



## Première partie - Thermique et chimie des eaux

Étienne Hubault

### ► To cite this version:

Étienne Hubault. Première partie - Thermique et chimie des eaux. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières, 1947, 10 (2), pp.113-260. <hal-03483753>

**HAL Id: hal-03483753**

**<https://hal.science/hal-03483753v1>**

Submitted on 16 Dec 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

**ÉTUDES THERMIQUES,  
CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES EAUX  
DES LACS DE L'EST DE LA FRANCE**

**(Vosges, Jura, Alpes de Savoie)**

**Par Étienne HUBAULT**

**PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES EAUX ET FORÊTS**



## PREMIÈRE PARTIE

# THERMIQUE ET CHIMIE DES EAUX

---

### I. — AVANT-PROPOS

Les pages qui vont suivre sont l'expression des recherches que je poursuis depuis dix-sept années sur les eaux douces des régions montagneuses de l'Est de la France et dont la publication a été retardée, bien malgré moi, par les secousses qui, pendant près de sept années, ont agité le monde.

Parmi un très grand nombre de mesures, j'ai fait un tri, un choix et seules sont données ici celles qui m'ont paru exprimer le plus exactement la vérité.

Le but essentiel de ces recherches est pratique; elles doivent être un guide pour la production du poisson dont la vie est sous la dépendance immédiate du milieu dans lequel il se développe. A la suite de l'étude des bassins, je m'efforcerai de faire ressortir leurs particularités à ce point de vue spécial.

Mais les analyses chimiques et planctoniques peuvent présenter aussi de l'intérêt pour les ingénieurs hydrologues et les ingénieurs municipaux des communes riveraines des lacs envisagés.

Au début d'un pareil travail, il importe de placer les noms de ceux qui ont donné une impulsion aux études lacustres, de Delebecque, de Forcl, de Collet, mais surtout des chercheurs de l'Europe Centrale qui, comme Thienemann et Ruttner, ont su leur imprimer un caractère biologique et pratique. L'École de Madison (Wisconsin), animée par Birge et par Juday qui, à bien des égards ont produit des travaux remarquables, ne saurait non plus être oubliée.

Avant d'aborder le sujet, je dirai quelques mots des méthodes que j'ai employées.

Pour chacun de ces lacs, j'ai tout d'abord fait le calcul de la stratification volumétrique de 5 mètres en 5 mètres pour les lacs des Vosges et de Nantua, de 10 mètres en 10 mètres pour ceux du Bourget, d'Annecy et d'Aiguebelette, de 20 mètres en 20 mètres enfin pour le lac Léman.

Le volume de chaque couche m'a été donné au moyen de la formule  $(S + S' + \sqrt{SS'}) \frac{H}{3}$ , S et S' étant les deux surfaces qui la limitent, et H l'épaisseur. Les accidents naturels comme les îles, les hauts fonds, les cuvettes secondaires ont été ou déduits ou ajoutés. Dans ce travail, les plans dressés si consciencieusement par DELEBECQUE (1898) me furent du plus grand secours, surtout pour la mesure des surfaces S et S' au planimètre d'Amsler. J'ai admis également l'exactitude des nombres donnés par DELEBECQUE, quant au volume total de chaque lac.

1. — Les températures ont toutes été prises au thermomètre à renversement. J'ai préféré cet instrument très simple, bien que travaillant lentement, à la sonde thermo-électrique, plus rapide, il est vrai, mais dont les résultats sont plus sujets à caution et qui ne dispense pas des vérifications avec le thermomètre à renversement.

*Provision annuelle de chaleur* (BIRGE et JUDAY, 1912-1914). — Cette notion introduite par les deux auteurs américains représente la quantité de chaleur comptée en calories-grammes nécessaire pour élever, dans un lac, une colonne d'eau d'un centimètre carré de section et d'une hauteur égale à la profondeur moyenne du lac, de la température correspondant à la plus froide journée d'hiver jusqu'à celle de la plus chaude journée de l'été de la même année.

La profondeur moyenne du lac s'obtient en divisant son volume par sa surface.

La température moyenne d'hiver ou d'été s'obtient en multipliant la température de chaque strate en profondeur par le pourcentage que représente le volume de cette couche par

rapport au volume total des eaux du lac et en ajoutant les résultats obtenus.

Je prends un exemple :

*Stratification volumétrique du lac de Gérardmer (Vosges)  
de la surface au fond (36,2 mètres).*

0- 5 m . . . . .	5.277.000 m <sup>3</sup> , soit 0,2705 du volume total.		
5-10 —	4.276.000 —	0,219	—
10-15 —	3.503.000 —	0,180	—
15-20 —	2.759.000 —	0,141	—
20-25 —	1.897.000 —	0,097	—
25-30 —	1.151.000 —	0,059	—
30-35 —	617.000 —	0,032	—
35-36,2 (fond). . . . .	30.000 —	0,0015	—
Total . . . . .	19.510.000 m <sup>3</sup> .		

Surface : 115,5 hectares ou 1.155.000 mètres carrés.

Profondeur moyenne :  $\frac{19.510.000}{1.155.000} = 16 \text{ m. } 9.$

Bien qu'au cours de l'année 1929 je n'aie pas pris les températures du lac de Gérardmer tous les jours, on peut se faire une idée assez exacte de la provision annuelle de chaleur en calculant les températures moyennes du 28 février et du 3 juillet. Au 28 février 1929, par un hiver très rude, une épaisse couche de glace recouvrait le lac.

28 février 1929.

PRO- FONDEUR	TEMPÉ- RATURE	VOLUME	PRODUIT
1	2	3	2 x 3
Surface	2°,7	0,2705	0,744
5 m.	2°,8	0,219	0,613
10 m.	2°,8	0,180	0,504
15 m.	2°,8	0,141	0,395
20 m.	2°,8	0,097	0,272
25 m.	2°,8	0,059	0,165
30 m.	2°,8	0,032	0,102
35 m.	3°,6	0,0015	0,005
36,2 m.	3°,6		
			2,800

3 juillet 1929.

PRO- FONDEUR	TEMPÉ- RATURE	VOLUME	PRODUIT
1	2	3	4
Surface	17°,1	0,2705	4,517
5 m.	16°,3	0,219	1,500
10 m.	7°,4	0,180	1,224
15 m.	6°,2	0,141	0,846
20 m.	5°,8	0,097	0,553
25 m.	5°,6	0,059	0,327
30 m.	5°,5	0,032	0,174
35 m.	5°,4	0,0015	0,008
36,2 m.	5°,4		
			9,149

Écart des températures :  $9,15 - 2,8 = 6^{\circ}, 35$ .

Provision annuelle de chaleur :  $6,35 \times 1.690 \text{ cm}^3$ , environ 10.700 cal.-gr.

Or, les calculs montrent que, pour un même lac, les provisions annuelles de chaleur ne varient que dans des limites assez étroites.

2. — L'oxygène dissous a été dosé par deux méthodes différentes. Dans les Vosges, j'ai employé tout d'abord celle de Mohr-Lévy basée sur l'oxydation en milieu alcalin d'une certaine quantité de sulfate ferreux ammoniacal dont l'excès est dosé par différence, au moyen d'une solution titrée de permanganate de potassium.

Bien que ce procédé puisse donner des résultats suffisants, je lui ai préféré, dès juillet 1929, la méthode de Winkler, d'un emploi un peu plus rapide et qui présente les avantages d'une méthode directe : le chlorure manganeux, en présence d'un alcali, est transformé en oxyde manganeux, puis en oxyde manganique par l'oxygène dissous dans l'eau. Si l'on ajoute de l'iodure de potassium et si l'on opère ensuite en milieu acide, une certaine quantité d'iode proportionnelle à l'oxyde manganique formé, donc à la quantité d'oxygène dissous, est mise en liberté. On la dose au moyen d'une solution titrée d'hyposulfite de sodium, en présence d'empois d'amidon.

La solution titrée d'hyposulfite de sodium qui pourra être  $\frac{N}{100}$ , se conserve mal; son titre baisse rapidement. On l'établira

et on la vérifiera souvent au moyen du procédé simple employé par NicLOUX (1930). On prépare une solution d'iodate de potassium à 0,3567 gr. par litre. Elle tient lieu de la solution d'iode,

$\frac{N}{100}$ , plus difficile à préparer. En présence d'un excès d'iodure de potassium et en milieu acide, elle libère six fois la quantité d'iode contenue dans l'iodate :  $\text{IO}_3 \text{ K} + 5 \text{ K I} + 2 \text{ PO}_4 \text{ H}_3 \longrightarrow 2 \text{ PO}_4 \text{ K}_3 + 3 \text{ H}_2 \text{ O} + \text{I}_6$ .

Une solution renfermant par litre  $\frac{1}{600}$  de molécule de  $\text{IO}_3 \text{ K}$

soit  $214 = 0,3567$  gr., correspond volume à volume à la solution d'hyposulfite  $\frac{N}{100}$ .

Pour le dosage de l'oxygène, employer de préférence l'acide orthophosphorique  $PO_4 H_3$  (TRAVERS, FUSS et SEHNOUTKA, 1937).

3. — Le pH a été pris colorimétriquement pour les lacs des Vosges, et électrométriquement pour les lacs des Alpes et de Nantua.

4. — La silice soluble fut dosée par la méthode colorimétrique de Winkler, avec quelques modifications dues à Diénert et Wandenbulcke, ainsi que plus récemment à King et Lucas.

5. — Le phosphore soluble fut étudié colorimétriquement au moyen de la méthode de Denigès, adaptée par Atkins et en me servant des quantités de réactifs indiquées par Juday, Birge, Kemmerer et Robinson.

Je renvoie pour le dosage de ces deux derniers corps à une étude antérieure que j'ai faite sur le lac de Lispach, dans les Vosges (1932), et où le lecteur trouvera la description et la discussion complètes des méthodes appliquées, ainsi que celles de l'emploi du photomètre différentiel de Pulfrich pour ces mesures colorimétriques et celles qui vont suivre. Cet appareil permet de tirer le maximum d'exactitude des procédés colorimétriques dont la précision et la sûreté ne sauraient se comparer, il faut le reconnaître, à celles fournies par les méthodes pondérale ou volumétrique.

Employées concurremment avec le photomètre différentiel, les méthodes colorimétriques sont d'un usage rapide; elles permettent l'examen et la comparaison d'un grand nombre d'échantillons d'eaux, avant leur altération, résultat absolument impossible à obtenir par les méthodes chimiques, d'une application souvent très longue.

6. — L'azote ammoniacal a été dosé colorimétriquement par une extension de la méthode de Nessler, adaptée au photomètre différentiel.

Deux réactifs sont nécessaires pour cela :

a) Une solution alcaline obtenue en mélangeant une solution saturée à froid, de carbonate de sodium  $CO_3 Na_2$  pur et récemment



calciné, avec la moitié de son volume d'une solution au tiers, de soude pure.

b) Une liqueur de Nessler préparée suivant la méthode employée au laboratoire de surveillance des eaux de la ville de Paris, à Montsouris. On dissout 22 gr. 5 d'iode pur et sec dans une solution de 30 grammes d'iodure de potassium dans 20 centimètres cubes d'eau distillée très pure. On ajoute ensuite 30 grammes de mercure, on chauffe légèrement et on agite continuellement jusqu'à décoloration. On recolore très légèrement avec une solution d'iode, et on verse le tout dans 970 centimètres cubes d'une solution de soude à 1 % et on laisse reposer.

L'étalon pour la confection des courbes au photomètre différentiel (HUBAULT, 1932, p. 335) sera une solution de chlorure d'ammonium pur et sec à 3,147 gr. par litre, ce qui correspond, à 1 gr. d'azote ammoniacal  $\text{NH}_3$  par litre, 1 mmgr. par centimètre cube, qu'on peut étendre ensuite avec de l'eau distillée très pure, à une dilution quelconque.

Pour le dosage, on se sert de 200  $\text{cm}^3$  d'eau à essayer, on y ajoute d'abord 4  $\text{cm}^3$  de la solution alcaline, puis 2  $\text{cm}^3$  de liqueur de Nessler. Il se produit une coloration jaune plus ou moins intense suivant la richesse de l'eau en azote ammoniacal. On prépare un témoin avec 200  $\text{cm}^3$  d'eau distillée absolument pure et les mêmes quantités de réactifs; on compare au photomètre différentiel avec un filtre bleu (HUBAULT, *ibid.*).

Quand les eaux à essayer sont riches en bicarbonates alcalinoterreux, comme par exemple celles des lacs des Préalpes de Savoie, il faut avoir soin de laisser reposer longtemps l'échantillon entre l'apport de solution alcaline et l'addition de liqueur de Nessler, sans cela on opère sur un liquide légèrement trouble, impossible à interpréter au photomètre différentiel.

7. — L'azote nitreux a été dosé colorimétriquement par la méthode de Griess, adaptée au photomètre différentiel.

Deux réactifs sont nécessaires pour cela :

a) Une solution de 0,5 gr. d'acide sulfanilique dans 150  $\text{cm}^3$  d'acide acétique au 0,1.

b) Une liqueur obtenue en faisant bouillir 0,1 gr. d' $\alpha$ -naphtylamine solide avec 20  $\text{cm}^3$  d'eau distillée, puis en séparant

la solution incolore du résidu bleu violet et en ajoutant 150 cm<sup>3</sup> d'acide acétique au 0,1.

L'étalon pour la confection des courbes au photomètre différentiel, sera une solution de 5,0243 gr. de nitrite de soude NO<sub>2</sub> Na, pur et sec dans un litre d'eau distillée très pure, ce qui correspond à 1 mmgr. d'azote nitreux N par centimètre cube. On obtient ensuite par dilution, les teneurs que l'on veut.

Le dosage s'effectuera sur 200 cm<sup>3</sup> d'eau à analyser. On ajoute d'abord 2 cm<sup>3</sup> du premier réactif, on chauffe à 70°-80° C. pour activer la réaction et on ajoute également 2 cm<sup>3</sup> du second réactif. On obtient au bout d'une minute, si l'eau envisagée contient des nitrites, une coloration rose plus ou moins foncée. La réaction est extrêmement sensible et valable pour des teneurs inférieures à 0,1 mmgr. par litre; on compare au photomètre différentiel au moyen d'un filtre vert, avec de l'eau distillée très pure additionnée des réactifs.

8. — Il n'y a pas de bonne méthode pour le dosage colorimétrique de l'azote nitrique des eaux. J'ai employé successivement deux procédés. Tout d'abord celui de Grandval et Lajoux (KLING, 1922) dans les lacs des Vosges, puis celui d'Autenrieth (URBACH, 1931) dans ceux des Alpes de Savoie et de Nantua.

Voici en quoi consiste chacune des deux méthodes, adaptées au photomètre différentiel.

Celle de Grandval et Lajoux, tout d'abord, exige deux réactifs :

a) Une solution sulphophénolée de 12 gr. de phénol cristallisé dans 144 gr. d'acide sulfurique pur, bouilli, de densité 1,84. Refroidir soigneusement le mélange au cours de la fabrication et s'en servir vingt-quatre heures après.

b) Une eau ammoniacale obtenue en mélangeant 300 cm<sup>3</sup> d'eau distillée à une solution d'ammoniaque de densité 0,92.

L'étalon pour la confection des courbes au photomètre différentiel sera une solution de 7,217 gr. de nitrate de potassium NO<sub>3</sub> K pur et sec dans 1.000 cm<sup>3</sup> d'eau distillée pure; elle donne une solution à un gramme par litre d'azote nitrique N<sub>2</sub>, qu'on peut ensuite étendre comme on veut.

