rubescens*, le fameux « Sang des Bourguignons », durant la période d'avril 1934 à juillet 1935. Cette algue semblait avoir complètement disparu du lac et je ne pensais plus l'y trouver. Par bonheur, j'ai pu observer le développement prodigieux de cette Schizophycée en automne 1935. (Voir chapitre VI.)

D'autre part, Chodat, par exemple, cite trois espèces de *Melosira;* actuellement, on réunit ces trois espèces en une seule.

Le plancton d'un lac varie donc qualitativement et quantitativement d'une année à l'autre; le développement de ses composants peut être très différent à une même époque de l'année. Citons un seul exemple : Lozeron, en 1901, trouva que, dans le lac de Zurich, le maximum d'*Anuraea aculeata* avait lieu en été; Heuscher (1911) cite ce Rotateur comme très rare en été et place son maximum en hiver.

Voici les listes des espèces trouvées dans le lac de Morat par Imhof, Burckhardt, Chodat et Bachmann :

### Chodat.

Espèces dominantes :

*Oscillatoria rubescens*
*Asterionella gracillima*
*Mallomonas acaroides*

Espèces observées :

*Gomphosphaeria lacustris*
*Anabaena flos aquae*
*Stichogloea olivea* var. *sphaerica*
*Chroococcus minutus* var. *lacustris*
*Sphaerocystis Schrœteri*
*Ceratium hirundinella*
*Botryococcus Braunii*
*Peridinium tabulatum*
*Melosira orichalcea*
*Melosira arenaria*
*Melosira varians*
*Cymatopleura elliptica*
*Diatoma elongatum*
*Tabellaria fenestrata*
*Tabellaria flocculosa*
*Rhizosolenia longiseta*
*Fragilaria crotonensis*
*Stephanodiscus astraea*

BACHMANN (30 août 1898) a trouvé en outre :

Fréquent :

*Ceratium hirundinella*
*Campylodiscus noricus*
*Cymatopleura Solea* W. Sm.
*Cymatopleura elliptica* W. Sm.
*Surirella robusta* var. *splendida* Ehrb.
*Asterionella gracillima* Heib.

Pas rare :

*Dinobryon stipitatum* Stein.
*Dinobryon divergens* Imh.
*Peridinium cinctum* Ehrb.
*Merismopedia glauca*
*Fragilaria crotonensis* Kitt.

Peu nombreux :

*Clathrocystis aeruginosa* Henf.

IMHOF.

*Asplanchna helvetica* Imh.
*Synchaeta pectinata* Ehrbg.
*Polyarthra platyptera* Ehrbg.
*Anuraea cochlearis* Gosse
*Anuraea aculeata* Ehrbg.
*Anuraea longispina* Kell.
*Daphnella brandtiana* Fisch.
*Daphnia* spec.
*Bosmina* n. sp.
*Leptodora hyalina* Lillj.
*Cyclops* spec.
*Diaptomus guernei* Imh.

BURCKHARDT (30 août 1898).

*Asplanchna priodonta* Gosse
*Polyarthra platyptera* Ehrbg.
*Mastigocerca capucina* Wierz. u. Zach.
*Anapus ovalis* Bergend.
*Anuraea cochlearis* Gosse
*Notholca longispina* Kell.
*Diaphanosoma brachyurum* Lièv.
*Daphnia hyalina* Leyd. f. div.
*Bosmina coregoni* Baird v.
*Leptodora hyalina* Lillj.
*Cyclops strenuus* Fisch.
*Cyclops leuckarti* Claus.
*Diaptomus gracilis* Sars.

J'ai déterminé, d'avril 1934 à octobre 1935, les espèces suivantes :

## Algae.

### *Schizophyceae*

*Microcystis aeruginosa* Kütz.
*Coelosphaerium Kützingianum* Näg.
*Oscillatoria rubescens* D. C.

### *Chlorophyceae*

*Pediastrum boryanum* Menegh.
*Gloeococcus Schrœteri*

### *Conjugatae*

*Spirogyra* sp.

### *Diatomaceae*

*Asterionella gracillima* Heib.
*Fragilaria crotonensis* Kitton
*Melosira islandica* var. *helvetica* O. M.
*Synedra delicatissima* W. Sm.

*Stephanodiscus Astraea* Grun.
*Stephanodiscus Hantzschii* Grun.
*Tabellaria fenestrata* var. *asterionelloides* Grun.
*Tabellaria fenestrata* Kütz.
*Tabellaria flocculosa* Kütz.
*Cyclotella Schrœteri* Lemm.
*Cyclotella Comta* var. *melosiroides* Kirch.
*Campylodiscus noricus* Ehrbg.

## Mastigophora.

### *Euflagellatae*

*Dinobryon sertularia* Ehrbg.
*Dinobryon sociale* Ehrbg.
*Dinobryon divergens* Imhof
*Dinobryon stipitatum* Stein.
*Mallomonas producta* Iwanoff.

### *Dinoflagellatae*

*Ceratium hirundinella* O. F. M.
*Peridinium cinctum* (Müll.) Ehrbg.
*Peridinium volzi* Lemm.
*Gymnodinium neglectum*

### *Eugleninae*

*Colacium vesiculosum* Ehrbg.

### *Protomastiginae*

*Bikosoeca lacustris* J. Clark
*Salpingoeca frequentissima* Lemm.

## Protozoa.

### *Ciliata*

*Epistylis* sp.
*Coleps hirtus* O. F. Müll.
*Codonella lacustris* Haek.
*Stentor igneus* Ehrbg.
*Cothurniopsis vaga* (Schrk.)
*Suctoria* sp.

### *Helioza*

*Actinosphaerium eichhorni* (Ehrbg.)

## Metazoa.

### *Rotatoria*

*Anuraea aculeata* Ehrbg.
*Anuraea cochlearis* Gosse
*Anapus ovalis* Bergel.
*Asplanchna priodonta* Gosse
*Triarthra longiseta* Ehrbg.

*Polyarthra platyptera* Ehrbg.
*Notholca longispina* Kellic.
*Synchaeta pectinata* Ehrbg.
*Gastropus stylifer* Imhof
*Rattulus capucinus* (Wierz u. Zach.)

***Phyllopoda***

*Daphnia longispina* var. *hyalina* Leydig
*Daphnia longispina* var. *cucullata* Sars
*Leptodora hyalina* Lillj.
*Bosmina longirostris* O. F. M.
*Diaphanosoma brachyurum* (Liévin)

***Copepoda***

*Cyclops strenuus* Fischer
*Cyclops leuckarti* Claus
*Cyclops viridis* Jurine
*Diaptomus gracilis* Sars
*Diaptomus laciniatus* Lillj.

***Insecta***

*Corethra plumicornis* Fabr.

Bien que les maximums et les minimums des composants du plancton soient soumis à des variations annuelles considérables, j'ai cherché à les constater, au moins pour chaque genre, dans le lac de Morat. Les Crustacés seuls ont été dénombrés; toutes les autres espèces ont été estimées au juger sous le microscope et désignées par les qualitatifs suivants :

*Espèce dominante :* les individus se trouvent en quantités énormes dans une préparation microscopique de plancton mélangé préalablement.

*Espèce fréquente :* les individus se trouvent en grand nombre dans la préparation.

*Espèce pas rare :* quelques individus à chaque déplacement du porte-objet.

*Espèce rare :* 1 à 2 individus à chaque déplacement du porte-objet.

Autant que possible, j'ai indiqué aussi les maximums et les minimums des mêmes espèces dans les lacs de Neuchâtel, de Bienne, de Zurich, dans le Greifensee et dans le Katzensee.

## Plancton de la Broye.

Le plancton de cette rivière a été examiné deux fois; la pêche a été effectuée entre Salavaux et l'entrée du lac de Morat.

Le 23 août 1935, date de la première pêche, il était très semblable à celui du lac et contenait en masse *Microcystis aeruginosa.*

Le 17 octobre 1935, moment de la floraison d'*Oscillatoria*

*rubescens*, l'eau de la Broye était extrêmement pauvre en plancton et ne contenait pas un filament d'*Oscillatoria*; l'apport d'eau de cette rivière ne peut donc pas expliquer l'apparition ou la disparition du « Sang des Bourguignons ».

### Vase du fond.

Elle est extrêmement pauvre en êtres vivants. Je n'y ai guère trouvé que quelques Oligochètes; ce sont : *Tubifex (Tubifex) tubifex* Müller et *Tubifex (Ilyodrilus) hammoniensis* Michaelsen. Il y a encore dans cette vase des débris de plantes et d'animaux, des ephippiums de *Daphnia* et des œufs de *Corethra*.

Cette vase, comme l'eau qui est en contact avec elle, est extrêmement pauvre en oxygène, ce qui explique son azoïcité presque totale.

CHAPITRE V

# Zooplancton.

## Copépodes.

Les Copépodes sont présents toute l'année. (Graphique X.) Ils sont représentés par cinq espèces.

| | |
|---|---|
| Lac de Morat . . . | Max.: *Août*, décembre et juin.<br>Min.: Octobre-novembre; *avril*, juillet. |
| Katzensee . . . . | Max.: Août.<br>Min.: Avril à mai; décembre. |
| Greifensee . . . . | Max.: Août. |