Le dosage peut porter sur 200 cm<sup>3</sup> d'eau qu'on fait évaporer doucement au bain de sable, à 90-95° C. dans une capsule de verre.

On lave le dépôt avec 2 cm<sup>3</sup> de solution sulfophénolée, on attend dix minutes environ et on ajoute 10 cm<sup>3</sup> d'eau distillée, puis 20 cm<sup>3</sup> d'eau ammoniacale, après avoir agité. Une coloration jaune apparaît, plus ou moins intense, due à des dérivés nitrés, d'après LOMBARD (1909). On complète ensuite avec de l'eau distillée, suivant le volume des tubes que l'on veut employer pour le passage au photomètre. On compare au moyen d'un filtre bleu, avec de l'eau distillée très pure additionnée des réactifs.

La méthode d'Autenrieth permet d'opérer sur des quantités d'eau bien plus faibles et supprime l'évaporation au bain de sable; elle est donc plus rapide, mais elle exige l'emploi d'une grande quantité d'acide sulfurique concentré d'un maniement difficile et fastidieux, surtout quand on a, à la fois, un grand nombre d'échantillons à examiner.

En voici le principe et comment je m'en suis servi. J'ai utilisé 20 cm<sup>3</sup> d'eau à analyser, nombre double de celui dont fait mention URBACH dans son travail sur la microanalyse chimique des eaux potables et ménagères au moyen du photomètre différentiel; 2 cm<sup>3</sup> d'une solution de brucine à 2 % dans de l'acide sulfurique pur et concentré sont ajoutés, puis encore 40 cm<sup>3</sup> du même acide. Agiter; il se produit un fort dégagement de chaleur et une coloration jaune, *comme dans la méthode précédente*. Laisser refroidir, puis comparer au moyen du même filtre bleu, avec de l'eau distillée très pure additionnée des réactifs.

L'étalon pour la confection des courbes est une solution de 0,3744 gr. de nitrate de potassium pur et sec dans un litre d'eau distillée. On prélève 10 cm<sup>3</sup> de cette solution qu'on étend à 100 cm<sup>3</sup>. Chaque centimètre cube de cette dernière solution contient 0,02 mmgr. de N<sub>2</sub> O<sub>5</sub>.

Pour rendre comparables les résultats obtenus par cette méthode, avec ceux donnés par la précédente, il suffira de multiplier ceux du procédé Autenrieth par 0,26, rapport de N<sub>2</sub> à N<sub>2</sub> O<sub>5</sub>.

9. — Quelques mesures d'alcalinité totale ont été faites dans le lac du Bourget avec une solution d'acide sulfurique  $\frac{N}{10}$  et exprimées en milligrammes de carbonate de calcium par litre.

10. — L'acide carbonique libre et l'acide carbonique des bicarbonates ont été dosés dans les eaux des lacs des Préalpes au moyen de la méthode publiée par WERESCAGIN, ANICKOVA et FORSCH (1931).

Le dosage de l'acide carbonique libre est la répétition de la méthode de Tillmans et d'Heublein au moyen d'une solution de soude  $\frac{N}{50}$  préalablement titrée à l'acide oxalique en présence de phénolphthaléine.

Le dosage de l'acide carbonique des bicarbonates fut effectué au moyen d'une solution d'acide chlorhydrique  $\frac{N}{25}$ , titrée au préalable avec la solution de soude précédente en employant le méthylorange comme indicateur.

11. — La quantité totale d'électrolytes dissous fut évaluée dans les lacs des Vosges au moyen de l'interféromètre à eau et dans les lacs de Savoie à la fois par l'interféromètre à eau et par la mesure de la résistivité à 18° C.

Le principe et l'application du premier de ces procédés ont été donnés dans un précédent travail (HUBAULT, 1932). Je n'y reviendrai donc pas, sauf néanmoins pour dire que je préfère la seconde méthode à la première qui donne, elle, un chiffre se rapportant à toutes les substances dissoutes, électrolytes ou non.

Il existe des tables de réduction des degrés interférométriques en milligrammes de sel marin,  $\text{ClNa}$ , dissous par litre d'eau. Il faudrait que de semblables tables fussent construites pour les mesures de résistivité. Il serait facile alors de constater pour une même eau l'écart entre les deux réductions en solutions de  $\text{ClNa}$ , la réduction correspondant à la résistivité, qui intéresse les électrolytes seules et celle, plus élevée sans doute, correspondant aux degrés interférométriques.

Quoi qu'il en soit, voici le principe des mesures de résistivité. Soit un circuit double  $a\ c\ b\ d$  sur lequel sont interposées des résistances  $r\ r'\ r''\ r'''$  et dont les points  $c$  et  $d$  sont directement reliés par un fil portant un galvanomètre  $g$  (fig. 1). Si l'on fait passer dans ce circuit un courant électrique issu d'un générateur  $p$ , il se trouvera sur la ligne  $a\ b$ , un point  $d$  tel que le fil  $c\ d$  ne sera

parcouru par aucun courant. On aura à ce moment :  $\frac{r'}{r''} = \frac{r}{r'''}$ .

C'est le pont de Wheatstone.

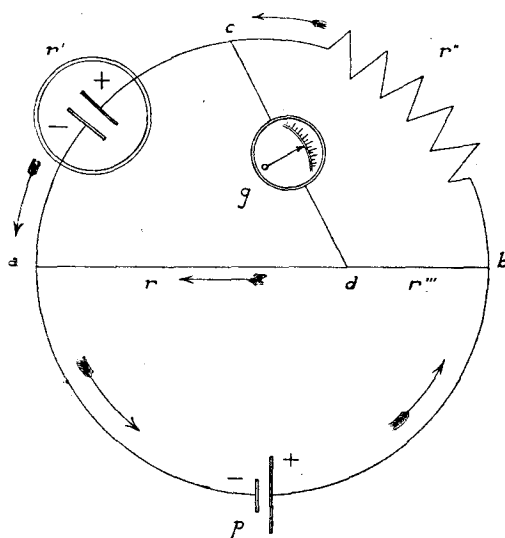


Fig. 1.

$a b$  pourra être un fil de platine de longueur connue et aussi bien calibré que possible;  $r''$ , une boîte de résistances;  $r'$ , une cuve munie de deux électrodes et dans laquelle on aura mis de l'eau naturelle présentant une résistance plus ou moins grande au passage du courant.

Si l'on connaît  $r$ ,  $r''$  et  $r'''$ , la résistance  $r'$  de l'eau s'obtiendra par :  $r' = r'' \frac{r}{r'''}$ .

On sait d'autre part que la résistance d'un conducteur est proportionnelle à sa longueur, inversement proportionnelle à sa section et dépend en outre d'un facteur inhérent à la substance du conducteur lui-même, qu'on nomme la *résistivité*; celle-ci est la résistance spécifique du conducteur d'un centimètre de longueur et d'un centimètre carré de section. On la désigne par  $\varphi$ . C'est elle, par conséquent, qui servira de terme de compa-

raison entre les diverses substances. Dès lors,  $r'$  une fois connue,  $\rho$  s'obtiendra par l'expression analytique de la loi d'Ohm :

$$r' = \frac{l}{S} \rho$$

$$\rho = r' \frac{S}{l}$$

$\frac{S}{l}$  s'appelle le *coefficient de cuve* ; il sera connu si l'on connaît exactement la surface  $S$  des électrodes de la cuve et leur écartement  $l$ , ce qui est facile. La résistivité varie non seulement avec la substance envisagée, mais aussi avec la température à laquelle on opère, suivant une loi connue pour l'eau naturelle (GUILLERD, 1932). On convient de rapporter à 18° C. toutes les résistivités d'eaux.

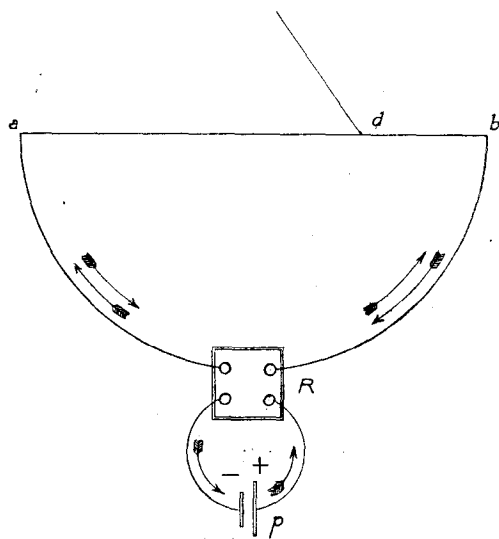


Fig. 2.

Enfin pour éviter l'électrolyse dans le liquide de la cuve, Kohlrausch a substitué un courant alternatif au courant continu en interposant sur le trajet  $p a b$  une bobine de Rhumkorff  $R$ , et en remplaçant dès lors le galvanomètre  $g$  par un auditeur téléphonique (fig. 2).

J'en aurai fini avec l'énumération des méthodes employées quand j'aurai dit que la transparence des eaux fut mesurée au disque de Secchi, procédé assez primitif d'ailleurs.

Les prises d'eaux furent faites à la bouteille Friedinger pour les lacs des Vosges, à la bouteille Ruttner pour ceux des Préalpes et de Nantua. Chaque échantillon, dès la prise, était écoulé avec précaution dans une ampoule thermos isolante d'un litre, en verre Pyrex, soigneusement bouchée et complètement remplie. Aucun dosage n'a été fait sur place dans l'embarcation, même pas celui de l'oxygène dissous par lequel je débuteais néanmoins dès mon retour au laboratoire ou au lieu de séjour. Le procédé s'est révélé correct, grâce aux ampoules isolantes en Pyrex qui conservaient aux prises toutes leurs qualités et surtout leur température; les altérations, d'autre part, étaient peu à craindre avec ces eaux généralement pures et pauvres en matières organiques fermentescibles.

Dans son travail sur les lacs français, travail d'ingénieur, de topographe, de minéralogiste, de géologue, mais non de biologiste, DELEBECQUE (1898) a donné de nombreuses analyses de matières dissoutes dans les eaux des lacs. Mais les dosages des corps nécessaires à la vie y tiennent peu de place. Ce sont surtout des dosages de cations. On pourra remarquer qu'au contraire, ceux dont j'ai cru devoir me charger, sont en majorité l'études des anions indispensables au développement du phyto-plancton, et dont la masse est à la base de toute vie dans les eaux : le phosphore, la silice, l'azote nitreux, l'azote nitrique, le gaz carbonique libre ou semi-combiné. Je mets à part l'oxygène et l'azote ammoniacal, corps fondamentaux néanmoins.

Sans reprendre et discuter les résultats des analyses de DELEBECQUE dont la probité est incontestable, je regarde ce travail comme complémentaire à son étude sur les matières dissoutes dans les eaux des lacs.

---

## II. — LES LACS DES VOSGES

### I. — Le lac de Gérardmer (Planches VII et XIV).

Cette nappe d'eau a déjà fait de ma part l'objet d'une courte note principalement consacrée à la quantité d'oxygène dissous dans les eaux et au pH colorimétrique (HUBAULT, 1931).

#### A. — STRATIFICATION VOLUMÉTRIQUE DE LA SURFACE AU FOND. (36 m. 2).

0- 5 m . . . . .	5.277.000 m <sup>3</sup> , soit 0,2705	du volume total.
5-10 m . . . . .	4.276.000. —	0,219 —
10-15 m . . . . .	3.503.000 —	0,180 —
15-20 m . . . . .	2.759.000 —	0,141 —
20-25 m . . . . .	1.897.000 —	0,097 —
25-30 m . . . . .	1.151.000 —	0,059 —
30-35 m . . . . .	617.000 —	0,032 —
35-36,2 (fond) . . .	30.000 —	0,0015 —
Total . . . . .	19.510.000 m <sup>3</sup> .	

Altitude au-dessus du niveau de la mer : 660,35 mètres.

Surface : 115,5 hectares.

#### B) LES TEMPÉRATURES (Planche I).

Je ferai précéder mes résultats d'une série d'observations faites pendant un an, de 1908 à 1909, par Étienne et Jeanneney, de Gérardmer, qui n'ont jamais été publiées et corroborent avantageusement les miennes. On remarque très bien, au cours de cette période de onze mois, une circulation automnale totale en 1908 pendant la seconde moitié de novembre et les premiers jours de décembre, puis une circulation vernale, totale également, dans le courant d'avril 1909, avec des inversions de



## a) Températures du lac de Gérardmer du 10 juillet 1908 au 10 juin 1909.

PROFONDEUR	10-VII-1908 9-10 h.	25-VII-1908 5 h. 30-8 h. 30	10-VIII-1908 5 h. 35	25-VIII-1908 T. air : 14°	10-IX-1908 6 h. - 8 h.	25-IX-08 6 h.	10-X-1908 T. air : 9°	25-X-1908 7 h. - 9 h.	10-XI-1908 9 h. - 10 h. 30	25-XI-1908 9 h.	10-XII-1908 9 h. - 10 h.	25-XII-1908 9 h. - 10 h.	10-I-1909 T. air : 3° 6	25-I-1909 9 h. - 10 h.	10-II-1909 T. air : 3°	25-II-1909 9 h. - 10 h.	10-III-1909 T. air : 3° 6	25-III-1909 9 h. - 10 h.	10-IV-1909 T. air : 4°	25-IV-1909 8 h. - 10 h.	10-V-1909 T. air : 6°	25-V-1909 6 h. - 8 h.	10-VI-1909 T. air : 13° 5	25-VI-1909 6 h. 30-9 h.	10-VII-1909 T. air : 13° 5
Surface	19° 4	18° 6	18° 2	16° 1	14°	14°	14° 2	10° 1	7°	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
1				16° 1																					
2				16° 1																					
3	18° 9			16° 1																					
4																									
5	17° 8	17°	18°	16° 1	13° 5	13° 5	13° 9	10° 1	7°	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
6	13° 6		17° 6	16°	13° 2	13° 2	13° 8	10° 1	7°	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
7	11° 3	16° 5	14°	15° 2	13°	13° 4	12° 9		7°	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
8	8° 9	9° 4	10°	11° 4	12° 8	13°	11° 8		7°	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
9		8° 4	8° 2	9° 2	12° 6	12° 2	10° 2		7°	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
10	6° 6	7° 6	7° 4	7° 6	12° 2	10	8° 9	9° 3	7°	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
11		7°						8°	7°	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
12		6° 4						6° 6	6° 9	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
13		5° 8						5° 9	6° 8	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
14		5° 4							5° 6	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
15	5° 2	5° 4	5° 6	5° 6	5° 8	5° 9	5° 4	5° 2	5° 2	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
20	4° 8	5°	5° 6	5°	5°	5°	5°	5°	5°	5° 2	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
25	4° 6	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
30	4° 6	4° 8		4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
33									4° 8	4° 8	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
34	4° 6			4° 8																					
35																									
36																									
36,2		4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 8	4° 5	3° 1	1° 3	0° 8	4° 2	9° 6	10° 8	10° 8	9° 6	10° 8	10° 8	10° 8	10° 4	15°	
Fond	4° 6																								

Toutes ces données font ressortir un épilimnion allant de la surface à 6 mètres de profondeur; un thermocline de 6 à 16 mètres; un hypolimnion, enfin, plus profondément.