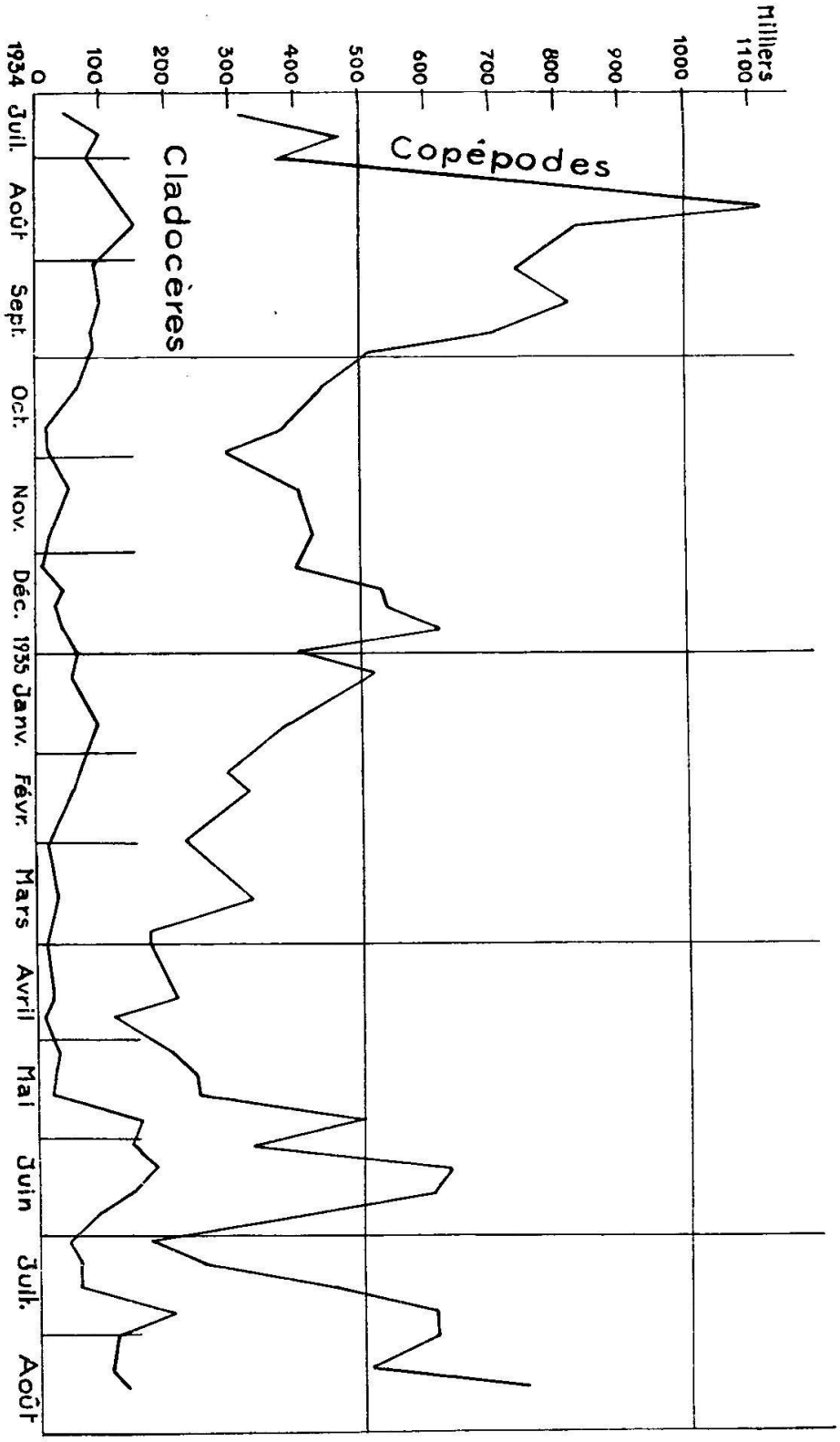
### *Cyclops.*

Il y a trois espèces de *Cyclops* dans le lac de Morat : *Cyclops strenuus*, *Cyclops leuckarti* et *Cyclops viridis*.

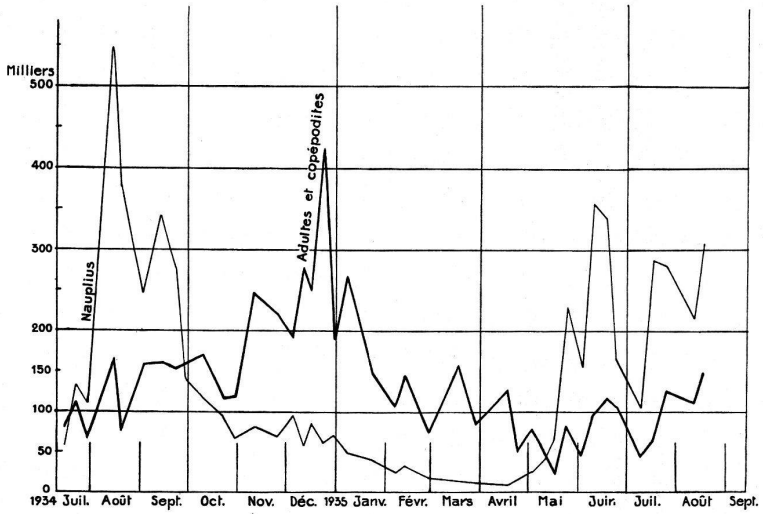
La première de ces espèces est la mieux représentée; *Cyclops leuckarti* est moins fréquent et *Cyclops viridis*, très gros Copépode, n'a été trouvé que deux ou trois fois.

Le graphique XI représente le développement des *Cyclops (strenuus* et *leuckarti)*, de leurs Copépodites et des Nauplius dans le courant d'une année; les Nauplius ont été comptés à part.

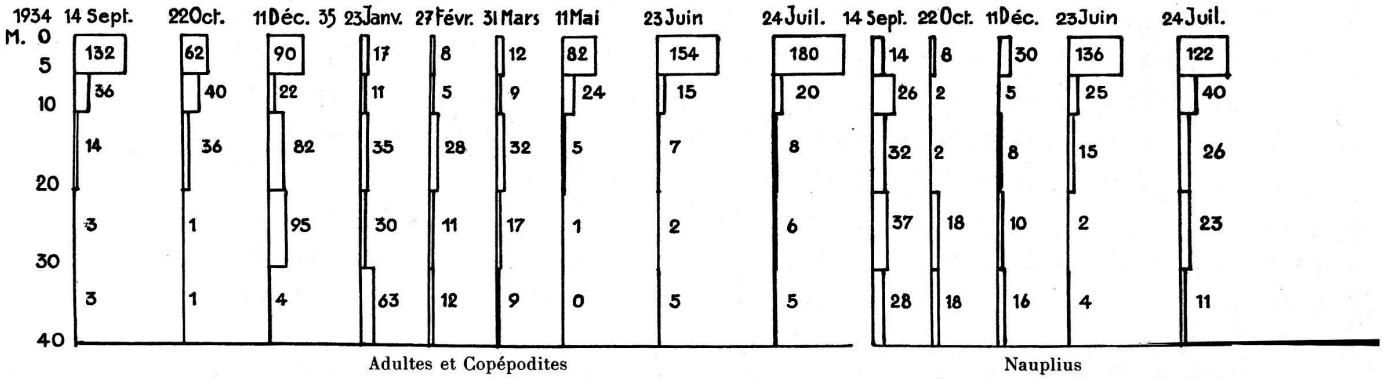
| | |
|---|---|
| Adultes et Cop. . . . . | Max.: *Décembre* et août.<br>Min.: Mai. |
| Nauplius . . . . . | Max.: Juin et *août*.<br>Min.: Octobre à mai. |
| Lac de Neuchâtel . . . | Max.: Eté et fin de l'automne.<br>Min.: Hiver. |
| Lac de Zurich . . . . | Max.: Juin à juillet; novembre.<br>Min.: Février-mars; décembre. |



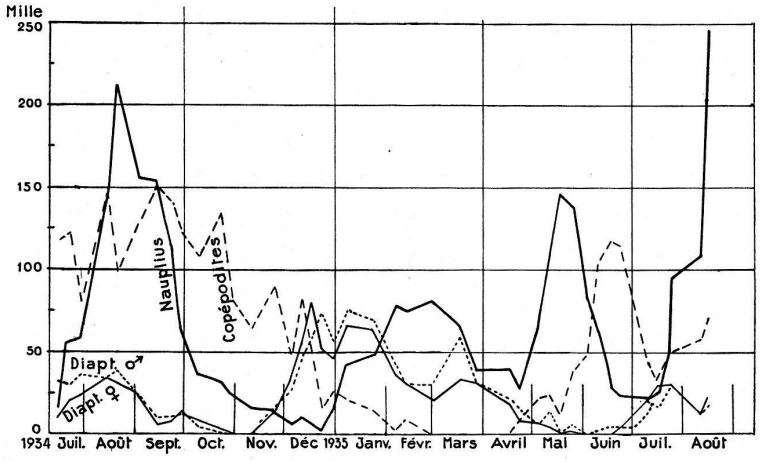

Gr. X. Pêches de 40 à 0 m.




Gr. XI. *Cyclops* (*strenuus* et *leuckarti*). Pêches de 40 à 0 m.




Gr. XII. Répartition verticale des *Cyclops* (*strenuus* et *leuckarti*). Pêches de 40 à 0 m.
Milliers d'individus sous 1 m².




Gr. XIII. *Diaptomus* (*gracilis* et *laciniatus*). Pêches de 40 à 0 m.

Le graphique XII montre la répartition verticale des *Cyclops* (adultes et Copépodites) et des Nauplius.

De mai à novembre, ces Copépodes ont presque toujours leur maximum de 5 à 0 m. De janvier à mars, ce sont les zones profondes (30 à 40 m. et 10 à 20 m.) qui sont les plus habitées; en été, les couches profondes en contiennent fort peu.

Les *Cyclops* sont souvent parasités par *Colacium vesiculosum*, un *Eugleninae*. Le Crustacé est alors verdâtre et porte un très grand nombre de parasites.

### *Diaptomus.*

Ce genre est représenté par deux espèces : ***Diaptomus gracilis*** et ***Diaptomus laciniatus.***

La première espèce se trouve en bien plus grand nombre que la seconde.

Développement du genre *Diaptomus* (graphique XIII). — Le dénombrement a été fait spécialement pour les ♂, les ♀, les Copépodites et les Nauplius.

| | |
|---|---|
| *a)* Adultes . . . | Max.: Décembre à janvier et fin juillet.<br>Min.: Octobre à novembre; mai à juin. |
| *b)* Copépodites . | Max.: Septembre et juin.<br>Min.: Février à avril. |
| *c)* Nauplius . . | Max.: Août et mai.<br>Min.: Novembre et décembre. |
| Lac de Neuchâtel . . | Max.: Eté; parfois aussi novembre.<br>Min.: Hiver. |
| Lac de Zurich . . . | Max.: Décembre et juin.<br>Min.: Février. |

Les adultes se développent à peu près simultanément, le maximum relatif aux ♂ précédant de peu celui relatif aux ♀.

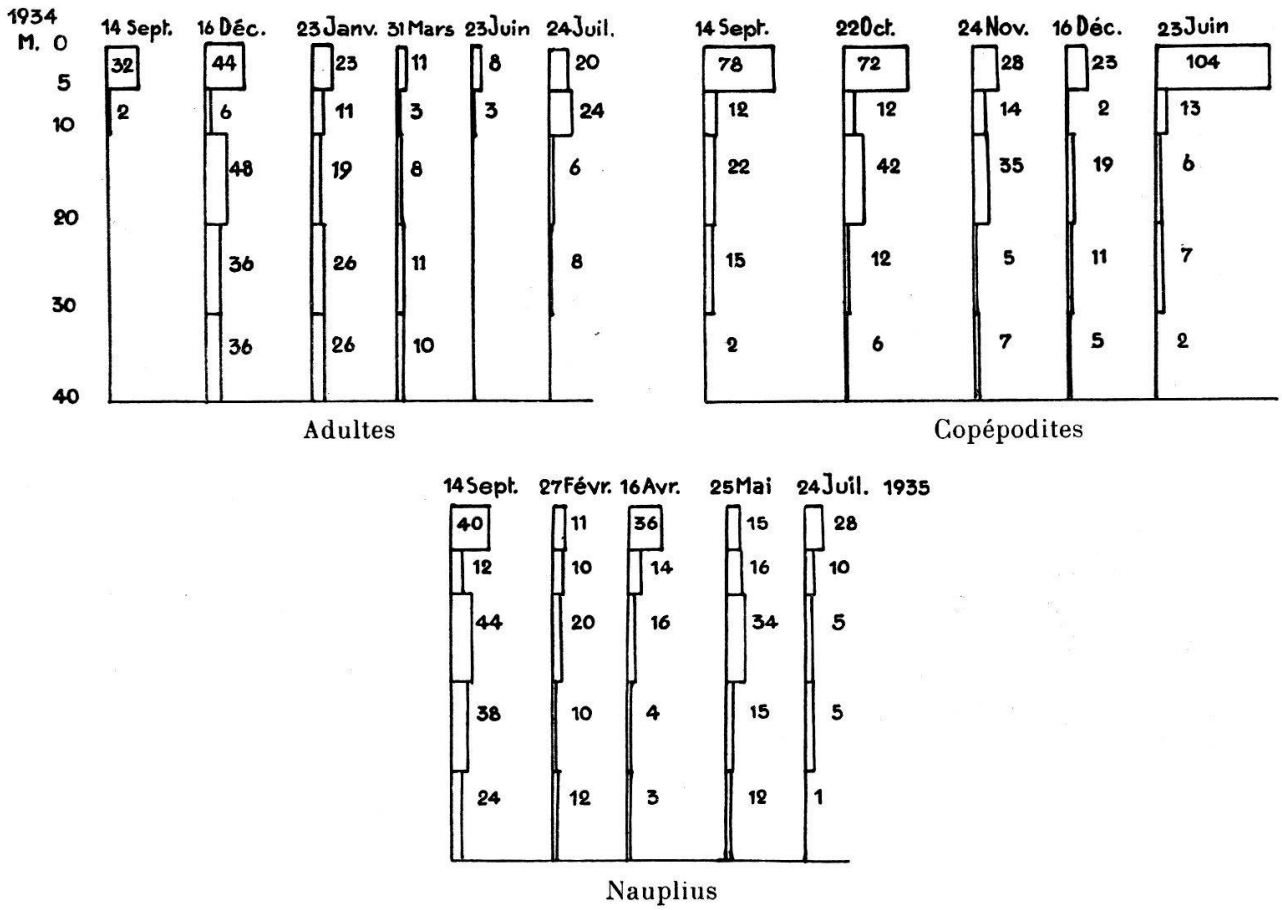
La moitié des ♀, parfois davantage encore, porte des œufs durant le printemps, l'été et l'automne; en hiver, la proportion des œufs diminue et presque toutes les ♀ sont stériles. Les œufs sont en groupes de 6 ou 10.

On voit, d'après les graphiques, que les Nauplius mettent un mois environ pour se transformer en Copépodites. Ceux-ci, après plusieurs mues successives, deviennent des adultes au bout de trois mois. En été, ce laps de temps est considérablement raccourci, les conditions de vie étant plus favorables; le graphique indique un mois et demi pour ces mêmes transformations.

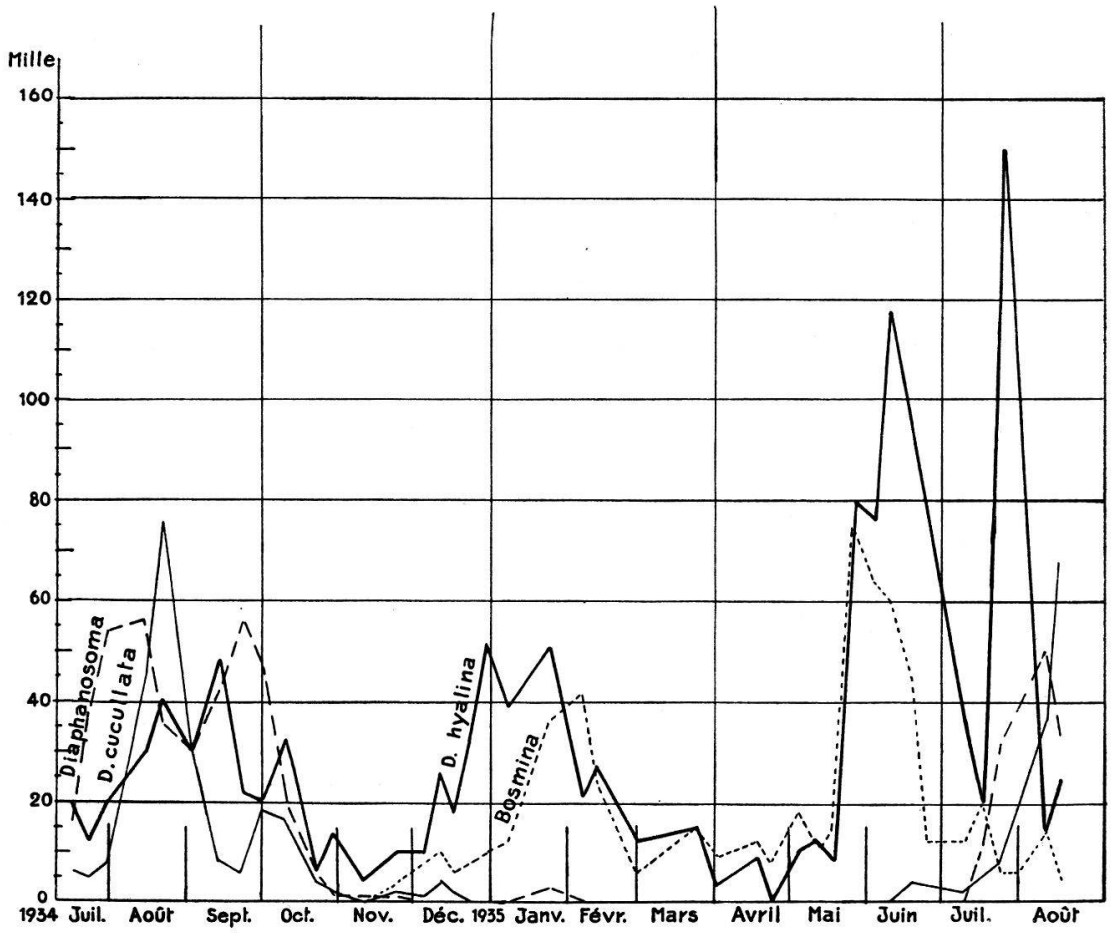
### *Répartition verticale des Diaptomus.*

(Graphique XIV.)

Presque toute l'année, les *Diaptomus* habitent la couche de 5 à 0 m. Les couches profondes sont aussi peuplées en hiver.




Gr. XIV. Répartition verticale des *Diaptomus* (*gracilis* et *laciniatus*). Milliers d'individus sous 1 m².




Gr. XV. Pêches de 40 à 0 m.

## Cladocères.

Ce groupe est représenté par cinq espèces aussi, dont une seule est présente toute l'année. (Graphique X.)

Lac de Morat . . . . . Max.: Eté.
Min.: Automne et printemps.

### *Daphnia longispina* var. *cucullata.*

(Graphique XV.)

Lac de Morat . . Max.: Août. Manque de janvier à mai.
Lac de Bienne . . De juin à décembre en petit nombre.
Katzensee . . . Max.: Eté. Absente de décembre à mars.

La forme du casque de ce Cladocère est très variable; ce casque devient de plus en plus long et pointu à mesure que l'été s'avance et diminue avec l'automne. La longueur de la tête peut être de $0^{mm},765$ pour une longueur totale de $1^{mm},830$.

Cette espèce est acyclique; les ♂ n'ont jamais été rencontrés dans le lac de Morat.

*Daphnia cucullata* préfère toujours les couches de 5 à 0 m.

### *Daphnia longispina* var. *hyalina.*

(Graphique XV.)

Cette espèce est présente toute l'année.

Lac de Morat . . Max.: *Eté.* Septembre, décembre à janvier, mai à juin.
Min.: Novembre et avril.

Lac de Neuchâtel . . . . . Max.: Août à septembre.
Lac de Bienne . . . . . Max.: Juillet.
Lacs de Neuchâtel et Bienne . Min.: Janvier à avril.
Lac de Zurich . . . . . Max.: Juin à août; novembre.
Min.: Septembre.
Katzensee . . . . . Max.: Printemps et automne.

Le polymorphisme saisonnier est très nettement marqué chez cette *Daphnia.* La forme de la tête varie aussi, quoique beaucoup moins que pour l'espèce précédente; elle reste toujours arrondie, mais porte souvent un casque assez élevé en été.

Les mâles apparaissent de novembre à décembre, toujours bien moins nombreux que les femelles. Ils se tiennent de préférence dans les couches profondes, parfois même à l'exclusion des couches superficielles. Les femelles à ephippium sont rares et les

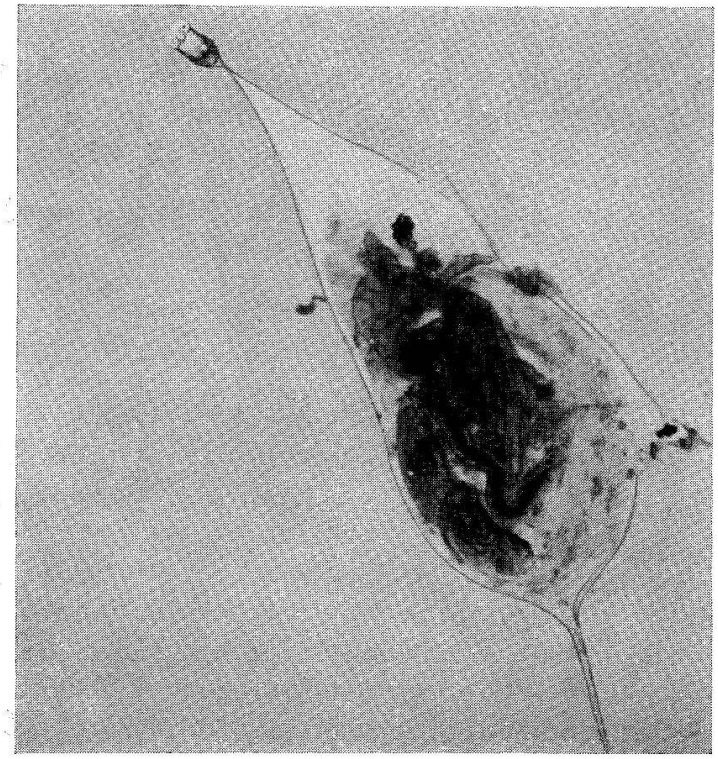


Fig. 2. *Daphnia cucullata.*

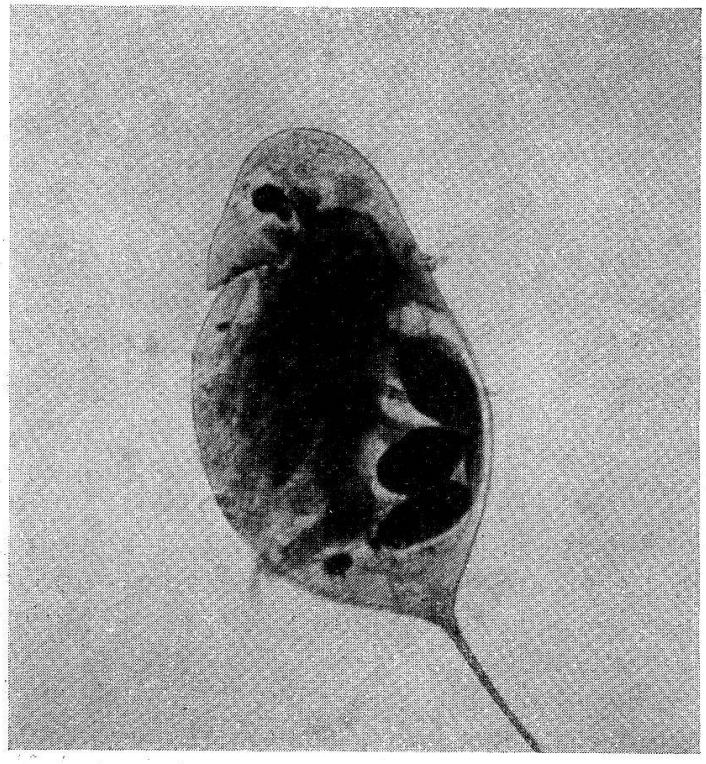


Fig. 3. *Daphnia hyalina.*

femelles parthénogénétiques toujours présentes; la reproduction sexuelle n'est donc jamais indispensable.