Toutes ces données font ressortir un équilibre allant de la surface à 6 mètres de profondeur; un thermocline de 6 à 16 mètres; un hypolimnion, enfin, plus profondément.

b) Températures du lac de Gérardmer de 1929 à 1932.

PROFONDEUR	1929				1930				1931				1932		
	28-II 9 h. 15- 13 h. 7°8	5-III 12 h. 30- 14 h.	3-VII 6 h. 40-9 h. T. air: 18°2	19-XI 7 h. 35-9 h. 30 T. air: 3°	21-I 11 h. 30	11-II 16 h.	9-V 15 h. 15- 15 h. 45	20-VI 10 h.	3-VII 7 h. T. air: 20°3	1-IV matinée	21-IV 8 h. - 8 h. 40	8-VII matinée T. air: 10°3	9-X 8 h. 45 T. air: 12°4	26-I 14 h. 40-15 h. 15 T. air: -0°12	28-IV 9 h. 25-10 h. T. air: 12°7
Surface	2°7		17°1	6°6	2°9		1°0	19°9	21°5	3°8	5°8	19°2	12°2	2°9	7°
	Sous la glace														
2						2°6									
5	2°8	2°8	16°3	6°5	3°5		1°0	14°3							
6															
10	2°8	2°8	7°4	6°5			6°3								
15	2°8		6°2	6°6			5°7	6°5					6°5	3°7	5°3
17,1															
18															
20	2°8	2°8	5°8	6°6			5°5								
25	2°8	2°8	5°6	5°8			5°3	6°							
30	2°8		5°5	5°6			5°1	5°8							
34															
35,1	3°6		5°4	5°5			5°1			4°	5°	5°8		3°9	4°9
36															

densités, admissibles aux environs du maximum de cette valeur : 4° de 5 à 20 mètres de profondeur, 3°,8 de 25 mètres au fond.

Voir tableaux a et b.

Je renvoie pour l'étude du pH aux résultats que j'ai publiés antérieurement (HUBAULT, 1931 et 1933).

### C) L'OXYGÈNE DISSOUS (Planche V.)

Les gaz nécessaires à la vie, l'oxygène, l'anhydride carbonique dissous dans la masse des eaux d'un lac, ont fait l'objet de nombreuses études, d'innombrables dosages. Les quantités trouvées sont parfois si fortes, si inattendues, si contraires aux notions habituelles de la statique des gaz, comme cette sur-saturation constante en oxygène que l'on rencontre l'été dans les couches superficielles, que leur explication a fait naître des controverses et des théories dont aucune actuellement n'est complètement satisfaisante.

Pour ALSTERBERG (1929 et 1930), tout échange gazeux est interrompu entre l'atmosphère et la masse du lac, *sous l'épilimnion* (1), pendant l'été, de la circulation vernale à la circulation automnale; il n'y a aucun mouvement, aucun mélange des eaux de surface avec les eaux de profondeur, sauf au voisinage des rives où les changements de température des bords de la

---

(1) Je définirai une fois pour toutes l'épilimnion, le thermocline et l'hypolimnion d'un lac, pour ceux de mes lecteurs à qui ces termes, bien connus maintenant des limnologues, seraient étrangers :

Soit la courbe de répartition des températures de l'eau d'un lac en été, de la surface au fond. Par exemple, le lac de Gérardmer, le 10 juillet 1908 (Étienne et Jeanney, pl. I). La température demeure sensiblement constante de la surface à 5 ou 6 mètres de profondeur. Puis elle s'abaisse rapidement jusqu'à 9-10 mètres, pour décroître enfin lentement jusques'au fond.

Birge et Juday ont appelé *épilimnion* la première couche à température élevée et constante; *thermocline*, la deuxième dans laquelle la température décroît rapidement; *hypolimnion*, la troisième assise et la plus puissante où les températures sont basses et constantes. La courbe des températures présente deux points d'inflexion; les trois régions sont délimitées sur le graphique, par des droites parallèles à l'axe des abscisses et passant par ces deux points.

Le thermocline est aussi dénommé *Sprungschicht* par les Allemands et *couche de saut thermique* par les auteurs français. Certains de ces derniers ont aussi proposé l'appellation de *couche critique* (DE MARTONNE 1909), terme défectueux, à mon sens, car le qualificatif « critique » éveille en physique une idée d'équilibre instable, ce qui n'est pas ici le cas puisqu'en été ces couches sont étagées en parfait équilibre, par ordre de densités croissantes.

cuvette favorisent ces échanges. Il propose dès lors de comparer les quantités d'oxygène dissous durant la stagnation estivale dans le thermocline et l'hypolimnion à une *constante primaire de saturation* qui est la quantité d'oxygène dissous dans l'eau à  $+4^{\circ}\text{C}$ ., à la pression atmosphérique moyenne correspondant à l'altitude de la surface du lac, cette température de  $+4^{\circ}$  étant celle à laquelle s'élaborent dans les lacs les circulations bisannuelles. Le *déficit absolu en oxygène* est alors, pour ALSTERBERG, la différence entre la quantité d'oxygène dissous à une profondeur, à une date donnée de l'été, et la quantité de saturation à  $+4^{\circ}$ . Encore cette constante primaire de saturation ne peut-elle servir de terme de comparaison qu'en été, lors de la stagnation, et seulement pour la masse des eaux situées au-dessous de l'épilimnion. Au cours des circulations vernales et automnales, les valeurs de saturation seront celles des températures du moment; en hiver, le terme de comparaison sera la saturation à  $0^{\circ}$ . Ce sont là bien des restrictions, bien des valeurs différentes.

Les assertions de l'auteur suédois ne paraissent pourtant pas dénuées de fondement : le lac est une masse difficilement accessible de l'extérieur et que l'atmosphère ne pénètre que deux fois par an seulement; l'extraordinaire sursaturation des eaux de surface en oxygène au cours de l'été, en est une preuve; la tension superficielle de l'eau est une barrière difficile à franchir pour les molécules gazeuses.

Pour MAUCHA (1931, 1932), il faut tenir compte de la pression hydrostatique pour le calcul de la saturation aux diverses profondeurs.

Le tableau c du présent travail donne des quantités d'oxygène dissous dans les eaux du lac de Gérardmer à diverses époques des années 1929, 1930, 1931.

En février et mars 1929, ce gaz a été dosé par la méthode de Mohr, adaptée par Albert Lévy. A partir du 3 juillet 1929, j'ai pris la méthode de Winkler.

J'ai essayé, en outre, de comparer mes résultats à une saturation différente de celle basée sur les tables de Fox qui donnent, à diverses températures, le nombre de centimètres cubes ou de milligrammes d'oxygène absorbés par un litre d'eau distillée

en présence d'une atmosphère parfaitement sèche, sous la pression de 760. Rien de plus artificiel que ce procédé employé jadis par THIENEMANN. Comme le fait remarquer RICKER (1934), l'atmosphère n'est jamais sèche à la surface d'un lac. Il est donc impossible de ne pas tenir compte de la tension de vapeur de l'eau. Je me suis donc servi de la Table I du travail de RICKER donnant, aux températures de 0° à 30° C., la solubilité S de l'oxygène à saturation dans une atmosphère contenant 20,9% d'oxygène en volume, la pression totale (air + vapeur d'eau) étant de 760.

La saturation S' à la pression barométrique P observée au moment des prises m'a été donnée par la formule simple :

$$S' = S \frac{P}{760}$$

qui figure dans les STANDARD METHODS OF WATER ANALYSIS (1925). Le rapport de saturation de la quantité d'oxygène dosé à S' a été contrôlé par le monogramme de Rawson reproduit dans l'étude de RICKER.

c) Oxygène dissous dans les eaux du lac de Gérardmer.  
en 1929, 1930 et 1931

PRO- FONDEUR	28-II-1929		5-III-29	3-VII-29	19-XI-29	9-V-30	9-X-1931		
	en mmgr./ litre	% de la satu- ration	en mmgr./ litre	en mmgr./ litre	en mmgr./ litre	en mmgr./ litre	en mmgr./ litre	% de la satu- ration	
Surface	11,86 sous la glace	94		9,31	10,18	10,3	9,61	95	P. le 28 février 1929, à 12 h. : 708 mm.
5	11,54	91	11,86	9,48	10,22	11,1			Le 9 octobre 1931, au moment de la prise d'eau à 17,1 mètres : 707 mm. 5.
10	11,77	92	11,77	11,2	10,17	10,77			
15	11,77	92		10,94	10,22	11,05			A 9 h., à la prise d'eau de surface : 708 mm.2
17,1							9,25	80	
20	11,68	92,5	11,68	10,77	10,19	11,32			
25			11,46	10,68	7,94	11,18			
30	10,44	82,5		10,25	7,52	11,01			
35,1 (fond)	9,73	77,6		9,39	6,29	10,6			

## D) PHOSPHORE SOLUBLE

Ces eaux acides contiennent des phosphates en dissolution. Il en sera de même dans les autres lacs vosgiens.

Au mois d'avril 1931, il y avait des traces de  $P_2 O_5$  dans les eaux de fond et 2 mmgr. par tonne dans les eaux de surface.

## E) AZOTE AMMONIACAL

Des traces de  $NH_3$  en surface et au fond en avril 1931.

## F) AZOTE NITREUX

Traces de N nitreux dans les eaux de fond, à la même époque.

## G) AZOTE NITRIQUE

Au mois d'avril 1931, des quantités appréciables de  $N_2$  nitrique se rencontraient dans les eaux. 0,4 mmgr./litre dans les eaux de fond. 0,3 mmgr./litre en surface.

H) QUANTITÉS DE MATIÈRES DISSOUTES  
MESURÉES PAR DEGRÉS INTERFEROMÉTRIQUES

(Planche VI)

J'ai énoncé antérieurement le principe de cette méthode (HUBAULT 1932) qui, je l'ai dit, n'est pas sans présenter des inconvénients. Voici divers résultats concernant le lac de Gérardmer :

PROFONDEUR	20-IV-30		1-IV-30	21-IV-31
	Degrés interféromé- triques	Équivalence en mmgr./litre NaCl		
Surface	5,2	13	6	4,2
5	5,5	13,75		
15	5,5	13,75		
25	5,6	14		
34 (fond)	5	12,5	5,7	3,6

(Chambre de 40 mm. d'épaisseur d'eau).

Eaux remarquablement pauvres en matières dissoutes.

I) *Transparence des eaux me*

(Plan

Observations d'Étienne et de Jeanneney	DATES	25-VII-1908 5 h. 30	10-VIII-1908 5 h. 35	25-VIII-1908 6 h.	10-IX-1908 6 h.
	État du temps et du lac	Calme, fortes pluies récentes. Crue du lac.		Calme.	Calme.
	Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	5 m.	6 m.	6 m. 30	5 m. 50
	DATES	10-XII-1908 9 h.	25-XII-1908 9 h.	7-I-1909 14 h. 30	27-I-1909 14 h. 30
	État du temps et du lac.	Couvert. Vent S.-S.-W.	Clair, calme.	Couvert, léger vent d'W. Lac gelé 15 cm.	Clair, léger vent E. Glace 30 cm.
	Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	7 m. 4	9 m. 20	6 m. 50	5 m. 7
	DATES	28-II-1929 12 h. 30	19-X-1929 9 h. 45	21-I-1930 11 h. 15	13-II-1930 8 h. 55
	État du temps et du lac.	Glace : 30 cm. Couvert, vent, neige.	Beau, un peu de vent.		Beau, calme.
	Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	6 m. 7	8 m. 4	10 m. 2	10 m. 6

Comme de juste, les eaux sont en général moins transparentes en été qu'en hiver à cause de l'abondance du plancton.

*surée avec le disque de Secchi.*

che VI.)

25-IX-1908 6 h.	10-X-1908 6 h.	25-X-1908 7 h.	10-XI-1908 9 h.	25-XI-1908 9 h.
Eau calme, légère brise S.-E.	Beau, calme.	Couvert, un peu de neige. Vent W.	Clair, calme, léger vent E.	couvert, calme.
6 m. 2	6 m. 6	6 m. 6	7 m. 7	7 m. 7
11-IV-1909 9 h.	25-IV-1909 8 h.	11-V-1909 6 h.	31-V-1909 6 h. 30	10-VI-1909 5 h. 30
Couvert, vent S.-W., lac agité.	Vent d'W. Pluie légère.	Beau. Vent léger d'Est.	Calme, ensoleillé, Léger vent d'Est.	Calme, Clair,
7 m. 5	8 m. 2	8 m. 5	8 m.	9 m. 5
12-III-1930 11 h. 10	20-VI-1930 10 h.	3-VII-1930 7 h. 30	31-IX-1931 9 h.	9-X-1931
Couvert, calme.	Beau, brumeux, Calme.	Un peu couvert, calme.		Beau, un peu de vent.
10 m. 5	5 m. 8	5 m. 4	7 m. 2	9 m. 4



**2. — Le lac de Longemer.**

(Planche XVI, fig. 1 et 2).

Cuvette fermée vers l'aval par des tertres de moraines anciennes au travers desquelles l'émissaire du lac se fraie un passage.

A) STRATIFICATION VOLUMÉTRIQUE  
DE LA SURFACE AU FOND (29m,5)

0- 5 m . . . . .	3.474.000 m <sup>3</sup> , soit 0,321 du volume total.		
5-10 m . . . . .	2.564.000	—	0,237
10-15 m . . . . .	1.948.000	—	0,180
15-20 m . . . . .	1.508.000	—	0,139
20-25 m . . . . .	1.075.000	—	0,099
25-29,5 m. (fond). .	257.000	—	0,024
Total . . . . .	10.826.000 m <sup>3</sup> .		

Altitude au-dessus du niveau de la mer : 750 m.

Surface : 76,2 hect. — Profondeur moyenne : 14,3 m.

TABLEAU

## B) LES TEMPÉRATURES

(Planche II)

a) *Températures du lac de Longemer de 1929 à 1932.*

PROFONDEURS	1929				
	26-II 13 h. 30	6-III	23-IV 7 h.	1-VII 7 h. 30-10 h.	13-XI 7 h. 30-9 h. 15
Surface.	2° (sous 0 m. 4 de glace)		5° <sub>9</sub> 6° <sub>2</sub> (le 22-IV)	16° <sub>5</sub>	4° <sub>8</sub>
5	3°		5° <sub>5</sub>	15° <sub>4</sub>	7° <sub>3</sub>
10	3° <sub>1</sub>	3° <sub>17</sub>	5° <sub>4</sub>	7° <sub>6</sub>	7° <sub>3</sub>
14					
15	3° <sub>2</sub>	3° <sub>2</sub>	4° <sub>6</sub>	5° <sub>9</sub>	7° <sub>2</sub>
20	3° <sub>3</sub>		4° <sub>4</sub>	5° <sub>3</sub>	5° <sub>4</sub>
25	3° <sub>8</sub>		4° <sub>4</sub>	5°	5°
27,5					
28,5 (fond).	3° <sub>9</sub>		4° <sub>2</sub>	5°	5° <sub>2</sub>

PROFONDEURS	1930	1931		1932	
	21-VI	22-IV 10 h. 8-10 h. 45	9-VII 8 h. 15	27-I 9 h. 25-9 h. 55	26-IV 8 h. 10-9 h. 30
Surface.	20° <sub>3</sub>	5° <sub>3</sub>	19°	1° (sous 0 m. 1 de glace).	6° <sub>5</sub>
5	12° <sub>5</sub>				
10					
14					5° <sub>5</sub>
15	6° <sub>6</sub>				
20					
25					
27,5	5° <sub>7</sub>				5°
28,5 (fond).		5° <sub>3</sub>	5° <sub>8</sub>	4° <sub>7</sub>	

Ces mesures font ressortir un épilimnion de la surface à six mètres; un thermocline de six à vingt mètres et un hypolimnion de vingt mètres au fond.