Grosjean (**23**), dans le lac de Bienne, a fait exactement la même observation plusieurs années de suite. Il s'étonne fort de cette brusque apparition des mâles en automne et pense l'expliquer par la grande quantité d'eau amenée dans le lac par le canal de l'Aar. Certainement, l'apparition des mâles n'a rien à faire avec ce phénomène, puisque le lac de Morat a un régime hydrographique tout différent et que les mâles s'y comportent exactement comme dans le lac de Bienne.

Le 23 janvier 1935, une prise de vase a été effectuée à 44 m. de profondeur. Cette vase séjourna au laboratoire dans un cristallisoir. Au bout d'une semaine environ, l'eau qui la recouvrait était peuplée d'une quantité de *Daphnia hyalina*; ces Cladocères étaient nés des ephippiums tombés en automne au fond du lac et ramenés avec la vase.

La répartition de cette espèce est très semblable à celle des Copépodes; les *Daphnia* habitent la zone superficielle en été et toutes les couches en hiver; on peut aussi en trouver passablement dans les couches profondes en été.

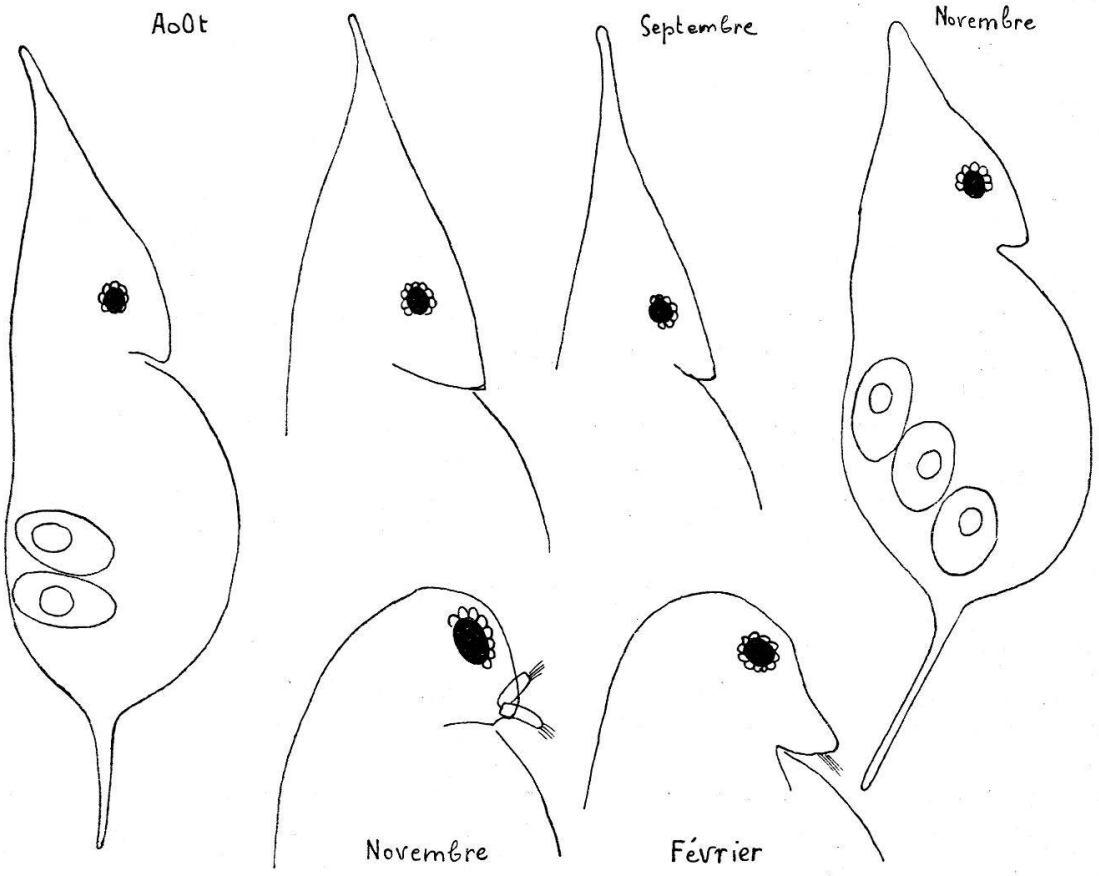



Fig. 4. Variation du casque de *Daphnia longispina*.

*Bosmina longirostris.*
(Graphique XV.)

| | |
|---|---|
| Lac de Morat . . . . . | Max.: Mai à juin; janvier à février.<br>Min.: Août à novembre. |
| Lacs de Neuchâtel, Zurich et Bienne . . . . . | Max.: Mai à juin, parfois décembre.<br>Min.: Août à septembre, hiver. |
| Katzensee . . . . . | Max.: Août et février. |

La répartition de cette espèce est semblable à celle de *Daphnia hyalina.*

*Diaphanosoma brachyurum.*
(Graphique XV.)

| | |
|---|---|
| Lac de Morat . . . . . | Max.: Août, septembre.<br>Manque de mars à juin. |
| Lac de Bienne . . . . | Rare. |

La répartition de cette espèce est semblable à celle de *Daphnia cucullata.*

*Leptodora hyalina.*

| | |
|---|---|
| Lac de Morat . . . . . | Max.: Juillet à août.<br>Absente de janvier à mai. |
| Lacs de Neuchâtel et de Zurich . . . . . | Max.: Eté.<br>Manque de décembre à avril. |

Ce beau Cladocère habite surtout les couches de 10 à 0 m.; on ne le trouve jamais en très grande quantité (max. 360 *Leptodora* sous 1 m² dans une pêche de 40 à 0 m.).

Cette espèce a tendance à former des essaims, comme Fuhrmann et Robert l'ont signalé pour le lac de Neuchâtel.

J'ai observé à trois reprises cette disposition dans le lac de Morat : Le 16 juillet 1935, je trouvais 1580 *Leptodora* sous 1 m² dans la couche de 10 à 0 m.; le 24, 1140 dans la même couche; le 2 septembre, 760 dans la couche de 20 à 10 m.

*Corethra plumicornis.*

Cette larve de Diptère est d'une grande beauté. Elle est tout à fait transparente; cette particularité lui permet de chasser plus facilement, car, comme *Leptodora hyalina,* elle est essentiellement carnivore.

De jour et durant toute l'année, elle se tient exclusivement dans les couches tout à fait profondes du lac, très pauvres en oxygène; on la trouve dans chaque pêche de 40 à 30 m. Elle est caractéristique des lacs eutrophes.

Elle monte à la surface juste après le coucher du soleil, très probablement pour y chercher sa nourriture; on la pêche alors en grande abondance dans la couche superficielle.

Wesenberg-Lund **(46)** fait une intéressante description de cette migration de *Corethra*. De nuit, il a observé à la surface la dernière métamorphose de cet insecte et l'accouplement des adultes. Il a assisté aussi à la ponte des œufs, mais déclare ne pas savoir si l'éclosion a lieu dans la région littorale ou dans la région profonde du lac. A cet égard, j'ai observé l'éclosion de *Corethra* dans de la vase pêchée à 43 m. de profondeur; dans le lac de Morat, les œufs tombent donc au fond du lac et donnent naissance aux larves dans la région profonde.

## Rotateurs.

Ce groupe est représenté dans le lac de Morat par dix espèces, surtout fréquentes en été.

### *Anuraea aculeata.*

Cette espèce n'est jamais représentée par un grand nombre d'individus à la fois. Il est difficile de préciser la période de son maximum. Il semble avoir lieu au printemps et en automne.

Dans le lac de Zurich, cette espèce est signalée soit comme Rotateur d'été, soit comme Rotateur d'hiver; dans le Greifensee, comme Rotateur d'hiver.

### *Anuraea cochlearis.*

*Anuraea cochlearis* est bien représentée.

| | |
|---|---|
| Lac de Morat . . . . . | Max.: Eté et automne.<br>Min.: Avril à juillet. |
| Lacs de Neuchâtel et de Zurich . | Max.: Juin à août.<br>Min.: Novembre à avril. |
| Greifensee, Katzensee . . . . | Max.: Mai. |

*Anuraea cochlearis* varie de forme et de dimensions suivant les saisons. Ses épines, principalement la postérieure, sont plus longues en hiver qu'en été; cependant, en été, on trouve côte à côte des individus à épines longues et des individus à épines courtes.

Voici les dimensions extrêmes mesurées pour *Anuraea :*

| | Janvier | Octobre | Juillet |
|---|---|---|---|
| Longueur . . . . . | 250 $\mu$ | 125 $\mu$ | 140 $\mu$ |
| Epine antérieure . . | 35 $\mu$ | 30 $\mu$ | 25 $\mu$ |
| Epine postérieure . . | 100 $\mu$ | 40 $\mu$ | 20 $\mu$ |
| Largeur . . . . . | 75 $\mu$ | 70 $\mu$ | 90 $\mu$ |

Dans beaucoup de lacs, le fait contraire se présente; les prolongements sont plus longs en été, et on a voulu y voir l'influence de la viscosité de l'eau, plus faible pour l'eau chaude que pour l'eau froide. Ce fait est contredit par mes observations dans le lac de Morat. Cependant *Daphnia cucullata* porte son long casque en été seulement. La question reste donc ouverte.

*Notholca longispina.*

On trouve cette espèce d'avril à novembre, toujours peu abondante.

Dans les lacs de Neuchâtel, de Zurich et dans le Greifensee, elle a son maximum de juillet à août; dans le lac de Bienne, en mai.

*Polyarthra platyptera.*

Cette espèce se montre de mai à septembre, toujours en petit nombre d'individus.

Dans les lacs de Neuchâtel, de Zurich et dans le Katzensee, elle est présente toute l'année, avec un maximum en juin (Katzensee, maximum septembre); dans le Greifensee, on ne la trouve que de mai à décembre avec son maximum en septembre.

*Triarthra longiseta.*

Ce Rotateur, en été, est très fréquent dans la couche de 30 à 40 m.

| | | |
|---|---|---|
| Lac de Morat . . . . . | Max.: | Novembre. |
| | Min.: | Août. |
| Lacs de Neuchâtel et de Zurich . | Max.: | Juillet. |
| Lac de Bienne . . . . . | Max.: | Mai. |
| Greifensee, Katzensee . . . | Max.: | Mars-avril. Manque de mai à octobre. |

*Anapus ovalis.*

Rotateur d'été, très fréquent dans cette saison. Il est présent toute l'année dans les lacs de Morat et de Neuchâtel et y atteint son maximum en été.

*Gastropus stylifer.*

On trouve ce Rotateur de juin à décembre ou janvier seulement; il atteint son maximum en août et en automne.

| | | |
|---|---|---|
| Lac de Neuchâtel . . | Max.: | Juin. |
| | Min.: | Février à mars. |
| Lac de Zurich . . . | Max.: | Hiver. |
| Greifensee, Katzensee . | Max.: | Eté. |

On le rencontre durant toute l'année dans ces quatre lacs.

*Rattulus capucinus.*

On le trouve de juillet à décembre, avec son maximum en été. Il en est de même dans le lac de Neuchâtel; il disparaît en septembre déjà dans le lac de Bienne; dans celui de Zurich, il n'est signalé qu'en juillet et août, tandis qu'on le trouve de mai à novembre dans le Katzensee.

*Asplanchna priodonta.*

Elle habite les eaux du lac d'octobre à juin.

| | |
|---|---|
| Lac de Morat . . . | Max.: Juin. |
| Lacs de Neuchâtel et de Bienne . . . | Max.: Mai. Manque d'août à octobre. |
| Lac de Zurich . . . | Max.: Eté. Présente toute l'année. |
| Katzensee . . . . | Présente de décembre à avril. |

## Infusoires.

Six espèces se trouvent dans le lac de Morat.

*Codonella lacustris.*

Cette espèce a été rencontrée de mai à juillet, puis de novembre à janvier; elle est très fréquente dans le plancton en mai et en novembre. Dans les lacs de Zurich et de Hallwyl, on la trouve en été seulement; dans le Greifensee, elle manque de juin à novembre et a son maximum en avril; on la trouve encore dans les lacs de Lugano et de Sempach.

*Epistylis.*

On trouve ces Infusoires en très grand nombre en été. Ils sont toujours à l'état libre; une seule fois cependant, un exemplaire était fixé à un *Cyclops*. Je n'ai pu rattacher cette espèce à aucun *Epistylis* connu.

*Coleps hirtus* du lac de Morat est une variété en forme de tonneau qui ressemble beaucoup au *Coleps* pêché par Paul Godet dans l'ancienne Thielle. *Stentor igneus* est aussi une forme automnale. *Cothurniopsis vaga* parasite fréquemment *Melosira.*

*Nassula ornata*, superbe Infusoire, fut trouvé en automne 1935 dans la région littorale; il était rougeâtre, parce qu'il avait absorbé une grande quantité d'*Oscillatoria rubescens.*

## Dinoflagellés.

*Peridinium.*

Ce genre est représenté par deux espèces, *Peridinium cinctum* et *Peridinium volzi.*

| | | |
|---|---|---|
| Lac de Morat . . | Max.: | Eté. |
| | Min.: | Novembre. Absente de décembre à mai. |
| Lac de Zurich . . | Max.: | Juin. |
| Greifensee . . . | Max.: | Août. Manque de décembre à février. |
| Katzensee . . . | Max.: | Eté. Présente toute l'année. |

Les individus se trouvent surtout en grand nombre près de la surface.

*Ceratium hirundinella.*

| | | |
|---|---|---|
| Lac de Morat . . | Max.: | Juin à juillet. |
| | Min.: | Décembre à mai. |
| Lac de Neuchâtel . | Max.: | Août à septembre. |
| | Min.: | Octobre à avril. |
| Lac de Zurich . . | Max.: | Eté. |
| Lac de Bienne . | Max.: | Septembre. |
| | Min.: | Mars à mai. |
| Greifensee . . . | Max.: | Juillet à décembre. Manque en février. |
| Katzensee . . . | Max.: | Juillet à décembre. |
| | Min.: | Décembre à mars. |

Les formes *gracile*, *austriacum*, *scotticum* et *robustum* (Bachmann) sont représentées dans le lac de Morat. La première seule persiste toute l'année, quoique en très petit nombre dans le plancton d'hiver; la forme *austriacum*, toujours bien moins abondante que la précédente, l'est surtout au printemps et en automne; les formes *scotticum* et *robustum* sont rares, surtout la dernière.

Les formes à quatre cornes prédominent de fin juin à fin août; durant les autres mois, on trouve surtout des formes à trois cornes.

La longueur des *Ceratium* varie de 125 à 280 $\mu$, leur largeur de 50 à 80 $\mu$. Voici les longueurs trouvées dans d'autres lacs suisses **(3)** :

| | |
|---|---|
| Brenets . . . . . | 203 à 271 $\mu$ |
| Greifensee . . . . . | 131 à 259 $\mu$ |
| Bret . . . . . | 120 à 276 $\mu$ |
| Bienne . . . . . | 122 à 180 $\mu$ |
| Neuchâtel . . . . . | 140 à 210 $\mu$ |
| Zurich . . . . . | 122 à 254 $\mu$ |
| Hallwyl . . . . . | 146 à 150 $\mu$ |

Les *Ceratium* du lac de Morat font donc partie des toutes grandes formes.

Les kystes ont été trouvés en assez grand nombre d'août à octobre.

*Gymnodinium neglectum.*

Cette curieuse espèce se trouve toute l'année, sauf en février et en mars; elle atteint son maximum à la fin de septembre. Toujours contractée dans le formol, elle a l'aspect, dans ce liquide, d'un disque de gelée avec une tache verte au milieu. Souvent deux individus sont accolés l'un à l'autre.

### Euflagellés.

*Dinobryon.*

Nous avons quatre espèces de *Dinobryon* dans le lac de Morat :

a) *Dinobryon divergens.* Avril-octobre. Max.: Eté.
Lac de Zurich, *id.*

b) *Dinobryon sociale.* Mai-novembre, en petit nombre.
Greifensee, *id.*
Max.: Avril-novembre.

c) *Dinobryon stipitatum.* Eté.

d) *Dinobryon sertularia.* Août à novembre. Max.: Sept.-octobre.

Voici les maximums des *Dinobryon*, sans distinction d'espèces, pour les lacs suivants :

| | |
|---|---|
| Neuchâtel . . | Max.: Eté. Manque de décembre à avril. |
| Zurich . . . | Max.: Mai à octobre; varie beaucoup suivant les années. |
| Katzensee . . | Max.: Juillet-août; novembre. |

*Mallomonas producta* est une forme d'automne.

## CHAPITRE VI

# Algues.

### Diatomées.

Les Diatomées forment le groupe d'algues le plus important du lac de Morat, avec onze espèces. A tous les moments de l'année, on trouve des Diatomées dans le plancton; elles sont dominantes pendant tous les mois, avec les exceptions suivantes :

En 1934, elles étaient fréquentes en juillet, rares d'août à octobre.
En 1935, elles étaient fréquentes de juillet à août et en octobre.

Le Greifensee et le lac de Zurich sont aussi riches en Diatomées; elles y atteignent leur plus grand développement au printemps et en automne et un minimum en été. Le lac de Neuchâtel et le Katzensee sont pauvres en algues de ce genre.

Pour le lac de Morat, l'apparition, les maximums et les minimums des différentes espèces varient beaucoup suivant les années. Voici ceux que j'ai observés :

| | | Maximum |
|---|---|---|
| 1935. | Janvier à avril . . . . . | *Melosira islandica* |
| 1934. | Mai à juin . . . . . | *Synedra delicatissima* |
| 1935. | Mai à juin . . . . . | *Tabellaria fenestrata* |
| 1935. | Fin août et début sept. . . | *Fragilaria crotonensis* |
| 1935. | Novembre à décembre . . | *Asterionella gracillima* |

Chodat signale en 1898 que « le plancton superficiel des grands lacs entre le Jura et les Alpes est pauvre ou dépourvu de *Melosira* » (**11**). Il cite les lacs de Neuchâtel, de Bienne, de Morat et le Greifensee comme pauvres en algues de ce genre.

L'étude que j'ai faite m'a permis de constater, contrairement à Chodat, un développement prodigieux de cette algue. Chodat a certainement pêché dans le lac de Morat en été seulement, moment du minimum de cette espèce. Il est impossible de caractériser un lac d'une façon absolue par son plancton, qui est sujet à des variations considérables dans le cours des saisons et d'une année à l'autre.

Passons en revue les maximums et les minimums des principales Diatomées.

*Asterionella gracillima.*

| | |
|---|---|
| Lac de Morat . . | Max.: Mai, septembre, octobre à novembre.<br>Min.: Janvier à mai. |
| Lac de Neuchâtel . | Max.: Avril.<br>Min.: Mai à juin. |
| Lac de Zurich . . | Max.: Avril et septembre. |
| Greifensee . . . | Max.: Février à mars; octobre à novembre. |

Cette Diatomée est souvent parasitée par *Salpingoeca frequentissima.*

*Fragilaria crotonensis.*

| | |
|---|---|
| Lac de Morat . . | Max.: Mai, novembre pour 1934.<br>Mai, août-septembre pour 1935.<br>Min.: Septembre pour 1934.<br>Juin-juillet pour 1935. |
| Lac de Neuchâtel . | Max.: Novembre-décembre.<br>Min.: Mars-août. |
| Lac de Zurich . . | Max.: Printemps et automne, parfois août. |
| Greifensee . . . | Max.: Novembre. |

Des parasites se rencontrent fréquemment sur cette espèce. Ce sont *Suctoria* sp. et *Bikosoeca lacustris.*

*Melosira islandica* var. *helvetica.*

Max.: Janvier à mai.
Min.: Mai à octobre.

Cette algue se développe en hiver avec une telle abondance qu'elle forme à elle seule presque tout le plancton. Ses dimensions varient beaucoup; ses cellules peuvent mesurer de 24 à 28 $\mu$ sur 5 à 24 $\mu$.

En avril 1934, j'ai pu observer la formation d'auxospores. Presque tous les filaments de *Melosira* étaient arrondis à l'une ou même à leurs deux extrémités. Ces spores ont persisté jusqu'à la disparition de l'espèce; en novembre et en décembre de la même année, j'en ai retrouvé quelques-unes; de janvier à avril 1935, moment du développement prodigieux de cette espèce, il n'y avait point d'auxospores!

*Tabellaria fenestrata.*

Durant presque toute l'année, cette espèce ne forme que des étoiles dans le lac de Morat, en opposition à ce qui se passe dans d'autres lacs, où elle ne forme que des chaînes.

| | | |
|---|---|---|
| Lac de Morat . . . | Max.: | Mai-juin. |
| | Min.: | Eté ou automne. |
| Lac de Zurich . . . | Max.: | Mai et novembre. |

Les *Cyclotella* et *Stephanodiscus* font partie du plancton d'hiver et de printemps; *Campylodiscus* se trouve au printemps et en été.

*Synedra delicatissima* a deux maximums : avril-juin et fin novembre; son minimum a lieu en été.

## Schizophycées.

Deux algues de ce groupe, *Microcystis aeruginosa* et *Oscillatoria rubescens*, sont spécialement importantes dans le lac de Morat parce qu'elles donnent naissance à des « fleurs d'eau ».

La première commence à se développer au mois de juillet (température de l'eau 24°); au mois d'août, elle atteint son maximum; à l'œil nu, on remarque que l'eau est constellée de petits filaments verts plus ou moins contournés et aux formes étranges. Au bord, dans les endroits abrités, ces algues couvrent l'eau d'un véritable tapis jaune verdâtre. En septembre, *Microcystis* diminue et, à la fin de ce mois, cette algue a tout à fait disparu de la surface (température 18°).

Cependant, en octobre et en novembre, j'en ai trouvé encore quelques rares colonies dans mes pêches; elles étaient alors circulaires.