On peut remarquer une circulation vernale en mars-avril.

Voici la provision annuelle de chaleur pour 1929 :

26 février 1929.

PRO- FONDEUR	t	VOLUMES %	PRODUIT 2 × 3
1	2	3	4
Surface	2°		0,802
5	3°	0,321	0,723
10	3°,1	0,237	0,567
15	3°,2	0,180	0,452
20	3°,3	0,139	0,351
25	3°,8	0,099	0,092
29,5	3°,9	0,024	
			2,987

1<sup>er</sup> juillet 1929.

PRO- FONDEUR	t	VOLUMES %	PRODUIT 2 × 3
1	2	3	4
Surface	16°,5		5,120
5	15°,4	0,321	2,725
10	7°,6	0,237	1,215
15	5°,9	0,180	0,778
20	5°,3	0,139	0,510
25	5°	0,099	0,120
29,5	5°	0,024	
			10,468

Écart des températures :  $100,468 - 2,987 = 70,481$ .

Provision annuelle de chaleur pour 1929 :  $7,841 \times 1430 \text{ cm}^3$

≈ 10.700 cal.

Je renvoie pour l'étude du pH aux résultats que j'ai publiés antérieurement (HUBAULT, 1933).

### C) L'OXYGÈNE DISSOUS (Planches V et VIII)

b) Oxygène dissous dans les eaux du lac de Longemer en 1929.

PRO- FONDEURS	26-II		6-III	23-IV		1-VII	13-XI	
	en mmgr./ litre	% de la satu- ration	en mmgr./ litre	en mmgr./ litre	% de la satu- ration	en mmgr./ litre	en mmgr./ litre	
Surface	12,21 (sous la glace)	92		8,14 (le 22-IV) 8,2 (le 23-IV)	72,5 73	9,48	9,78	P, le 26-II, à 16 heures : 692 mm. P, le 23-IV, à 8 heures : 688 mm.
5 m.	11,15	90		8,3	72,2	9,82	9,82	
10 m.	10,62	83,5	11,1	8,1	70,15	10,85	9,82	
15 m.	10,8	85	10,7	7,85	67,5	10,1	9,9	
20 m.	10,1	83		7,85	67,5	9,65	6,85	
25 m.	8	66,5		7,75	65,2	8,34	3,93	
28,5 (fond)	3,72	30,2		7,67	65	5,8	0,2	

A la fin des stagnations estivale et hivernale, les eaux de fond sont, on le voit, pauvres ou très pauvres en oxygène dissous. En février, mars et avril, les dosages furent faits par la méthode de Mohr revue par A. Levy. En juillet et novembre, j'employai la méthode de Winkler.

#### D) PHOSPHORE SOLUBLE

Néant dans le lac au mois d'avril 1931.

#### E) AZOTE AMMONIACAL

Traces de  $\text{NH}_3$  dans les eaux de surface, à la même époque.

#### F) AZOTE NITREUX

Traces dans les eaux de fond en avril 1931.

#### G) AZOTE NITRIQUE

0,4 mmgr. par litre d'azote nitrique  $\text{N}_2$  dans les eaux de fond et les eaux de surface, à la même époque.

#### H) QUANTITÉS DE MATIÈRES DISSOUTES MESURÉES PAR DEGRÉS INTERFÉROMÉTRIQUES (Planche VI)

PROFONDEURS	21-VI-1930		21-IV-1931
	Degrés interférométriques	Équivalence en mmgr. NaCl par litre	
Surface	6	15	4,3
5 m.	5	12,5	
15 m.	6,6	16,5	
27,5	6,6	16,5	5,5

Chambre de 40 mm. Eaux très pauvres.

I) *Transparence des eaux mesurée avec le disque de Secchi.*

(Planche VI)

DATES	26-II-1929 16 h.	23-IV-1929 9 h.	24-IV-1929 6 h. 50	13-XI-1929 9 h. 25	2-IV-1930 7 h. 30
État du temps et du lac.	Couvert, brouillard, quelques éclaircies.	Beau. Lac un peu agité.	Couvert. Calme.	Couvert. Vent, vagues.	Beau. Calme.
Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	7 m. 2	5 m. 7	5 m. 8	4 m. 4	6 m. 1
DATES	3-IV-1930 7 h. 10	21-VI-1930 7 h. 40	4-VII-1930	27-I-1932 9 h.	26-IV-1932 7 h. 40
État du temps et du lac.	Couvert. Calme.	Beau. Calme.	Beau. Calme.	Beau. Calme.	Couvert. Calme.
Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	6 m. 2	5 m. 1	4 m. 7	4 m. 7	5 m.

3. — **Le lac de Retournemer** (Planche XV).

Cuvette fermée vers l'aval par un verrou granitique rocheux  
que l'émissaire du lac franchit en cascade.

A) STRATIFICATION VOLUMÉTRIQUE  
DE LA SURFACE AU FOND (11m, 5).

0-5 m. . . . .	245.000 m <sup>3</sup> , soit	0,645	du volume total.
5-10 m. . . . .	128.000	—	0,337
10-11,5 (fond) . . . .	7.000	—	0,018
Total . . . . .	380.000 m <sup>3</sup> .		

Altitude au-dessus du niveau de la mer : 792 m.

Surface totale du lac à la profondeur 0 : 5,5 hect.

Profondeur moyenne : 6,9 m.

### B) LES TEMPÉRATURES (Planche II.)

a) *Températures du lac de Retournemer en 1929.*

*1930, 1931 et 1932.*

PROFONDEUR	1929				1930	1931				1932	
	14-III 11 h. 30-13 h. 10	24-IV 8 h. 30-9 h. 15	2-VII 7 h. 10-8 h.	11-XI 11 h. 5-12 h.	10-VI 14 h. 10-14 h. 30	2-IV 8 h. 20-9 h.	21-IV 17 h. 50-18 h. 10	9-VII 15 h. 25	28-XII 15 h. 5-15 h. 45	2-III 16 h. 50-17 h. 5	27-IV 17 h. 17 h. 35
Surface	3° (sous 0,41 m. de glace)	5°,5	12°,6	5°,9	19°,2	3°,4	5°,4	15°,9	1°,8	1°,6	6°
5	3°	5°,1	10°,7	5°,8					4°,12	3°,4	
5,25											
5,6											
10	3°,3	4°,8	6°,1	5°,6	7°,5	3°,8					5°,2
10,7											
10,9			5°,9								
11 (fond)	3°,7	4°,7		5°,6			5°,2	7°,2	4°,6	3°,6	4°,8

Il y a une circulation vernale au mois d'avril et une circulation automnale en novembre.

Les mesures précédentes font ressortir un épilimnion de la surface à quatre mètres et un thermocline de 4 mètres au fond.

Il n'y a pas d'hypolimnion.

Voici la provision annuelle de chaleur pour 1929 :

PROFONDEURS	VOLUMES %	14 MARS 1929		2 JUILLET 1929	
		<i>t</i>	Produit $2 \times 3$	<i>t</i>	Produit $5 \times 6$
I	2	3	4	5	6
Surface		3°		12°,6	
5 m.	0,645	3°	1,935	10°,7	7,514
10 m.	0,337	3°,3	1,061	6°,1	2,831
11 m. 5 (fond)	0,018	3°,7	0,063	5°,9	0,108
			3,059		10,453

Écart des températures :  $10^{\circ},453 - 3^{\circ},059 = 7^{\circ},394$ .

Provision annuelle de chaleur pour 1929 :  $7,394 \times 690 \text{ cm}^3$   
 $\approx 5.100 \text{ cal.}$

Je renvoie pour l'étude du pH aux résultats que j'ai publiés antérieurement (HUBAULT, 1933).

### C) L'OXYGÈNE DISSOUS (Planches V et VIII)

b) Oxygène dissous dans les eaux du lac de Retournemer en 1929.

PROFONDEURS	14-III	24-IV		2-VII	11-XI	
	en mmgr./ litre	en mmgr./ litre	% de la saturation	en mmgr./ litre	en mmgr./ litre	
Surface	9,3 (sous la glace)	11,35	100	10	8,71	P. le 24-IV à 9 h. 15 : 688 mm. 3.
5 m.	5,97	11,34	96,5	8,64	8,56	
10 m.	0,6	11,19	95	0	8,5	
10 m. 9				0		
11 m. (fond)	0,2	11,15	95		8,36	

Les dosages du 24 avril ont été effectués par la méthode de Mohr modifiée suivant Albert Lévy. Ceux du 2 juillet et du 11 novembre par le procédé de Winkler et ceux du 14 mars concurremment par les deux méthodes.

Eaux de fond très pauvres en oxygène dissous et même complètement privées à la fin des stagnations hivernales et estivales.

### D) AZOTE AMMONIACAL

Traces de  $\text{NH}_3$  dans les eaux de fond au mois d'avril 1931.

### E) AZOTE NITREUX

Traces dans les eaux de fond et les eaux de surface à la même époque.

## F) AZOTE NITRIQUE

0,4 mmgr. par litre dans les eaux de fond et 0,5 mmgr. par litre en surface au mois d'avril 1931.

G) QUANTITÉS DE MATIÈRES DISSOUTES MESURÉES  
PAR DEGRÉS INTERFEROMÉTRIQUES (Planche VI.)

PROFONDEURS	19-IV-1930		2-IV-1931	
	Degrés interféromé- triques	Équivalence en mmgr. Na Cl par litre	Degrés interféromé- triques	
Surface	8	20	6,6	Chambre de 40 mm.
10 m.	10,5	26,25	9,2	

Eaux pauvres en matières dissoutes.



H. TRANSPARENCE DES EAUX MESURÉE AVEC LE DISQUE DE SECCHI  
(Planche VI.)

DATES	14-III 1929 13 h. 30	24-IV 1929 9 h. 30	11-XI 1929 11 h. 25	4-IV 1930 7 h. 30	10-VI 1930 17 h.	2-IV 1931 7 h. 50	21-IV 1931 17 h. 30	9-VII 1931 16 h.	10-X 1931 9 h. 10	28-XII 1931 14 h. 45	2-III 1932 11 h.
État du temps et du lac.	Beau; glace, 0 m. 41	Un peu couvert. Un peu de vent.	Calm après pluies abon- dantes.	Calm. couvert.	Calm après fort orage.	Calm, couvert.		Pluie.	Beau, un peu de vent.	Couvert neige, vent.	Beau, calme.
Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	5 m. 1	4 m. 1	2 m. 7 colma- tage.	4 m. 8	1 m. 9	5 m. 5	4 m.	2 m. 2	5 m. 3	4 m.	3 m. 6

### III. — UN LAC DU JURA

---

#### Le lac de Nantua.

Cette nappe d'eau d'un peu plus de 2,5 kilomètres de longueur totale, de 750 m. de plus grande largeur, et de 43 m. de profondeur, de dimensions comparables au lac de Gérardmer, mais un peu plus profond, a été déjà l'objet de recherches sur les matières contenues dans ses eaux, tant de la part de DELEBECQUE (1898) que de LÉGER (1928). Mais la divergence entre les dosages d'oxygène dissous effectués par DELEBECQUE le 15 août 1894 et ceux que LÉGER y a fait faire le 4 juin 1925, par 40 m. de profondeur, était trop frappante pour ne pas motiver des investigations plus approfondies et des vérifications. Sans mettre en doute l'exactitude de chacune des expériences, il était visible que la valeur trouvée par DELEBECQUE, 2,56 mmgr. par litre, avait été obtenue au cours de la stagnation estivale, tandis que celle publiée par LÉGER, 7,15 mmgr., se rapportait à la fin de la circulation vernale ou peu après. Je dirai de suite que de telles expériences effectuées surtout dans le but éminemment pratique du réempoissonnement, doivent toujours être faites à la fin de la stagnation estivale, moment où la stratification de l'oxygène est la plus prononcée.

Je fis donc une étude de contrôle, et le 23 septembre 1937, à la fin de la stagnation estivale, je procédai à des analyses aussi complètes que possible, des eaux du lac de Nantua. En dépit d'une période de grande pluie, la circulation automnale ne les avait pas encore brassées. Les résultats qui suivent sont l'expression de l'ensemble de ces recherches.

A) STRATIFICATION VOLUMÉTRIQUE DE LA SURFACE AU FOND  
(42,9 m.).

0- 5 m. . . . .	6.895.000 m <sup>3</sup> , soit 0,172 du volume total.		
5-10 m. . . . .	6,503.000	—	0,162
10-15 m. . . . .	6.100.000	—	0,152
15-20 m. . . . .	5.622.000	—	0,141
20-25 m. . . . .	5.046.000	—	0,126
25-30 m. . . . .	4.342.000	—	0,109
30-35 m. . . . .	3.412.000	—	0,083
35-40 m. . . . .	1.950.000	—	0,049
40-42,9 m. . . . .	208.000	—	0,006
Total . . . . .	40.078.000 m <sup>3</sup> .		

Altitude au-dessus du niveau de la mer : 474,5 m.

Surface totale à la profondeur 0 : 141 hect.

Profondeur moyenne : 28,4 m.

## B) LES TEMPÉRATURES (Planches II)

a) Températures des eaux du lac de Nantua, le 23 septembre 1937.

PROFONDEUR	HEURES	PRESSION atmosphé- rique	TEMPÉRATURES		
			de l'air	de l'eau	
Surface	9 h. 43	716,5	14 <sup>0</sup> ,5	13 <sup>0</sup> ,9	Pression atmosphé- rique moyenne, de 8 h. à 9 h. 43 : 716,7.
5 m.	9 h. 26	717	12 <sup>0</sup> ,1	13 <sup>0</sup> ,75	
10 m.	9 h. 17	717	12 <sup>0</sup> ,75	12 <sup>0</sup> ,7	
15 m.	9 h. 10	717	12 <sup>0</sup>	7 <sup>0</sup> ,24	
20 m.	9 h. 4	717	12 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup> ,65	
25 m.	8 h. 55	716,5	12 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup> ,2	
30 m.	8 h. 40	716,5	11 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup> ,91	
35 m.	8 h. 28	716,5	10 <sup>0</sup> ,8	5 <sup>0</sup> ,9	
40 m.	8 h. 18	716,5	8 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup> ,82	
41 m. 25 (près du fond)	8 h.	716,5	8 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup> ,83	

Ces chiffres font ressortir un épilimnion de 0 à 7,5 m., un thermocline de 7,5 m. à 17,5 m. et un hypolimnion de 17,5 m. au fond.

Grâce aux données fournies par DELEBECQUE, il est facile d'évaluer pour 1894, la provision annuelle de chaleur approximative :

PROFONDEURS	VOLUMES %	25 FÉVRIER 1894		15 AOÛT 1894	
		<i>t</i>	Produit 2 × 3	<i>t</i>	Produit 2 × 5
		3	4	5	6
Surface		3°,75		18°,8	
5 m.	0,172	3°,75	0,645	17°,9	3,156
10 m.	0,162	3°,8	0,611	8°,9	2,171
15 m.	0,152	3°,8	0,578	7°,1	1,216
20 m.	0,141	3°,8	0,536	6°	0,923
25 m.	0,126	3°,8	0,479	5°,7	0,737
30 m.	0,109	3°,85	0,417	5°,4	0,605
35 m.	0,083	3°,85	0,319	5°,15	0,438
40 m.	0,049	3°,9	0,190	5°,1	0,251
42 m. 9 (fond)	0,006	3°,9	0,023	5°,4	0,031
			3,798		9,528

Écarts de températures :  $9°,528 - 3°,798 = 5°,73$ .