*Oscillatoria rubescens* est l'algue caractéristique du lac de

Morat. Elle y a été signalée pour la première fois en 1825 par le Dr Engelhardt et Trechsel et étudiée par de Candolle. Depuis lors, on l'a rencontrée dans de nombreux lacs suisses et étrangers. Lozeron (**33**, p. 166-167) a fait d'intéressantes observations sur cette algue dans le lac de Zurich. Il a vu toute la surface recouverte d'une couche brun-rouge qui demeura tant que la surface de l'eau resta immobile; un léger vent disloqua la masse

Fig. 5. *Microcystis aeruginosa.*

en longues bandes qui furent poussées vers la rive. Bachmann (**5**, p. 61) a fait aussi des observations sur *Oscillatoria rubescens* dans le Rotsee.

D'avril 1934 à juin 1935, à mon grand étonnement, cette algue paraissait avoir tout à fait abandonné le lac de Morat. En juillet, les pêches continrent soudain quelques filaments d'*Oscillatoria rubescens* dont le nombre augmenta avec l'été. Le 1er septembre, le plancton, qui, rassemblé dans le flacon, avait toujours une couleur verdâtre, changea brusquement d'aspect et devint brunâtre; il était formé en grande partie de *Fragilaria* et d'*Oscillatoria.* Le 15 septembre, le nombre de filaments de cette dernière espèce avait considérablement augmenté; mais c'est le 20 septembre seulement, dans un endroit abrité, que je constatai pour la première fois la coloration rouge sang de l'eau sur un petit espace. Le 22 septembre, le plancton recueilli dans le flacon était rougeâtre. A partir de cette date, le lac, par temps calme, était

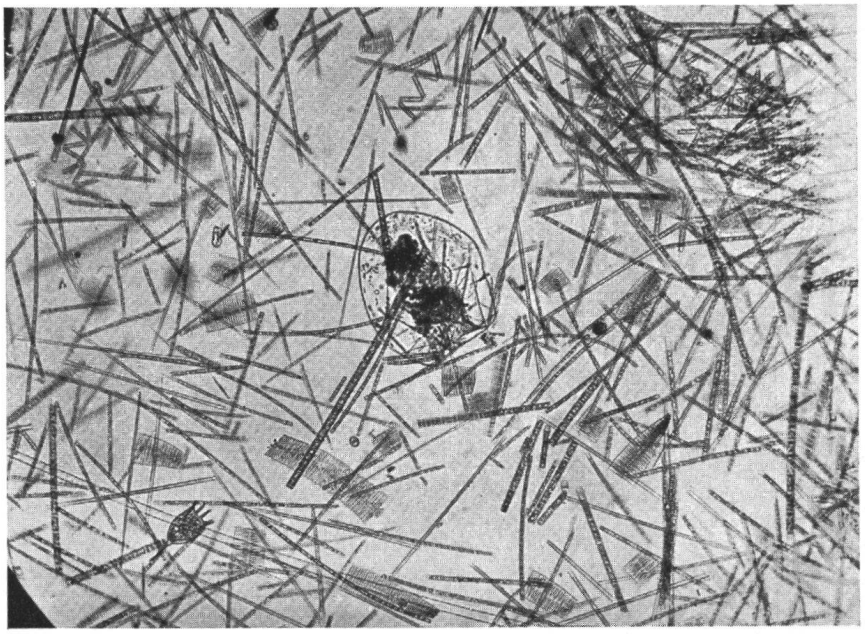


Fig. 1. 30 décembre 1934. *Melosira, Fragilaria crotonensis, Tabellaria fenestrata* var. *asterionelloides, Asplanchna helvetica, Anuraea cochlearis.*

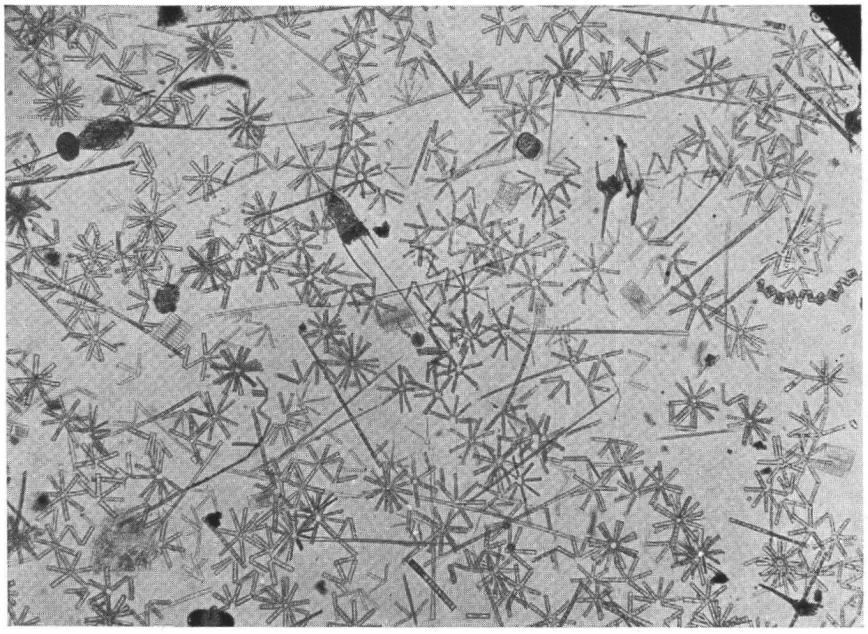


Fig. 2. Mai 1935. *Tabellaria fenestrata* var. *asterionelloides,* Rotateurs.

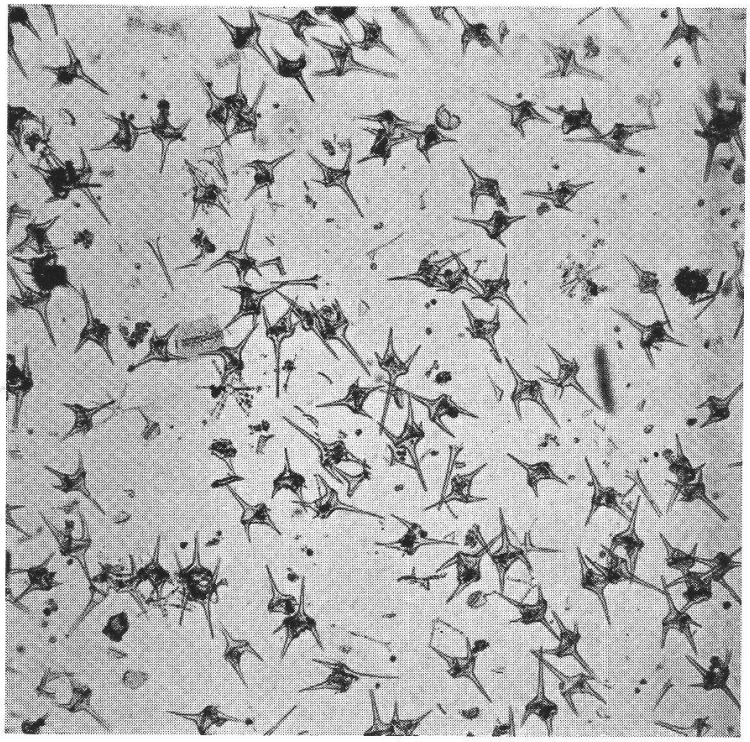


Fig. 1. Juin 1935. *Ceratium hirundinella.*

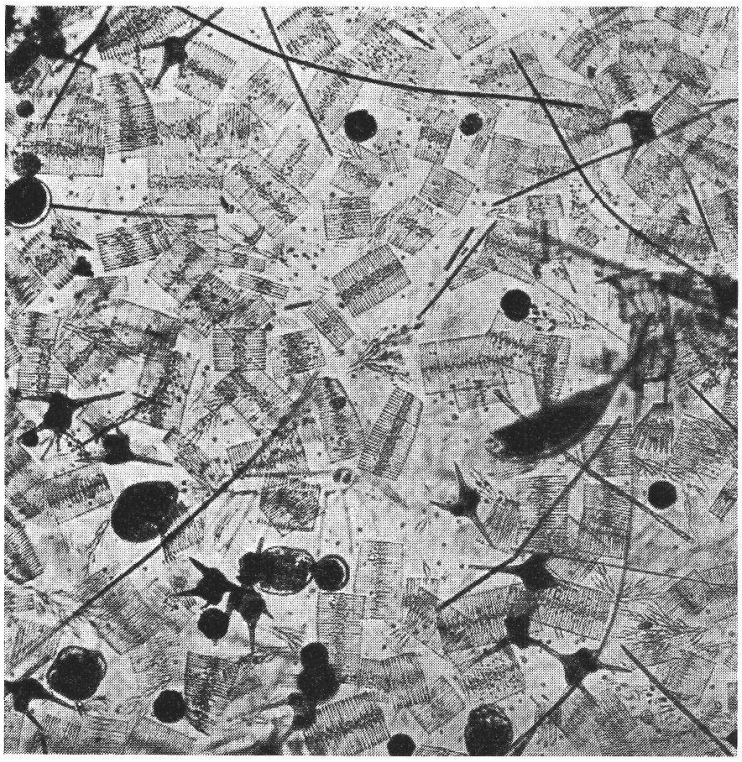


Fig. 2. 23 août 1935. *Fragilaria crotonensis, Dinobryon divergens, Oscillatoria rubescens, Ceratium hirundinella, Peridinium,* Rotateurs.

recouvert de longues et épaisses traînées rouges, surtout dans les bords, mais aussi quelquefois au large. Entre ces épaisses taches, on distinguait parfaitement à l'œil nu des touffes d'*Oscillatoria* qui donnaient à toute l'eau une coloration brun-rouge tout à fait étrange. Dès que le vent se levait, la couche superficielle était brisée et disparaissait. Le 19 novembre, date de ma dernière pêche, *Oscillatoria* était en train de diminuer.

## CHAPITRE VII

# Apparition des diverses espèces de phytoplancton.

J'ai cherché à caractériser, dans les lignes qui suivent, le phytoplancton du lac de Morat en mentionnant ses composants principaux seulement et les moments où ils forment, à eux seuls, la grande majorité de celui-ci (le moment où une espèce est dominante).

Quelques microphotographies, faites avec l'appareil de l'Institut de physique, illustrent cette liste.

Dom. = dominante.
Fréq. = fréquente.

| | |
|---|---|
| 1934 | |
| Avril . . . . | Dom.: *Melosira.* Fréq.: *Synedra, Stephanodiscus.* |
| 23 avril . . . | Dom.: *Synedra.* Fréq.: *Melosira, Fragilaria, Stephanodiscus.* |
| 7 mai . . . | Comme en avril. Fréq.: *Asterionella, Dinobryon Fragilaria.* |
| Juin . . . . | Pas d'observations pendant ce mois. |
| Juillet . . . . | Dom.: *Ceratium.* Fréq.: *Fragilaria.* |
| 6 août . . . | Dom.: *Ceratium, Dinobryon.* Pas rare: *Anuraea,* Rotateurs, *Fragilaria.* |
| 31 août . . . | Dom.: *Dinobryon, Asterionella.* |
| 2 septembre . | Dom.: *Ceratium.* Fréq.: *Asterionella.* |
| 14 et 22 sept. . | Dom.: *Dinobryon sertularia.* Fréq.: *Ceratium.* |
| 29 octobre . . | Dom.: *Asterionella.* Fréq.: *Dinobryon, Fragilaria.* |
| 7 novembre . | Dom.: *Fragilaria, Asterionella.* |
| 24 novembre . | Dom.: *Fragilaria.* Fréq.: *Melosira.* (Pl. I, fig. 1.) |
| Décembre . . | *Id.* |
| 1935 | |
| Janvier, février et mars . . | Dom.: *Melosira.* Pas rare: *Fragilaria, Tabellaria.* |
| 22 avril . . . | Dom.: *Melosira.* Fréq.: *Tabellaria.* |
| 11 mai . . . | Dom.: *Tabellaria.* Fréq.: *Asterionella.* (Pl. I, fig. 2.) |
| 2 juin . . . | Dom.: *Tabellaria, Dinobryon.* Fréq.: *Ceratium.* |

| | |
|---|---|
| 1935 | |
| 2 juillet . . | Dom.: *Ceratium.* Fréq.: *Tabellaria.* (Pl. II, fig. 1.) |
| 24 juillet . . | Dom.: *Ceratium, Dinobryon.* Fréq.: *Fragilaria.* |
| 23 août . . . | Dom.: *Fragilaria.* Fréq.: *Dinobryon, Ceratium, Oscillatoria, Microcystis.* (Pl. II, fig. 2.) |
| Septembre . . | Dom.: *Fragilaria, Oscillatoria.* Fréq.: *Ceratium.* |
| Octobre . . . | Dom.: *Oscillatoria.* Fréq.: *Asterionella.* |

## Répartition horizontale.

La répartition horizontale du plancton dans un lac est partout la même, si les conditions de vie sont aussi partout semblables.

Si les différentes parties d'un lac sont séparées les unes des autres par des presqu'îles, des îles, des bancs de sable, ou qu'une agglomération urbaine se trouve sur ses bords, les conditions de vie du plancton deviennent différentes et il n'est plus réparti de la même façon dans tout le lac.

Comme le lac de Morat a une forme très simple, sans découpures importantes, sans ville industrielle, il n'est pas surprenant que la répartition du plancton soit à peu près homogène. J'ai fait quelques mesures pour m'en assurer.

| 1934 | Station | Profondeur | Plancton |
|---|---|---|---|
| 14 septembre . . . | III | 20 à 0 m. | 8,7 cm³ |
| | II | » » | 8,1 |
| 12 octobre . . . . | IV | » » | 7,9 |
| | V | » » | 6,7 |
| | II | » » | 8,0 |
| | III | » » | 6,0 |
| 1935 | I | » » | 5,3 |
| 25 mai . . . . . | V | » » | 7,0 |
| | III | » » | 6,3 |
| 2 juin . . . . . | IV | » » | 13,7 |
| | III | » » | 11,9 |

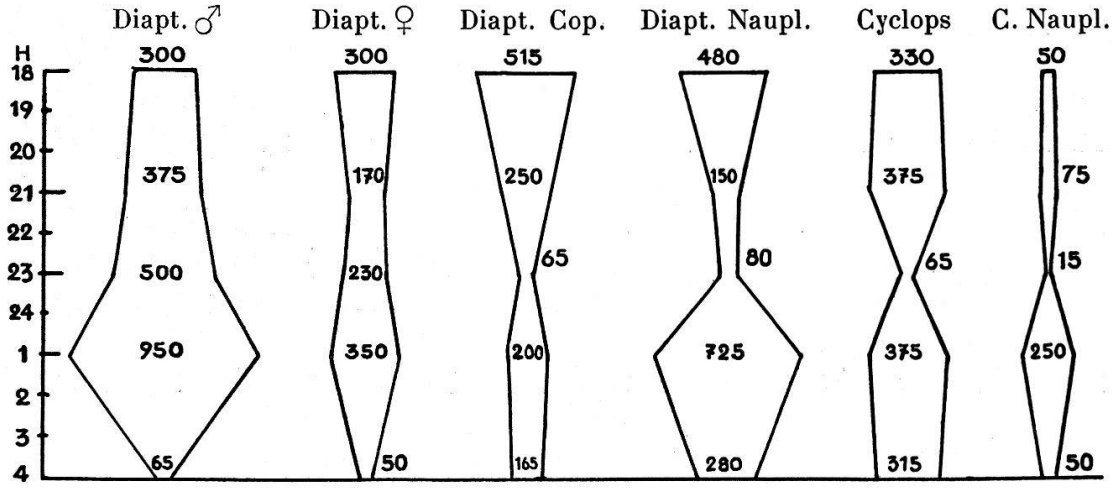
Les petites divergences constatées entre deux stations peuvent s'expliquer par l'imprécision des méthodes employées. La plus importante est de 2,7 cm³ le 12 octobre entre les stations II et I. Les mailles du filet, à la quatrième pêche, sont obstruées par le phytoplancton; pour cette raison, le filet pêche moins bien alors.

## Migrations verticales.

En général le plancton est, à la surface, plus abondant de nuit que de jour; il est aussi plus abondant à la surface par un temps couvert que par le soleil. Il doit donc se produire des migrations qui seront plus ou moins marquées suivant les lacs.

J'ai tenté d'étudier ces migrations dans le lac de Morat.

Le 27 août 1934, à 21 h., par une nuit sans lune, j'ai fait une




Gr. XVI. Répartition de nuit du plancton à la surface (nombre d'individus dans 30 l. d'eau), 16 et 17 août 1935.

série de pêches étagées; les résultats furent les mêmes que ceux des pêches diurnes. Je supposai qu'à 21 h. les animaux n'avaient pas encore eu le temps d'accomplir leurs migrations et je repris mon étude le 10 octobre suivant, à 2 h. 30 du matin, par une nuit sans lune aussi.

La répartition était encore très semblable à celle observée de jour; le maximum de toutes les espèces animales était entre 5 et 0 m., sauf pour les *Cyclops* et leurs Nauplius qui se tenaient respectivement entre 5 et 10 m. et 10 et 20 m.

N'existe-t-il donc pas de migration dans le lac de Morat? Le plancton qui habite de jour la couche superficielle ne peut naturellement pas monter plus haut pendant la nuit. Cependant, j'avais remarqué qu'à 21 h. la couche de 5 à 0 m. était très riche en larves de *Corethra plumicornis*, tandis qu'à 2 h. du matin elle n'en contenait plus du tout. De jour, je n'avais jamais trouvé cette larve qu'entre 30 et 40 m. Pour cette espèce, on constatait donc une migration verticale frappante.

Je reprends l'étude des migrations les 16 et 17 août 1935; cette fois-ci, j'utilise une méthode toute différente.

A 15, 18, 21, 23, 1 et 4 h., à 50 m. au large de Guévaux (profondeur 37 m.), je remplis, à chaque reprise, trois fois un seau de 10 litres d'eau prélevée à la surface; je la verse dans le filet qui la filtre. La mesure porte donc sur 30 l. d'eau. Le plancton est recueilli dans un flacon, fixé au formol, mesuré dans les tubes gradués et dénombré suivant la méthode ordinaire. Le phytoplancton est évalué au juger dans une préparation microscopique.

Le 16 août, à 15 h., par un soleil ardent, les couches superficielles étaient très pauvres en Crustacés. Puis, à mesure que la nuit s'écoule, la quantité de plancton augmente par suite de la migration. Le graphique XVI reproduit les résultats des mesures; celles effectuées à 15 h. n'y figurent pas, les quantités pêchées étant trop faibles pour être évaluées.

Les circonstances étaient les suivantes :

*16 août.*

18 h. Légère bise, soleil. Temp. eau : 22°,5; air : 20°,8. Copépodes et Cladocères à la surface, sauf *Bosmina.*

21 h. Calme. Lune depuis un quart d'heure. Temp. eau : 21°,8; air : 16°,2. Le zooplancton a diminué à la surface, sauf les *Diaptomus* ♂, les *Cyclops* et leurs Nauplius qui sont plus nombreux qu'avant.

23 h. Légère bise, lune. Temp. eau : 21°,8; air : 15°,1. Les Copépodes ont leur minimum à la surface, à l'exception des *Diaptomus* adultes; les Cladocères aussi, sauf les *Bosmina.*

*17 août.*

1 h. Léger vent, lune. Temp. eau : 21°,7; air : 13°,3. Les Copépodes sont nombreux à la surface, sauf les Copépodites de *Diaptomus.*

4 h. Léger vent, lune. Temp. eau : 21°,7; air : 11°,7. Les Copépodes ont abandonné les couches superficielles, tandis que les Cladocères y sont bien plus nombreux qu'aux heures précédentes.

On voit que c'est à 1 h. du matin que le plancton est le plus dense à la surface, à l'exception des Cladocères; après ce moment-là, les couches superficielles se dépeuplent et les animaux redescendent dans les couches sous-jacentes. Les Cladocères, à l'exception des *Leptodora*, habitent en très grand nombre la surface juste avant le lever du soleil.

Voici les résultats obtenus pour *Corethra plumicornis* et *Leptodora hyalina :*

| | *Leptodora* contenus dans 30 l. | *Corethra* contenus dans 30 l. |
|---|---|---|
| 21 h. . . . . | 105 | *410* |
| 23 h. . . . . | *130* | 60 |
| 1 h. . . . . | 60 | 5 |
| 4 h. . . . . | 20 | 0 |

Le phytoplancton et les Rotateurs n'accomplissent pas de migrations dans le lac de Morat. Burckhardt, Linder et Ruttner n'en ont pas non plus observé chez les Rotateurs, à l'exception d'une ou de deux espèces.

Dans le lac de Plön, bien étudié au point de vue des migrations, Ruttner a constaté que les Nauplius de *Diaptomus* et de *Cyclops* ne montaient pas de nuit à la surface; il a fait les mêmes observations dans les Lunzer Seen.

Voici le tableau récapitulatif des observations dans le lac de Morat que je vais comparer avec celles du lac de Plön.

### *Lac de Morat.*

| | Maximum à 0 m. | Minimum à 0 m. |
|---|---|---|
| *Diaptomus adultes* . . . | 1 h. | 4 h. |
| *Nauplius de Diaptomus* . | 1 h. | 23 h. |
| *Copépodites de Diaptomus* | 18 h. | 23 h. |
| *Cyclops* . . . . . | 21 h. et 1 h. | 23 h. |
| *Nauplius de Cyclops* . . | 1 h. | 23 h. |
| *Cladocères* . . . . . | 4 h. | 21 à 1 h. exc. *Bosmina.* |
| *Bosmina* . . . . . | 23 h. | 18 à 21 h. |
| *Leptodora* . . . . . | 23 h. | 4 h. |
| *Corethra* . . . . . | 21 h. | 1 h. Disparaît à 4 h. |
| *Zoo- et phytoplancton* . . | 1 h. | 23 h. |

### *Lac de Plön* (Ruttner, août 1910).

| | | |
|---|---|---|
| *Diaptomus* . . . . . | 12 h. | 21 h. Disparaît à 4 h. |
| *Cyclops* . . . . . | 3 à 4 h. | 21 h. Disparaît après 4 h. |
| *Nauplius de Diaptomus et de Cyclops* . . . . . | Pas de migration. | |
| *Cladocères* . . . . . | 20 h. et 6 h. | 3 h. |
| *Leptodora* . . . . . | 12 h. | 21 h. et après 4 h. |

Les heures de maximum et de minimum sont différentes dans les deux lacs; seuls, les *Diaptomus* et les *Leptodora* accomplissent leurs migrations à peu près de la même façon.