Provision annuelle de chaleur :  $5,73 \times 2.840 \text{ cm}^3 = 16.300 \text{ cal.}$

### C) LE pH DES EAUX LE 23 SEPTEMBRE 1937 (Planche II).

b) *pH mesuré électrométriquement des eaux du lac de Nantua, le 23 septembre 1937.*

PROFONDEURS	p H
Surface . . . . .	7,7
5 m. . . . .	7,7
10 m. . . . .	6,8
15 m. . . . .	7,1
20 m. . . . .	7,1
25 m. . . . .	7,4
30 m. . . . .	7,5
35 m. . . . .	7,2
40 m. . . . .	6,9
41 m. 25 (près du fond).	7

D) L'OXYGÈNE DISSOUS DANS LES EAUX  
A LA FIN DE LA STAGNATION ESTIVALE (Planche II et IX)

*c) Oxygène dissous dans les eaux du lac de Nantua,  
le 23 septembre 1937.*

PROFONDEURS	OXYGÈNE DISSOUS		Dosages faits par la méthode de Winkler.
	en mmgr. par litre	% de la saturation	
Surface . . . . .	11,52	117,4	
5 m. . . . .	11,56	117,5	
10 m. . . . .	10,79	105,4	
15 m. . . . .	2,85	28,8	
20 m. . . . .	5,52	53	
25 m. . . . .	5,22	51	
30 m. . . . .	6,84	65	
35 m. . . . .	0,99	9	
40 m. . . . .	0,39	3,3	
41 m. 25 (près du fond) . . . . .	0,39	3,3	

Des fonds presque entièrement dépourvus d'oxygène dissous, une forte sursaturation des eaux de surface, tel est l'aspect général de la dissolution de l'oxygène dans les eaux du lac de Nantua à la fin de la stagnation estivale. En outre, ce jour-là, à 15 m. une brusque chute difficilement explicable.

Il restait à prouver que ces eaux de fond, si pauvres en oxygène, ne contenaient pas des substances réductrices de l'iode avant le dosage à l'hyposulfite, sels ferreux ou  $\text{SH}_2$ , hydrogène sulfuré.

Pour cela, je me suis basé sur la quantité d'hyposulfite correspondant à la couche la plus riche en oxygène dissous, celle de 5 m. J'usai 13,4  $\text{cm}^3$  d'une solution d'hyposulfite à 3,1025 gr. par litre (1  $\text{cm}^3$  correspondant à 0,1 mmgr. d'oxygène) pour réduire la quantité d'iode libérée. Ces 13,4  $\text{cm}^3$  d'hyposulfite correspondent eux-mêmes à 0,0213 gr. d'iode, car une solution d'iode

à 1,5875 gr. par litre correspond volume à volume à la solution titrée d'hyposulfite employée.

D'autre part, 16,78 cm<sup>3</sup> d'une solution d'iodate de potassium pur et sec à 0,3567 gr. par litre, additionnée de 0,3 gr. d'iodure de potassium et de 4 cm<sup>3</sup> d'acide phosphorique concentré (pour se placer dans les mêmes conditions que celles du dosage de l'oxygène), donnent 0,0213 gr. d'iode. En y ajoutant 116 cm<sup>3</sup> d'eau de fond du lac de Nantua, quantité d'eau sur laquelle j'ai opéré, et laissant en contact 15 à 20 minutes, l'iode libéré, comme pour le dosage de l'oxygène dissous, je me suis resservi exactement de 13,4 cm<sup>3</sup> d'hyposulfite. Il n'y avait donc pas dans ces eaux de substances réduisant l'iode instantanément.

#### E) LE GAZ CARBONIQUE LIBRE ET SEMI-COMBINÉ.

(Planches II et VI).

Étant données les formations essentiellement calcaires dans lesquelles est creusé le bassin du lac de Nantua, on pouvait raisonnablement admettre dans ses eaux, la présence de bicarbonates alcalino-terreux. Je dosai donc l'acide carbonique de ces bicarbonates à la suite de l'acide carbonique libre.

#### d) Quantités de gaz carbonique libre et semi-combiné présentes dans les eaux du lac de Nantua le 23 septembre 1937.

PROFONDEURS	CO <sub>2</sub> libre en mmgr./litre	CO <sub>2</sub> des bicarbonates en mmgr./litre	CO <sub>2</sub> TOTAL
Surface . . . . .	2,8	131,9	134,7
5 m . . . . .	2,9	134,7	137,6
10 m . . . . .	6,8	142,8	148,6
15 m . . . . .	14,2	171,2	185,4
20 m . . . . .	11,6	172,2	183,8
25 m . . . . .	11,1	169,4	180,5
30 m . . . . .	9	167,5	176,5
35 m . . . . .	15,6	171,8	187,4
40 m . . . . .	20,6	181,3	201,9
41 m. 25 (près du fond).	20,8	182,3	203,1

Comme on devait s'y attendre, les teneurs en oxygène et en gaz carbonique libre, s'opposent les unes aux autres (pl. II et VI.)

#### F) LES AZOTES

J'ai recherché dans les eaux, les formes nécessaires à la vie. Elles s'y rencontrent toutes trois, en quantités notablement différentes, bien entendu. Comme de juste, dans les fonds presque dépourvus d'oxygène dissous, on trouve de l'azote ammoniacal et pas d'azote nitrique. L'azote nitreux, terme fugitif, est difficile à déceler.

##### e) Quantités des divers azotes contenus dans les eaux du lac de Nantua, le 23 septembre 1937.

PROFONDEURS	NH <sub>3</sub> ammoniacal en mmgr./litre	N nitreux	N NITRIQUE	
			en N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mmgr./litre	en N <sub>2</sub> mmgr./litre
Surface. . . . .	Néant.	Néant.	Traces.	Traces.
5 m. . . . .	"	"	0,05	0,012
10 m. . . . .	"	"	0,1	0,026
15 m. . . . .	"	"	0,08	0,02
20 m. . . . .	"	"	0,3	0,08
25 m. . . . .	"	"	0,4	0,1
30 m. . . . .	"	"	0,4	0,1
35 m. . . . .	0,5	"	Traces.	Traces.
40 m. . . . .	1,1	"	Traces.	Traces.
41 m. 25 (près du fond) . . . . .	1,2	Traces.	0	0

##### G) TRANSPARENCE DES EAUX MESURÉE AVEC LE DISQUE DE SECCHI (Le 23 septembre 1937.)

Temps un peu couvert; léger vent d'ouest. 10 h. 15. Le disque est perdu de vue à 1 m. 50 de profondeur.

Les mesures précédentes et diverses autres observations dont il sera fait état plus loin, amènent à classer le lac de Nantua parmi les lacs *eutrophes*.

## IV. — LES LACS DES PREALPES DE SAVOIE

---

### 1, — Le lac Léman (planche X).

Point n'est besoin de s'appesantir sur cette vaste nappe d'eau qui s'étend entre la Suisse et la France du Sud-Est. Tout le monde connaît sa forme et ses grands traits. Elle a été étudiée par de nombreux auteurs : FOREL (1892-1904), DELEBECQUE, ANDRÉ, etc... Je vais ajouter quelques renseignements à ceux qui ont déjà été publiés.

#### A) STRATIFICATION VOLUMÉTRIQUE DE LA SURFACE AU FOND (309 m. 4).

0- 20 m . . .	11.171.769.000 m <sup>3</sup> , soit	0,126	du volume total.
20- 40 m . . .	10.257.020.000	—	0,115 —
40- 60 m . . .	9.260.090.000	—	0,104 —
60- 80 m . . .	8.118.356.000	—	0,091 —
80-100 m . . .	7.399.250.000	—	0,083 —
100-120 m . . .	6.762.100.000	—	0,076 —
120-140 m . . .	6.169.210.000	—	0,069 —
140-160 m . . .	5.578.148.000	—	0,063 —
160-180 m . . .	5.113.550.000	—	0,058 —
180-200 m . . .	4.605.340.000	—	0,052 —
200-220 m . . .	4.080.270.000	—	0,046 —
220-240 m . . .	3.504.360.000	—	0,039 —
240-260 m . . .	2.841.590.000	—	0,032 —
260-280 m . . .	2.181.330.000	—	0,025 —
280-300 m . . .	1.652.821.000	—	0,019 —
300-309,4 m . . .	225.460.000	—	0,002 —
Total . . .	88.920.664.000 m <sup>3</sup> .		

Altitude de la surface : 372,28 m..

Surface à la cote 0 : 582,36 km<sup>2</sup>.

Profondeur moyenne : 152,69 m.



## B) LES TEMPÉRATURES (planche II).

Ces mesures ont été répétées maintes fois dans le lac de Genève. J'en donnerai deux de plus, prises en juin et octobre 1937.

a) *Températures du lac Léman sur les grands fonds au large d'Évian et d'Ouchy, en juin et octobre 1937.*

PROFONDEURS	7-VI-1937	1-X-1937
Surface . . . . .	19 <sup>o</sup> ,5	14 <sup>o</sup> ,85
10 m. . . . .	12 <sup>o</sup> ,9	
20 m. . . . .	8 <sup>o</sup> ,45	11 <sup>o</sup> ,4
40 m. . . . .	6 <sup>o</sup> ,55	6 <sup>o</sup> ,85
60 m. . . . .	6 <sup>o</sup> ,25	6 <sup>o</sup> ,4
80 m. . . . .	6 <sup>o</sup> ,10	6 <sup>o</sup> ,2
100 m. . . . .	6 <sup>o</sup> ,05	6 <sup>o</sup> ,05
120 m. . . . .	5 <sup>o</sup> ,9	5 <sup>o</sup> ,9
140 m. . . . .	5 <sup>o</sup> ,65	5 <sup>o</sup> ,7
160 m. . . . .		5 <sup>o</sup> ,5
170 m. . . . .	5 <sup>o</sup> ,35	
180 m. . . . .		5 <sup>o</sup> ,3
200 m. . . . .	5 <sup>o</sup> ,17	5 <sup>o</sup> ,2
220 m. . . . .		5 <sup>o</sup> ,1
230 m. . . . .	5 <sup>o</sup> ,10	
240 m. . . . .		5 <sup>o</sup> ,05
260 m. . . . .	5 <sup>o</sup> ,05	5 <sup>o</sup> ,02
276,5 (fond) . . . .	5 <sup>o</sup> ,05	
280 m. . . . .		5 <sup>o</sup>
293 m. 15 (fond) . .		5 <sup>o</sup> ,

Les nombres précédents situent un épilimnion de la surface à 10 m. de profondeur, et un thermocline de 10 à 30 m.

Comme pour le lac de Nantua, les indications fournies par DELEBECQUE permettent de calculer la provision annuelle de chaleur du lac Léman. Les prises de températures au cours de l'année 1880 sont suffisamment détaillées pour cela.

TABLEAU

PROFONDEURS	VOLUMES %	26 FÉVRIER 1880		29 JUILLET 1880	
		<i>t</i>	Produit $2 \times 3$	<i>t</i>	Produit $2 \times 5$
1	2	3	4	5	6
Surface.					
20 m. . . . .	0,126	4 <sup>0</sup> ,9	0,617	18 <sup>0</sup> ,4	2,318
40 m. . . . .	0,115	4 <sup>0</sup> ,75	0,546	8 <sup>0</sup> ,4	0,966
60 m. . . . .	0,104	4 <sup>0</sup> ,7	0,489	6 <sup>0</sup> ,6	0,686
80 m. . . . .	0,091	4 <sup>0</sup> ,7	0,428	5 <sup>0</sup> ,8	0,528
100 m. . . . .	0,083	4 <sup>0</sup> ,6	0,382	5 <sup>0</sup> ,2	0,432
120 m. . . . .	0,076	4 <sup>0</sup> ,55	0,346	4 <sup>0</sup> ,85	0,369
140 m. . . . .	0,069	4 <sup>0</sup> ,5	0,310	4 <sup>0</sup> ,7	0,324
160 m. . . . .	0,063	4 <sup>0</sup> ,5	0,283	4 <sup>0</sup> ,7	0,296
180 m. . . . .	0,058	4 <sup>0</sup> ,5	0,261	4 <sup>0</sup> ,6	0,267
200 m. . . . .	0,052	4 <sup>0</sup> ,5	0,234	4 <sup>0</sup> ,55	0,237
220 m. . . . .	0,046	4 <sup>0</sup> ,5	0,207	4 <sup>0</sup> ,5	0,207
240 m. . . . .	0,039	4 <sup>0</sup> ,5	0,175	4 <sup>0</sup> ,5	0,175
260 m. . . . .	0,032	4 <sup>0</sup> ,45	0,142	4 <sup>0</sup> ,5	0,144
280 m. . . . .	0,025	4 <sup>0</sup> ,4	0,110	4 <sup>0</sup> ,5	0,112
300 m. . . . .	0,019	4 <sup>0</sup> ,4	0,084	4 <sup>0</sup> ,5	0,085
309 m. 4 . . . . .	0,002	4 <sup>0</sup> ,4	0,009	4 <sup>0</sup> ,5	0,009
			4,623		7,155

Écart de températures :  $7^{\circ},155 - 4^{\circ},623 = 2^{\circ},532$ .

Provision annuelle de chaleur pour 1880 :  $2,532 \times 15.269 \text{ cm}^3$

= 39.000 cal.

### C) LE PH ÉLECTROMÉTRIQUE (planche IV).

b) pH mesuré électrométriquement des eaux du lac Léman  
en juillet et septembre 1936.

PROFONDEURS	23-VII 1936	26-IX 1936	PROFONDEURS	23-VII 1936	26-IX 1936	PROFONDEURS	23-VII 1936	26-IX 1936
Surface. . . . .	8,2	8,28	120 m. . . . .	7,85	7,92	240 m. . . . .	7,8	7,8
20 m. . . . .	8,1	8,08	140 m. . . . .	7,85	7,87	260 m. . . . .	8,25	7,77
40 m. . . . .	7,9	7,92	160 m. . . . .	7,9	7,89	280 m. . . . .	7,8	7,74
60 m. . . . .	7,9	7,91	180 m. . . . .	7,8	7,82	290 m. ) fond	7,7	
80 m. . . . .	7,9	7,89	200 m. . . . .	7,8	7,83	297 m. ) fond		7,74
100 m. . . . .	7,9	7,9	220 m. . . . .	7,8	7,85			

D) L'OXYGÈNE DISSOUS DANS LES EAUX  
AU DÉBUT ET A LA FIN DE LA STAGNATION ESTIVALE.