Des pêches de 5 à 0 m., faites aux mêmes heures que les observations précédentes, présentent de petites différences au cours de la nuit.

Ces différences sont frappantes surtout pour *Leptodora* et *Corethra.*

| | *Leptodora* | *Corethra* |
|---|---|---|
| 21 h. . . . . | 420 | *1640* |
| 23 h. . . . . | *520* | 240 |
| 1 h. . . . . | 340 | 20 |
| 4 h. . . . . | 80 | 0 |

Robert, dans le lac de Neuchâtel, a constaté de très grandes migrations, pouvant aller jusqu'à 80 m., pour *Diaptomus gracilis*, *Diaptomus laciniatus*, *Cyclops strenuus* et *Daphnia hyalina;* elles sont donc très étendues dans un lac très transparent.

En résumé, les Cladocères et les Copépodes accomplissent dans le lac de Morat des migrations peu étendues, puisque de jour le plancton est déjà concentré près de la surface. Seule la larve de *Corethra* peut traverser une couche d'eau de 40 m. pour monter à la surface après le coucher du soleil.

# BIBLIOGRAPHIE

*S. N. S. N.* : Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles.
*Int. Rev.* : Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, Leipzig.
*Archiv.* : Archiv für Hydrobiologie und Planktonkunde, Stuttgart.
*Rev. s. de zool.* : Revue suisse de zoologie, Genève.


1. Amberg, Otto. 1900. Beiträge zur Biologie des Katzensees. *Viertelj. d. Naturf. Ges. Zürich,* Jahr XLV.
2. Auerbach, Max. 1931. Studien über die Zooplanktonverteilung im Bodensee im Verlauf von 24 Stunden. I. *Zeitschr. für Hydrologie,* VI. Jahrg. Aarau.

2 a. Bachmann, Hans. 1901. Beitrag zur Kenntnis der Schwebeflora der Schweizerseen. *Biolog. Centralblatt,* Bd. XXI.

3. Bachmann, Hans. 1907. Vergleichende Studien über das Phytoplankton von Seen Schottlands und der Schweiz. *Archiv.*, III.
4. Bachmann, Hans. 1911. Das Phytoplankton des Süsswassers mit besonderer Berücksichtigung des Vierwaldstättersees. *Mitt. d. Naturf. Ges. Luzern,* Heft VI. Luzern.
5. Bachmann, Hans. 1931. Hydrobiologische Untersuchungen am Rotsee. *Rev. d'hydr.,* V^me^ année, n° 3-4. Aarau.
6. Behrens, Hugo. 1914. Die vertikale Verteilung des Crustaceenplanktons. *Veröffentl. d. Kgl. Instituts f. Meereskunde u. d. Geogr. Instituts.* Berlin.
7. Brutschy, A. 1922. Die Vegetation und das Zooplankton des Hallwilersees. *Int. Rev.,* Bd. X.
8. Brutschy, A. & Güntert, A. 1923. Gutachten über den Rückgang des Fischbestandes im Hallwilersee. *Archiv.*, Bd. XIV.
9. Burckhardt, G. 1899. Faunistische und systematische Studien über das Zooplankton der grösseren Seen der Schweiz und ihrer Grenzgebiete. *Rev. s. de zool.,* t. 7.
10. de Candolle. Notice sur une matière qui a coloré en rouge le lac de Morat au printemps de 1825. *Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève,* t. III.
11. Chodat, R. 1898. Remarques sur la flore pélagique superficielle des lacs suisses et français. *Bull. de l'herbier Boissier*, t. V, n° 5. Genève.
12. Colditz, Friedrich Volkmar. 1914. Beiträge zur Biologie des Mansfelder Sees mit besonderen Studien über das Zentrifugenplankton und seine Beziehungen zum Netzplankton der pelagischen Zone. *Zeitschr. f. wissenschaftliche Zoologie.* Bd. CVIII, Heft 4.

13. Du Pasquier, L. Le niveau des lacs de Neuchâtel, Bienne et Morat de 1891 à 1895. *S. N. S. N.*, t. XXIII et XXIV.
14. 1905. *Dictionnaire géographique de la Suisse.*
15. Elster, H.-J. und Gessner, F. 1935. Die chemische und biologische Sommerschichtung im Bodensee (Ober- und Untersee). Aus dem Inst. f. Seenforschung u. Seenbewirtschaftung. Langenargen, Greifswald.
16. Findenegg, Ingo. 1935. Limnologische Untersuchungen im Kärtner-Seengebiete. *Int. Rev.*, Bd. 32. Leipzig.
17. Forel, F.-A. 1880. Températures lacustres. Recherches sur la température du lac Léman et d'autres lacs d'eau douce. *Archiv. de Genève*, III, 501 et IV, 89.
18. Forel, F.-A. 1884. La faune profonde des lacs suisses. *Mémoires Soc. helv. sc. nat.*
19. Forel, F.-A. 1892. Le Léman. Monographie limnologique.
20. Fuhrmann, Otto. 1899. Propositions techniques pour l'étude du plankton des lacs suisses. *Archiv. d. sc. phys. et nat.* 4me pér., t. VIII. Lausanne-Paris.
21. Fuhrmann, Otto. 1900. Le plankton du lac de Neuchâtel. *S. N. S. N.*, XXVIII. Neuchâtel.
22. Fuhrmann, Otto. 1900. Beitrag zur Biologie des Neuenburger Sees. *Biol. Centralbl.*, Bd. XX. Leipzig.
23. Grosjean, P. 1935. La faune pélagique. En contribution à l'étude de la faune microscopique du lac de Bienne. Thiébaud, M. et Grosjean, P. *Annales biennoises.*
24. Guyer, Oskar. 1910. Beiträge zur Biologie des Greifensees unter besonderer Berücksichtigung der Saisonvariation von Ceratium hirundinella. *Archiv.*, Bd. VI. Stuttgart.
25. Heuscher, J. 1901. Thuner- und Brienzer-See, ihre biologischen und Fischerei-Verhältnisse. Annexe *Schweizerische Fischerei Zeitung.*
26. Heuscher, Hans. 1915. Das Zooplankton des Zürich-Sees mit besonderer Berücksichtigung der Variabilität einiger Plankton-Cladoceren. *Archiv.*, Bd. XI.
27. Hubault, E. 1932. Le lac de Lispach dans les Vosges. Etude hydrobiologique. *Annales de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts et de la station de recherches et expériences forestières,* t. IV. Nancy-Paris-Strasbourg.
28. Huber, Gottfried. 1905. Monographische Studien im Gebiete der Montigglerseen (Süd-Tirol) mit besonderer Berücksichtigung ihrer Biologie. *Archiv.*, Bd. I.
29. Klut, H. 1931. Untersuchung des Wassers am Ort und Stelle. Springer, Berlin.
30. Lenz, F. 1928. Einführung in die Biologie der Süsswasserseen. Springer, Berlin.
31. Linder, Charles. 1904. Etude de la faune pélagique du lac de Bret. *Rev. s. de Zool.*, t. 12.
32. Le Roux, Marc. 1907. Recherches biologiques sur le lac d'Annecy. *Annales de Biologie lacustre,* t. II. Bruxelles.

33. Lozeron, H. 1902. La répartition verticale du plancton dans le lac de Zurich. *Viertelj. d. Natur. Ges. Zürich,* Jahrg. XLVII.
34. Maucha, R. 1932. Hydrochemische Methoden der Limnologie. Die Binneng. *Mitteleuropas,* Bd. XII.
35. Monard, A. 1919. La faune profonde du lac de Neuchâtel. *S. N. S. N.,* t. XLIV.
36. van Oye, Paul und Luyten, Maurits. 1934. Tageswanderungen der Cladoceren in Teichen. *Int. Rev.,* Bd. 31.
37. Pelloni, Elzio. 1936. Contributo all'indagine idrochimica e idrobiologica del Verbano (Bacino di Locarno). *Bollettino della Società ticinese di Scienze naturali.* Locarno.
38. de Perrot, S. Données hydrologiques. *S. N. S. N.,* t. XXV-LI.
39. Robert, Henri. 1921. Contribution à l'étude du zooplancton du lac de Neuchâtel. *S. N. S. N.,* t. XLV.
40. Ruttner, Franz. 1905. Über das Verhalten des Oberflächenplanktons zu verschiedenen Tageszeiten im Grossen Plöner See und in zwei nordböhmischen Teichen. *Plöner Forschungsberichte,* Bd. XII. Stuttgart.
41. Ruttner, F. 1930. Das Plankton des Lunzer Untersees. *Int. Rev.,* Bd. 23.
42. Steinmann, P. und Surbeck, G. 1934. Untersuchungen über das Zooplankton des Rotsees bei Luzern. *Zeitschr. für Hydrologie,* Bd. VI.
43. Theiler, Alfred. 1917. Beiträge zur Planktonkunde des Sempacher- und Baldeggersees. *Mitt. d. Naturf. Ges. Luzern,* Heft VII.
44. Thienemann, August. 1925. Die Binnengewässer Mitteleuropas. *Die Binneng. Mitteleuropas,* Bd. I.
45. Thienemann, August. 1928. Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See. *Die Binneng. Mitteleuropas,* Bd. IV.
46. Wesenberg-Lund. 1909. Über pelagische Eier, Dauerzustände und Larvenstadien der pelagischen Region des Süsswassers. *Int. Rev.,* Bd. II.

# TABLE DES MATIÈRES


| | | Pages |
|---|---|---|
| Introduction | . . . . . | 125 |
| Chapitre I. | *Relations morphologiques, géographiques et géologiques* . | 126 |
| | Régime hydrographique, 126. — Couleur, 127. — Transparence, 127. | |
| Chapitre II. | *Thermique*. . . . . | 131 |
| Chapitre III. | *Chimie* . . . . . | 140 |
| | Oxygène, 141. — Carbonates, 144. — Phosphates, 144. — Silicates, 144. — Nitrites, 144. — Vase du fond du lac, 144. | |
| Chapitre IV. | *Etude du plancton* . . . . . | 146 |
| | Technique, 146. — Mode opératoire, 147. — Biologie, 147. — Répartition verticale, 149. — Composition du plancton, 153. — Plancton de la Broye, 156. — Vase du fond, 157. | |
| Chapitre V. | *Zooplancton* . . . . . | 157 |
| | Copépodes, 157. — Cladocères, 161. — Rotateurs, 165. — Infusoires, 167. — Dinoflagellés, 167. — Euflagellés, 169. | |
| Chapitre VI. | *Algues* . . . . . | 169 |
| | Diatomées, 169. — Schizophycées, 171. | |
| Chapitre VII. | *Apparition des diverses espèces de phytoplancton* . . . | 173 |
| | Répartition horizontale, 174. — Migrations verticales, 174. | |
| Bibliographie | . . . . . | 178 |


Manuscrit reçu le 27 octobre 1936.
Dernières épreuves corrigées le 9 mars 1937.