(Planche IV.)

c) *Oxygène dissous dans les eaux du lac Léman  
les 7 juin et 1<sup>er</sup> octobre 1937.*

PROFONDEURS	7-VI 1937		1-X 1937		OBSERVATIONS
	en mmgr. par litre	% de la saturation	en mmgr. par litre	% de la saturation	
Surface . . . . .	10,04	112	10,04	102,5	Pression barométrique moyenne : le 7-VI-1937, de 7 h. à 10 h. : 740,24 mm.
20 m . . . . .			9,83	93	
60 m . . . . .	11,03	91,5			le 1-X-1937, de 8 h. 37 à 11 h. 40 : 726,2 mm.
100 m . . . . .			10,65	89	
140 m . . . . .	10,39	84			Méthode de Winkler.
200 m . . . . .	9,91	78	9,9	80	
260 m . . . . .			8,52	68,5	
276 m. 50 (fond) .	8,33	66,5			
280 m . . . . .			7,56	62	
293 m. 25 (fond) .			10,38	84	

Un phénomène curieux apparaît dans les eaux de fond le 1<sup>er</sup> octobre 1937, à la fin de la stagnation estivale, c'est leur richesse considérable en oxygène dissous dépassant celle des eaux de surface. A cet endroit du lac, au-dessus des grands fonds, il ne serait pas exclu d'admettre qu'il s'agit de l'eau du Rhône, non incorporée à celle du lac et qui a encore des caractères propres, donc sa forte oxygénation d'eau rapide.

TABLEAU

E) LE GAZ CARBONIQUE LIBRE ET SEMI-COMBINÉ.  
(Planches IV et VI.)

d) Quantités de gaz dissous en mmgr. par litre dans les eaux du Léman  
aux mois de juin et d'octobre 1937.

PROFONDEURS	7-VI 1937			1-X 1937		
	CO <sub>2</sub> libre	CO <sub>2</sub> des bicarbonates	Total	CO <sub>2</sub> libre	CO <sub>2</sub> des bicarbonates	Total
Surface. . . . .	Traces	104,7	104,7	Traces		
20 m. . . . .	0,6	109	109,6	2,1		
40 m. . . . .	1,7	106,8	108,5			
60 m. . . . .	1,7	109,2	110,9			
80 m. . . . .	1,8	107,1	108,9			
100 m. . . . .	1,6	107,8	109,4	2,1		
120 m. . . . .	2,5	108,3	110,8			
140 m. . . . .	2,4	111,6	114,0			
160 m. . . . .	2,4	110,2	112,6			
180 m. . . . .	4,3	107,8	112,1			
200 m. . . . .	3,9	112,8	116,7	3,6		
220 m. . . . .	3,5	108,8	112,3	3,1		
240 m. . . . .	3,6	112,1	115,7		96,1	
260 m. . . . .	3,9	111,4	115,3	3,6	94	97,6
276 m. 5 (fond).	3,4	110,1	113,5			
280 m. . . . .				3,8	100,53	104,33
293 m. 15 (fond).				3,5	97,7	101,2

Bien moins calcaires que les eaux du lac de Nantua et aussi plus aérées, les eaux du Léman contiennent moins de gaz carbonique libre et semi-combiné.

## F) LE PHOSPHORE DISSOUS.

c) Quantités de phosphore compté en  $P_2O_5$   
dissous dans les eaux du lac Léman en 1936 et 1937.

PROFONDEURS	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> EN MMGR. PAR TONNE			
	23-VII 1936	26-IX 1936	7-VI 1937	1-X 1937
Surface. . . . .	o	o		Traces
20 m. . . . .	o	o		6
40 m. . . . .	Traces	Traces		1,5
60 m. . . . .	Traces			
80 m. . . . .	Traces			
100 m. . . . .	10			
120 m. . . . .	Traces			
140 m. . . . .	Traces			Traces
160 m. . . . .	Traces			Traces
180 m. . . . .	2			Traces
200 m. . . . .	4			7,5
220 m. . . . .	2			4,5
240 m. . . . .	5			5
260 m. . . . .	2			11
276 m. 5. . . . .			Traces	
280 m. . . . .	12			19
290 m. . . . .	6			
293 m. 15. . . . .				7
297 m. . . . .		14		

TABLEAU

## G) L'AZOTE NITRIQUE

f) *Quantité d'azote nitrique dissous dans les eaux du Léman en 1936 et 1937.*

PROFONDEURS	23-VII 1936		I-X 1937	
	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N <sub>2</sub>
	mm r./litre	mm r./litre	mmgr./litre	mmgr./litre
Surface. . . . .	0,2	0,05		
20 m. . . . .	0,2	0,05		
40 m. . . . .	0,3	0,08		
60 m. . . . .	0,3	0,08		
80 m. . . . .	0,4	0,1		
100 m. . . . .	0,3	0,08		
120 m. . . . .	0,3	0,08		
140 m. . . . .	0,3	0,08		
160 m. . . . .	0,3	0,08		
180 m. . . . .	0,4	0,1		
200 m. . . . .	0,3	0,08		
220 m. . . . .	0,3	0,08		
240 m. . . . .	0,3	0,08		
260 m. . . . .	0,2	0,05	0,45	0,12
280 m. . . . .	0,4	0,1	0,5	0,13
290 m. . . . .	0,4	0,1		
293 m. . . . . fond.			0,5	0,13

Ces eaux sont bien plus riches en oxygène dissous que celles du lac de Nantua. Il n'y a donc pas place pour l'azote ammoniacal et l'azote nitreux, sinon comme produits fugitifs et transitoires. Par contre, l'azote nitrique y est en notables quantités.

## H) LA CHAUX.

J'ai dosé la chaux contenue dans les eaux du Léman, aussi exactement que possible, au moyen d'une méthode simple et rapide, en rapport avec le nombre des échantillons à traiter. Ce procédé est celui de Mohr basé sur la complète insolubilité de l'oxalate de calcium.

On titre une solution de permanganate de potassium au moyen d'une solution d'acide oxalique  $\frac{N}{10}$  dont une quantité connue, mais en excès, sert à précipiter complètement la chaux contenue

dans un certain volume d'eau. L'acide oxalique demeuré libre est ensuite dosé au permanganate; on a par différence la quantité d'acide qui a servi à précipiter la chaux, et celle-ci est finalement évaluée en  $\text{CaO}$ .

*g) Quantité de chaux évaluée en  $\text{CaO}$   
contenue dans les eaux du Léman, le 6 août 1942,  
au large N.-N.-W. de Thonon-les-Bains.*

PROFONDEURS	MMGR. PAR LITRE
Surface. . . . .	75
20 m. . . . .	75
40 m. . . . .	75.5
50 m. . . . .	75.5
60 m. . . . .	75
70 m. . . . .	75
80 m. . . . .	75
90 m. . . . .	75
100 m. . . . .	75
110 m. . . . .	75
120 m. . . . .	74.5
130 m. . . . .	75
140 m. . . . .	75
150 m. . . . .	75

Ces nombres sont un peu plus forts que ceux publiés par DELEBECQUE.

#### I) TRANSPARENCE DES EAUX AU DISQUE DE SECCHI.

Au 1<sup>er</sup> octobre 1937, le disque disparaît à 10 m., à la fin de la matinée par un beau temps calme et un peu couvert.

#### 2. — Le lac d'Annecy (Planche XVI, fig. 3 et 4).

Cette petite nappe d'eau, bien connue des touristes, est divisée en deux bassins d'inégale superficie et d'inégale profondeur, le Grand Lac (profondeur 64,7 m.), au nord, le Petit Lac (profondeur 55 m.), au sud, séparés par un seuil rocheux allant de la pointe de Duingt au roc de Chère, et présentant entre les deux

rives un haut-fond, le Roselet, qui émerge seulement aux basses eaux. Un trou de 80,6 m. se trouve un peu au large de la ville d'Annecy.

Nous sommes redevables à LE ROUX (1907-1908) d'une monographie botanique et zoologique détaillée.

A) STRATIFICATION VOLUMÉTRIQUE DE LA SURFACE AU FOND  
(64,7 m.)

0-10 m . . . . .	255.900.000 m <sup>3</sup> , soit	0,228	du volume total
10-20 m . . . . .	234.800.000	—	0,209 —
20-30 m . . . . .	218.300.000	—	0,194 —
30-40 m . . . . .	192.900.000	—	0,172 —
40-50 m . . . . .	148.100.000	—	0,132 —
50-60 m . . . . .	68.900.000	—	0,061 —
60-64,7 m . . . . .	4.550.000	—	0,004 —
Boubioz seul, entre 60 et 80,6 m. . . . .	50.000 m <sup>3</sup> .		
Total . . . . .	1.123.500.000 m <sup>3</sup> .		

Niveau des eaux à 446,50 m. à l'étiage.

Surface : 27 km<sup>2</sup>, 04 ha.

Profondeur moyenne : 41,55 m.



## Le Grand Lac.

## B) LES TEMPÉRATURES (Planche II.)

## a) Températures des eaux pendant la stagnation estivale de 1937.

PROFONDEURS	1937		1938	1942
	27-V	5-X	9-VI	25-VII
Surface. . . . .	17 <sup>o</sup> ,3	16 <sup>o</sup> ,15	17 <sup>o</sup> ,55	20 <sup>o</sup> ,9
5 m . . . . .	13 <sup>o</sup> ,6	16 <sup>o</sup> ,1	13 <sup>o</sup> ,95	19 <sup>o</sup> ,9
10 m . . . . .	9 <sup>o</sup> ,9	16 <sup>o</sup> ,08	12 <sup>o</sup> ,22	19 <sup>o</sup> ,2
15 m . . . . .		12 <sup>o</sup> ,3		
20 m . . . . .	6 <sup>o</sup> ,7	7 <sup>o</sup> ,05	7 <sup>o</sup> ,88	6 <sup>o</sup> ,85
30 m . . . . .	5 <sup>o</sup> ,65	5 <sup>o</sup> ,92	6 <sup>o</sup> ,42	5 <sup>o</sup> ,4
40 m . . . . .	5 <sup>o</sup> ,5	5 <sup>o</sup> ,7	5 <sup>o</sup> ,95	4 <sup>o</sup> ,4
50 m . . . . .	5 <sup>o</sup> ,5	5 <sup>o</sup> ,55	5 <sup>o</sup> ,75	4 <sup>o</sup> ,3
60 m . . . . .	5 <sup>o</sup> ,5		5 <sup>o</sup> ,55	4 <sup>o</sup> ,3
62 m. 50 (près du fond) . .				4 <sup>o</sup> ,3
63 m . . . . .	5 <sup>o</sup> ,5			
63 m. 5 (fond) . . . . .		5 <sup>o</sup> ,5		
64 m. 5 (fond) . . . . .			5 <sup>o</sup> ,5	

Les nombres ci-dessus situent un épilimnion de 0 à 10 m., un thermocline de 10 à 18 m. et un hypolimnion plus profondément.

*Provision annuelle de chaleur en 1891,  
suivant les données de DELEBECQUE.*

PROFONDEURS	VOLUMES	28-II 1891		10-VII 1891	
		t	Produit 2 × 3	t	Produit 2 × 5
		3	4	5	6
Surface.					
10 m . . . . .	0,228	3 <sup>o</sup> ,3	0,752	17 <sup>o</sup> ,8	4,058
20 m . . . . .	0,209	3 <sup>o</sup> ,3	0,690	11 <sup>o</sup> ,3	2,362
30 m . . . . .	0,194	3 <sup>o</sup> ,35	0,650	6 <sup>o</sup> ,25	1,212
40 m . . . . .	0,172	3 <sup>o</sup> ,4	0,585	5 <sup>o</sup> ,2	0,894
50 m . . . . .	0,132	3 <sup>o</sup> ,5	0,462	5 <sup>o</sup>	0,660
60 m . . . . .	0,061	3 <sup>o</sup> ,7	0,226	4 <sup>o</sup> ,6	0,281
80 m. 6 (fond du Bou- bioz).	0,004	3 <sup>o</sup> ,9	0,016	4 <sup>o</sup> ,6	0,018
			3,381		9,485

Résultat un peu artificiel, à cause des deux lacs presque séparés et de la source sous-lacustre du Boubioz.

Écart des températures :  $9^{\circ},485 - 3^{\circ},381 = 6^{\circ},104$ .

Provision annuelle de chaleur :  $6^{\circ},104 \times 4.155 = 25.000$  cal.

C) LE pH DES EAUX AU PRINTEMPS DE 1937 (Planche V.)

b) pH mesuré électrométriquement des eaux du Grand Lac  
le 27 mai 1937.

PROFONDEURS	pH
Surface . . . . .	8,25
10 m. . . . .	8,2
20 m. . . . .	8,2
30 m. . . . .	8
40 m. . . . .	8
50 m. . . . .	8
60 m. . . . .	7,9
63 m. . . . .	7,85
64 m. 50 (fond) . . . .	7,75

D) L'OXYGÈNE DISSOUS DANS LES EAUX  
AU DÉBUT ET A LA FIN DE LA STAGNATION ESTIVALE.  
(Planches V et XI.)

c) Oxygène dissous dans les eaux du Grand Lac  
les 27 mai et 5 octobre 1937.

Profondeurs	27-V		5-X		
	en mmgr. par litre	% de la saturation	en mmgr. par litre	% de la saturation	
Surface	10,4	110	10,01	105	Le 27 mai, pression atmosphérique moyenne, de 9 h. 15 à 9 h. 45 : 738,5.
10 m.	12,6	114	9,96	105	
20 m.	12,1	102	10,4	89	
30 m.	10,6	86,5	9,1	76	
40 m.	10,7	87,5	8,69	72	
50 m.	10	82	8,69	72	Le 5 octobre, pression atmosphérique moyenne, de 8 h. 15 à 10 h. : 721,65.
60 m.	9,2	75	2,72	22	
63 m.	9	73			
63,5 } fond.			0,56	4,2	
64,5 }	7,9	64			

A la fin de la stagnation estivale, les eaux de fond sont presque complètement privées d'oxygène. Cette particularité et d'autres encore, font du lac d'Annecy, un lac passant-eutrophe, état que j'ai déjà signalé (HUBAULT, 1939) et sur lequel je reviendrai en traitant de cette nappe d'eau aux points de vue de la pisciculture et de la pollution des eaux.

Les observations biologiques confirment d'ailleurs les analyses chimiques; des larves de *Sayomyia* Coqu. (= *Corethra* auct., *Dipt. Culicidae*) qui peuvent vivre dans les eaux presque dépourvues d'oxygène, font partie de la faune profonde (IMHOF, 1883, FOREL, 1884); de même des Algues du genre *Oscillatoria* appartiennent à la flore pélagique de surface. Le renouvellement des eaux est d'ailleurs lent, par suite de la modicité des débits des petits tributaires.

E) LE GAZ CARBONIQUE LIBRE ET SEMI-COMBINÉ.  
(Planches V et VI.)

d) *Quantité de gaz dissous dans les eaux du Grand Lac  
aux mois de mai et d'octobre 1937.*

PROFONDEURS	27 MAI 1937	5 OCTOBRE 1937		
	CO <sub>2</sub> libre mmgr./litre	CO <sub>2</sub> libre mmgr./litre	CO <sub>2</sub> des bicarbonates mmgr./litre	CO <sub>2</sub> total mmgr./litre
Surface. . . . .	0	1,5	107,9	109,4
10 m. . . . .	0,7	1,6	107,1	108,7
20 m. . . . .	1,1	5,3	131,4	136,7
30 m. . . . .	2,7	5,5	134,4	139,9
40 m. . . . .	3,7	5,4	136,4	141,8
50 m. . . . .	3,6	7,3	135,4	142,7
60 m. . . . .	5,3	13,4	142,9	156,3
63 m. . . . .	5,3			
63 m. 5 / fond . . . . .	7	14,9	150,3	165,2
64 m. 5 /				

Comme de juste, les teneurs en oxygène dissous et en gaz carbonique s'opposent régulièrement aux diverses profondeurs.

## F) LE PHOSPHORE DISSOUS.

e) *Quantité de phosphore compté en  $P_2O_5$  dissous dans les eaux du Grand Lac à la fin de la stagnation estivale de 1937.*

PROFONDEURS	$P_2O_5$ en mmgr./tonne
Surface . . . . .	5
10 m. . . . .	3
20 m. . . . .	5
30 m. . . . .	8
40 m. . . . .	Néant
50 m. . . . .	Traces
60 m. . . . .	Traces
63 m. 5 (près du fond) . .	9,5

## G) LES AZOTES.

f) *Quantités d'azotes ammoniacal, nitreux et nitrique contenus dans les eaux du Grand Lac à la fin de la stagnation estivale de 1937.*

PROFONDEURS	27-V-1937		5-X-1937			
	N nitrique		NH <sub>2</sub> mmgr./litre	N nitreux mmgr./litre	N nitrique	
	en $N_2O_5$ mmgr./litre	en $N_2$ mmgr./litre			en $N_2O_5$ mmgr./litre	en $N_2$ mmgr./litre
Surface . . . . .	0,1	0,03	Néant	Néant	0,7	0,17
10 m. . . . .	0,2	0,05	—	—	0,8	0,2
20 m. . . . .	0,2	0,05	—	—	0,3	0,08
30 m. . . . .	0,3	0,08	—	—	0,4	0,09
40 m. . . . .	0,3	0,08	—	—	0,3	0,07
50 m. . . . .	0,2	0,05	—	—	0,4	0,1
60 m. . . . .	0,3	0,08	Traces	—	0,3	0,08
63 m. . . . .	0,3	0,08				
63 m. 5. } près			0,4	Traces	0	0
64 m. 5. } du fond.	0,2	0,05				

Comme l'oxygène est autant dire exclu des couches qui avoi-

# 164 ÉTUDES THERMIQUES, CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

sinent le fond, il en est de même de l'azote nitrique, mais on y trouve des traces d'azote nitreux et une quantité mesurable d'azote ammoniacal.

## H) SILICE SOLUBLE.

La méthode employée a été décrite dans un travail antérieur (HUBAULT, 1932.)

*g) Quantité de silice soluble contenue dans les eaux du Grand Lac au début de la stagnation estivale de 1937.*

PROFONDEURS	27-V mmgr./litre	
Surface. . . . .	1,9	
10 m. . . . .	3,5	
20 m. . . . .	3,5	
30 m. . . . .	3,3	
40 m. . . . .	3,9	
50 m. . . . .	4	
60 m. . . . .	4,7	
63 m. . . . .	4,4	
64 m. 5 (fond). . . . .	8 (1)	(1) Dosage fait le 30 mai, avec une eau réchauffée et un peu de vase au fond du récipient.

## I) LA CHAUX.

Elle a été dosée par le même procédé de Mohr, utilisé pour les eaux du Léman. Ces nombres sont conformes à ceux donnés par DELEBECQUE. Ils sont plus uniformes que ceux que j'ai publiés précédemment (HUBAULT, 1943) et se rapportant aux prises d'eau du 5 octobre 1937 effectuées à la fin de la stagnation estivale.

TABEAU

h) *Quantité de chaux évaluée en CaO contenue dans le Grand Lac  
le 25 juillet 1942.*

PROFONDEURS	mmgr. par litre
Surface. . . . .	75,5
10 m. . . . .	76
20 m. . . . .	76,5
30 m. . . . .	75
40 m. . . . .	76,5
50 m. . . . .	75
60 m. . . . .	75,5
62 m. 5 (près du fond) . .	76

J) *RÉSISTIVITÉ DES EAUX DU GRAND LAC, A 18°, LE 9 JUIN 1938.*

PROFONDEURS	$\rho_{18}$
Surface. . . . .	4.228
10 m. . . . .	4.378
20 m. . . . .	4.230
30 m. . . . .	4.210
40 m. . . . .	4.218
50 m. . . . .	4.239
60 m. . . . .	4.142
64 m. (près du fond) . . .	4.142

K) *TRANSPARENCE DES EAUX DU GRAND LAC,  
LES 27 MAI 1937 ET 9 JUIN 1938.*

DATES	27-V-1937 7 h 27	9-VI-1938 9 h. 21
État du temps et du lac.	Beau temps calme et clair.	Très beau, calme, clair.
Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	5 m.	5 m.

**Le Petit Lac.****L) LES TEMPÉRATURES. (Planche II.)**

i) *Les températures au cours de la stagnation estivale de 1938.*

PROFONDEURS	25-VIII-1938
Surface. . . . .	20°,8
5 m. . . . .	20°,65
10 m. . . . .	15°,1
20 m. . . . .	7°,7
30 m. . . . .	6°,6
40 m. . . . .	6°,1
50 m. . . . .	5°,95
54 m. 5 (près du fond) . .	5°,95

Ces mesures font ressortir un épilimnion de la surface à 6 m.; un thermocline de 6 à 40 m. et un hypolimnion peu développé de 40 m. au fond.

Le Petit Lac d'Annecy est suffisamment fermé au nord-nord-ouest par le verrou de la Pointe de Duingt et du Roc de Chère pour qu'à certains égards, il présente des caractères d'individualité propre.

**M) L'OXYGÈNE DISSOUS DANS LES EAUX DU PETIT LAC  
DANS LE COURANT D'UNE STAGNATION ESTIVALE. (Planche V.)**

PROFONDEURS	25-VIII-1938 mmgr./litre O <sub>2</sub>
Surface. . . . .	6,4
5 m. . . . .	8
10 m. . . . .	
20 m. . . . .	7,5
30 m. . . . .	6,9
40 m. . . . .	6,6
50 m. . . . .	5,2
54 m. 5 (près du fond) . .	2,9

Nappe d'eau eutrophe à couches profondes pauvres en oxygène dissous.

## N) RÉSISTIVITÉ DES EAUX, A 18°, LE 25 AOUT 1938.

PROFONDEURS	218	PROFONDEURS	218
Surface . . . . .	4.887	40 m. . . . .	4.203
10 m. . . . .	4.431	50 m. . . . .	4.178
20 m. . . . .	4.208	54 m. 5 (près du fond). .	4.074
30 m. . . . .	4.203		

**3. — Le lac du Bourget.**

(Planches XII et XVII, fig. 1, 2 et 3).

Le lac du Bourget, d'une longueur de 18 km. entre les roseaux de Chindrieux au nord et ceux du Bourget au sud, d'une largeur supérieure à 3 km., de la baie de Grésine, à la rive opposée, forme une assez vaste nappe d'eau de 145,4 m. à sa plus grande profondeur, en face de l'abbaye de Hautecombe. Tout entier d'une seule venue, ce lac ne forme qu'un seul petit bassin secondaire de 47 m. de profondeur, dans la baie de Grésine.

Les trois principaux tributaires sont la Leisse et le Sierroz, issus tous deux du massif des Bauges, ainsi que le Tillet qui prend sa source dans les hauteurs mamelonnées à l'est de la montagne de Tresserve.

La proximité du Rhône qui coule non loin des rives septentrionales du lac du Bourget, fait que l'émissaire bien connu du lac dans le fleuve, le canal de Savières, n'a que quelques kilomètres de longueur et coule tantôt du lac vers le Rhône, tantôt du Rhône vers le lac, suivant leurs niveaux respectifs. Le tableau ci-dessous, communiqué par le Service local des Ponts et Chaussées, donne pour les années 1926 et 1927, les périodes d'écoulement du canal vers le Rhône ou vers le lac.

TABLEAU



ANNÉES	VERS LE RHÔNE	VERS LE LAC
1926	Du 1 <sup>er</sup> janvier au 12 mai. Du 20 au 27 mai. Du 3 juin au 3 juillet. Du 14 juillet au 15 août. Du 22 août au 20 octobre. Du 25 octobre au 20 novembre. Du 25 novembre au 31 décembre.	Du 13 au 20 mai. Du 27 mai au 3 juin. Du 3 au 14 juillet. Du 15 au 22 août. Du 20 au 25 octobre. Du 20 au 25 novembre.
1927	Du 1 <sup>er</sup> janvier au 5 juin. Du 15 juin au 20 juillet. Du 25 juillet au 20 septembre. Du 30 septembre au 23 décembre. Du 27 au 31 décembre.	Du 5 au 15 juin. Du 20 au 25 juillet. Du 20 au 30 septembre. Du 23 au 27 décembre.

Quelques mesures du débit du canal ont été faites en 1916. Cette année-là le canal a coulé :

1<sup>o</sup> du lac vers le Rhône pendant deux cent soixante-dix jours, avec un débit moyen de 41 m<sup>3</sup> à la seconde;

2<sup>o</sup> du Rhône vers le lac pendant quatre-vingt-sept jours, avec un débit moyen de 23 m<sup>3</sup>;

3<sup>o</sup> pendant neuf jours, le courant a été nul.

Le lac du Bourget est également sujet à des crues rapides et brutales comme celles de janvier 1910 et de décembre 1944; elles surviennent au moment des mauvais temps généraux, quand il y a des pluies abondantes ou des fontes de neige dans les grandes Alpes, dans le Valais notamment; les débits du haut Rhône et de l'Arve montent alors en flèche, ce qui grossit le lac Léman et, à sa suite, le Rhône moyen dont une partie des eaux refluent dans le lac du Bourget par le canal de Savières. Si, en même temps, les tributaires du lac du Bourget, la Leisse et le Sierroz, sont en crue, il peut s'ensuivre dans le lac des variations de niveau de plusieurs mètres en quelques heures.

Comme pour le lac d'Annecy, il existe une étude de LE ROUX sur les organismes des rives et du plancton, mais dont les exemplaires ont été tirés en nombre limité. Il y a, de plus, une monographie botanique des rivages dans MAGNIN (1904).

Les pages qui suivent ont trait aux caractères physico-chimiques des eaux.

A) STRATIFICATION VOLUMÉTRIQUE DE LA SURFACE AU FOND  
(145,4 m.)

0- 10 m . . . . .	410.900.000 m <sup>3</sup> , soit	0,113	du volume total.
10- 20 m . . . . .	375.700.000	—	0,104 —
20- 30 m . . . . .	361.700.000	—	0,100 —
30- 40 m . . . . .	344.500.000	—	0,096 —
40- 50 m . . . . .	324.700.000	—	0,090 —
50- 60 m . . . . .	303.800.000	—	0,084 —
60- 70 m . . . . .	284.200.000	—	0,078 —
70- 80 m . . . . .	264.100.000	—	0,073 —
80- 90 m . . . . .	243.900.000	—	0,067 —
90-100 m . . . . .	214.600.000	—	0,059 —
100-110 m . . . . .	178.700.000	—	0,049 —
110-120 m . . . . .	139.100.000	—	0,038 —
120-130 m . . . . .	101.300.000	—	0,028 —
130-140 m . . . . .	63.200.000	—	0,017 —
140-145 m . . . . .	9.850.000	—	0,003 —
145-145,4 m . . . .	50.000 m <sup>3</sup>	pour mémoire.	
Total . . . . .	3.620.300.000 m <sup>3</sup> .		

Altitude au-dessus du niveau de la mer : 232,5 m., le 10 septembre 1941, à 18 h. 50, à l'échelle du Grand Port d'Aix-les-Bains.

Surface à la cote 0 : 44,62 km<sup>2</sup>.

Profondeur moyenne : 81,14 m.

B) LES TEMPÉRATURES (Planches III et IV.)

De nombreuses mesures de températures ont été faites dans le lac du Bourget. Voici celles qui ont été effectuées soit par mes assistants, soit par mes élèves, soit par moi-même.

Les mesures effectuées situent un épilimnion et un thermocline d'été, le premier de la surface à 12 m., le second de 12 à 30 m.

En 1934, il y eut une circulation vernale antérieure au 31 mars.

On voit en avril 1942 l'influence de l'hiver rigoureux qui sévit cette année-là. Les températures prises le 21 de ce mois, après la circulation vernale, accusent en profondeur, un abaissement assez sensible sur les années précédentes, à la même époque.

## a) Températures des eaux du lac du Bourget de 1933 à 1946.

PROFONDEURS	1933			1934				1935		1936		1937	1938		1941		1942	1946
	10-X	I-I	31-III	20-V	14-VII	5-VIII	I-I	22-IV	9-IX	21-V	21-X	8-VIII	5-VI	29-VIII	10-VIII	9-IX	21-IV	13-VIII
Surface	18 <sup>0</sup> ,2	5 <sup>0</sup> ,1	5 <sup>0</sup> ,4	15 <sup>0</sup> ,6	23 <sup>0</sup> ,25	22 <sup>0</sup> ,6	7 <sup>0</sup> ,1	9 <sup>0</sup> ,45	21 <sup>0</sup> ,8	15 <sup>0</sup> ,7	22 <sup>0</sup> ,9	23 <sup>0</sup> ,85	15 <sup>0</sup> ,2	20 <sup>0</sup> ,5	21 <sup>0</sup> ,55	19 <sup>0</sup> ,	9 <sup>0</sup> ,3	23 <sup>0</sup> ,45
5 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	8 <sup>0</sup> ,15	22 <sup>0</sup> ,9
10 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	6 <sup>0</sup> ,6	21 <sup>0</sup> ,1
15 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
20 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
25 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
30 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
40 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
50 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
60 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
70 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
80 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
90 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
100 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
101 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
102 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
105 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
110 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
113 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
120 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
125 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
130 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
134,9 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
136 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
137 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
139 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
140 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
141 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
142 m.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

(1) Au large du grand port d'Aix-les-Bains.

(2) Aux grands fonds de Hautecombe.

(3) Au large de Bourdeau.

Provision annuelle de chaleur en 1934 :

PROFONDEURS	VOLUMES %	I-I-1934		I4-VII-1934	
		t	Produit 2 × 3	t	Produit 2 × 5
1	2	3	4	5	6
Surface . . . . .	0,113	5 <sup>0</sup> ,1	0,576	21 <sup>0</sup> ,40	2,418
10 m. . . . .	0,104	5 <sup>0</sup> ,05	0,525	13 <sup>0</sup> ,6	1,414
20 m. . . . .	0,100	5 <sup>0</sup> ,05	0,505	6 <sup>0</sup> ,55	0,655
30 m. . . . .	0,096	5 <sup>0</sup> ,05	0,485	5 <sup>0</sup> ,2	0,499
40 m. . . . .	0,090	5 <sup>0</sup> ,05	0,454	4 <sup>0</sup> ,8	0,432
50 m. . . . .	0,084	5 <sup>0</sup> ,05	0,424	4 <sup>0</sup> ,75	0,399
60 m. . . . .	0,078	5 <sup>0</sup> ,05	0,394	4 <sup>0</sup> ,75	0,370
70 m. . . . .	0,073	5 <sup>0</sup> ,05	0,369	4 <sup>0</sup> ,65	0,339
80 m. . . . .	0,067	5 <sup>0</sup>	0,335	4 <sup>0</sup> ,55	0,305
90 m. . . . .	0,059	4 <sup>0</sup> ,9	0,289	4 <sup>0</sup> ,5	0,265
100 m. . . . .	0,049	4 <sup>0</sup> ,8	0,235	4 <sup>0</sup> ,5	0,220
110 m. . . . .	0,038	4 <sup>0</sup> ,8	0,182	4 <sup>0</sup> ,5	0,171
120 m. . . . .	0,028	4 <sup>0</sup> ,8	0,134	4 <sup>0</sup> ,5	0,126
130 m. . . . .	0,017	4 <sup>0</sup> ,8	0,082	4 <sup>0</sup> ,5	0,076
140 m. . . . .	0,003	4 <sup>0</sup> ,8	0,014	4 <sup>0</sup> ,55	0,014
145 m. 4. . . . .			5,003		7,703

Écart de températures :  $7^0,703 - 5^0,003 = 2^0,700$ .

Provision annuelle approximative de chaleur en 1934 :

 $2,7 \times 8.114 = 22.000 \text{ cal.}$ 

## C) LE PH DES EAUX.

Ces mesures ont été faites en 1933 et en 1934 par la méthode colorimétrique, et vérifiées électrométriquement en 1936.

b) *pH colorimétrique et électrométrique des eaux  
en 1933, 1934 et 1936.*

PROFONDEURS	1933			1934			1936
	2-VIII	25-IX	29-XII	28-III	20-V	21-VII	20-V
Surface . . . . .	8	7,9	7,9	8	8,1	8	8,2
10 m. . . . .	7,9	7,9	8	8	8,1	7,9	8,2
20 m. . . . .	7,9	8	8	8	8	7,9	8,1
30 m. . . . .	7,9	7,8	8	7,9	8	8	8,1
40 m. . . . .	7,9	7,8	7,9	7,9	8	7,9	8,1
50 m. . . . .	7,9	7,8	8	7,9	8	7,9	8,05
60 m. . . . .	7,9	7,8	7,9	7,9	8	7,9	8,05
70 m. . . . .	7,9	7,8	7,8	7,9	8	7,9	8,05
80 m. . . . .	7,9	7,8	7,8	7,9	8,1	7,9	8
90 m. . . . .	7,9	7,7	7,8	7,9	8	7,9	8
100 m. . . . .	7,9	7,7	7,8	7,9	8	7,9	8
110 m. . . . .		7,7	7,8	7,9	7,9	7,9	8,04
120 m. . . . .		(1)	7,8	7,9	7,9	7,9	8,07
128 m. . . . .			7,7				
130 m. . . . .				7,9	7,9	7,8	
132 m. . . . .							8,1
135 m. . . . .						7,8	
139 m. 5. . . . .				7,9 (2)	7,9		

(1) A la fin de la stagnation estivale.  
(2) A la suite de la circulation vernale.

La première prise d'eau de 1933 a été faite entre Bourdeau et le Petit-Port d'Aix-les-Bains. Toutes les autres, de 1933, 1934 et 1936 proviennent des fonds entre la fosse de Haute-combe et le Grand-Port d'Aix-les-Bains.

En automne et en hiver, le lac du Bourget est légèrement plus acide qu'au printemps et en été. La différence est particulièrement nette depuis 70 m. jusqu'au fond.

Cette différence doit être rapportée à la présence d'un peu de gaz carbonique dans les eaux de profondeur, à la fin de la stagnation hivernale.

## D) L'OXYGÈNE DISSOUS DANS LES EAUX.

(Planche V).

Les trois premières séries de mesures citées plus bas sont toutes relatives à des prises d'eaux effectuées au large de Bourdeau. Il est à remarquer que toute mesure faite à n'importe quel autre endroit du lac, soit au large du grand Port d'Aix-les-Bains, soit au-dessus de la fosse de Hautecombe, aurait donné, à cause de la régularité de la cuvette du lac, des résultats comparables, ainsi que le prouve la dernière série exécutée au large du Grand Port d'Aix-les-Bains.

c) Quantités d'oxygène dissous dans les eaux  
au cours des stagnations estivales de 1935, 1936, 1937, 1941, 1946.

PROFON- DEURS	9-IX-1935		2-IX-1936		8-VIII-1937		9-IX-1941		16-VIII 1946	OBSERVATIONS
	mmgr. O <sub>2</sub> par litre	% de la satu- ration	mmgr. O <sub>2</sub> par litre	% de la satu- ration	mmgr. O <sub>2</sub> par litre	% de la satu- ration	mmgr. O <sub>2</sub> par litre	% de la satu- ration	mmgr. O <sub>2</sub> par litre	
Surface .	9,9	115	9,5	114	9,5	115	9,4	102,5	10,3	Baromètre : 9 septembre 1935 : 741. 2 septembre 1936 : 739. 8 août 1937 : 738. 9 septembre 1941 : 744.
5 m. .									10,3	
10 m. .	10	115	9,8	97	10,7	113	9,4	101	10,3	
20 m. .			9,8	88	10,5	92	9,6	86	10,4	
30 m. .			9,8	86			10,2	84,5	10,4	
40 m. .			10,1	87			10,5	85,5	10,4	
50 m. .			10,4	86	10,6	87	10,7	86	10,7	
60 m. .	11	88	10,3	84	10,6	87	10,7	86	10,8	
70 m. .	10,9	87,5	10,4	85	10,4		10,9	87	10,9	
80 m. .	11,1	88	10,7	87,5	10,6	87	9,5	76	10,8	
90 m. .	11,1	88	10	82	10,1		10,7	85	10,4	
100 m. .					9,6	78	9,9	78	9,8	
102 m. (1)			8,8	72						
105 m. (1)	9,1				6,3					
108 m. 5.										
112 m. (1)									9,1	

(1) Près du fond.

La sursaturation est presque constante en été dans les dix premiers mètres. Le lac du Bourget est encore oligotrophe

grâce à sa rive occidentale complètement abrupte et presque entièrement dépourvue de localités habitées.

## E) LE GAZ CARBONIQUE LIBRE ET SEMI-COMBINÉ.

(Planche V.)

d) *Quantités de gaz libre et semi-combiné contenues dans les eaux le 25 mai 1935, aux grands fonds de Hautecombe.*

PROFONDEURS	CO <sub>2</sub> libre mmgr./litre	CO <sub>2</sub> des bicarbonates mmgr./litre	ACIDE carbonique total mmgr./litre
Surface . . . .	1	122,4	123,4
10 m. . . . .	1,4	123,3	124,7
20 m. . . . .	1,8	124,2	126
30 m. . . . .	1,8	125,1	126,9
40 m. . . . .	1,8	125,9	127,7
50 m. . . . .	1,8	124,2	126
60 m. . . . .	1,8	124,2	126
70 m. . . . .	2,2	124,2	126,4
80 m. . . . .	2,2	123,3	125,5
90 m. . . . .		125,9	
100 m. . . . .	2,2	123,3	125,5
110 m. . . . .	2,2	124,2	126,4
120 m. . . . .	2,3	125,1	127,4
130 m. . . . .	2,3	125,1	127,4
139,5 (près du fond) . . . .	3,1	122,4	125,5

Ces mesures furent faites après une circulation vernale; le gaz carbonique des bicarbonates est assez uniformément réparti dans toute la masse et les couches profondes ne marquent qu'une très légère augmentation par rapport aux couches moyennes et superficielles. Il n'y a nulle part des nombres aussi forts que ceux enregistrés dans le Grand Lac d'Annecy à la fin de la stagnation estivale de 1937.

## F) ALCALINITÉ TOTALE (Planche VI.)

On a cherché à rendre globalement la quantité de bases alcalines et alcalino-terreuses contenue dans des eaux, sous forme

de silicates, de bicarbonates, et éventuellement d'humates, de phosphates et de chlorures.

L'alcalinité totale s'exprime au moyen de la quantité d'acide sulfurique  $\frac{N}{10}$  qu'il faut ajouter à 100 cm<sup>3</sup> de l'eau à analyser pour y faire virer quelques gouttes de méthylorange du jaune au rose. Chaque centimètre cube d'acide sulfurique  $\frac{N}{10}$  correspond à 5 mmgr. de carbonate de calcium. Les nombres contenus dans le tableau suivant expriment en milligrammes de ce sel, l'alcalinité totale des eaux du lac du Bourget, prises aux grands fonds de Hautecombe, au cours de la stagnation estivale de 1934 et au début de celle de 1935.

c) *Alcalinité totale des eaux du lac du Bourget, le 21 juillet 1934 et le 25 mai 1935, exprimée en milligrammes de carbonate de calcium par litre d'eau.*

PROFONDEURS	12-VII-1934	25-V-1935	PROFONDEURS	21-VII-1934	25-V-1935
Surface . . .	137,5	140	100 m.	162,5	145
10 m. . . .	137,5	142,5	110 m.	162,5	145
20 m. . . .	140	145	120 m.	165	145
30 m. . . .	140	142,5	130 m.	164	145
40 m. . . .	160	140	135	164	"
50 m. . . .	159	140	(près du fond)		
60 m. . . .	162,5	142,5	139,5	"	145
70 m. . . .	165	147,5	(près du fond)		
80 m. . . .	165	145			
90 m. . . .	164	145			

#### G) PHOSPHORE SOLUBLE.

##### AZOTES AMMONIACAL ET NITREUX.

Aucune trace de phosphore soluble n'est décelable dans les eaux alcalines, riches en oxygène de ce lac oligotrophe. Comme je le montrerai plus loin, le phosphore se retrouve en *totalité* dans les vases du fond.

Les stades ammoniacal et nitreux de l'azote ne figurent d'ailleurs pas non plus dans ces eaux.



## H) L'AZOTE NITRIQUE.

Par contre, l'azote nitrique s'y rencontre en quantités très appréciables, ainsi que le montrent les nombres qui figurent au tableau suivant et tous relatifs à des eaux prises entre le Grand Port d'Aix-les-Bains et les grands fonds de Hautecombe.

Les trois séries de mesures ont été faites par la méthode d'Autenrieth.

## f) Azote nitrique contenu dans les eaux du lac du Bourget.

PROFONDEURS	20-VIII-1933		29-XII-1933		28-III-1934	
	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mmgr./l.	N <sub>2</sub> mmgr./l.	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mmgr./l.	N <sub>2</sub> mmgr./l.	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mmgr./l.	N <sub>2</sub> mmgr./l.
Surface . . . . .	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1
10 m. . . . .	0,5	0,13	0,4	0,1	0,4	0,1
20 m. . . . .	0,8	0,2	0,5	0,13	0,1	0,03
30 m. . . . .	0,8	0,2	0,5	0,13	0,4	0,1
40 m. . . . .	0,7	0,2	0,5	0,13	0,1	0,03
50 m. . . . .	0,6	0,16	0,5	0,13	0,2	0,05
60 m. . . . .	0,7	0,2	0,5	0,13	0,2	0,05
70 m. . . . .	0,7	0,2	0,5	0,13	0,2	0,05
80 m. . . . .	0,7	0,2	0,5	0,13		
90 m. . . . .	0,7	0,2	0,5	0,13	0,3	0,08
100 m. . . . .	0,7	0,2	0,5	0,13	0,3	0,08
110 m. . . . .			0,6	0,16	0,2	0,05
120 m. . . . .			0,6	0,16		
128 (1) . . . . .			0,6	0,16		
130 m. . . . .						
139 m. 5 (1) . . . .					0,5	0,13

(1) Près du fond.

Ces quantités sont comparables à celles contenues dans les eaux du Grand Lac, à Annecy.

## I) LA CHAUX.

Elle a été dosée comme dans les eaux du Léman et mes mesures accusent des nombres un peu supérieurs à ceux publiés par

DELEBECQUE et par moi-même (HUBAULT, 1943) à la suite de la prise du 25 mai 1935.

g) *Chaux totale comptée en milligrammes par litre, contenue dans les eaux du lac du Bourget, le 17 avril 1942, au large de Bourdeau.*

PROFONDEURS	Ca O totale mmgr./litre
Surface. . . . .	78
10 m. . . . .	78
20 m. . . . .	61,5
30 m. . . . .	71,7
60 m. . . . .	71,7
80 m. . . . .	74
88 m. (près du fond) .	78

#### J) SILICE SOLUBLE.

Les analyses qui ont été faites en 1933 et 1934, proviennent de prises d'eaux faites :

- les 2 et 13 août 1933, au large de Bourdeau;
- le 25 septembre 1933, au large du grand port d'Aix-les-Bains;
- le 29 décembre 1933, entre le grand port d'Aix-les-Bains et Hautecombe;
- les trois prises d'eau en 1934 ont été effectuées au voisinage des grands fonds de Hautecombe.

h) *Silice soluble contenue dans les eaux du lac du Bourget, en milligrammes par litre.*

PROFONDEURS	1933				1934			OBSERVATIONS
	2-VIII	12-VIII	25-IX	29-XII	28-III	20-V	21-VII	
Surface.	0,8	0,4	0,5	3	3	1,2	1,5	La silice est plus uniformément répartie en hiver et au printemps qu'en été.
10 m.	0,8	1,1	0,4	3,4	3,3	1,5	2	
20 m.	3,2	3	0,9	3,4	3,4	2,6	2,7	
30 m.	4	3,8	3,7	2,5	3,3	2,3	»	
40 m.	4,1	4,1	4	3,7	3,2	»	3,6	
50 m.	4,5	4,4	3,5	»	3,3	2,4	3,2	
60 m.	4,4	4,1	»	2,8	3,6	2,5	3,3	
70 m.	4,4	4,1	3,9	3,2	3,4	2,7	3,4	
80 m.	4,5	4,2	3,8	3,6	»	»	3,8	
90 m.	4,7	4,2	4,6	3,4	3,9	2,5	2,6	
100 m.	5,4	5	4,5	4,2	3,8	2,8	2,3	
110 m.			5,8	4,7	3,4	3,1	2,6	
120 m.				4,7	3,8	3,1	3,8	
128 m. (1)				4,6	»	»	»	
130 m. (1)					3,6	3	4,8	
135 m. (1)					»	»	4,4	
139 m. (1)					»	2,3		
139,5 m. (1)					3,5			
(1) Près du fond.								

K) LA QUANTITÉ TOTALE DE MATIÈRES SOLUBLES DANS LES EAUX ET LES ÉLECTROLYTES D'APRÈS LES DEGRÉS INTERFÉROMÉTRIQUES ET LA RÉSISTIVITÉ.

Des mesures avec l'interféromètre à eau ont été faites en 1933 et 1934 dans le lac du Bourget. Elles sont reproduites plus bas; ainsi qu'il fallait s'y attendre, elles font ressortir des valeurs beaucoup plus fortes que les mesures correspondantes des eaux des lacs des Vosges.

Des mesures de résistivité  $\rho$  à 18°, ont été faites également dans le lac du Bourget. Elles correspondent à celles effectuées avec l'interféromètre et, d'une façon générale, avec les analyses chimiques. Les eaux de surface sont plus pauvres en matières dissoutes que les eaux de fond; ce qui était du reste à prévoir.

i) Nombres de degrés interférométriques mesurés en 1933 et 1934  
à divers endroits du lac du Bourget.

PROFON- DEURS	1933			1934			OBSERVATIONS
	31-VII	25-IX	29-XII	28-III	20-V	21-VII	
Surface	101,8	74,6	87,4	90,8	99,8	91,3	Mesures faites avec une chambre à eau de 40 mm.
10 m.	107,7	74,8	87,9	90,5	98,4	91,7	
20 m.	103,3	74,8	87,6	90,1	102,8	88,1	
30 m.	104,8	91,9	88,4	90,6	98,8	91,5	
40 m.	104,75	92,2	88,9	90,9	»	89,2	
50 m.	104,5	92,2	89	90,5	102,4	90,7	
60 m.	102,6	88,5	89,7	90,2	102,4	90,7	
70 m.	102,6	90,4	91	91	102,4	90,45	
80 m.	105,2	91,9	89,6	»	99,4	90,5	
90 m.	105,25	90,85	91,9	90,7	102,3	88,5	
100 m.	103,6	90,85	92,4	91	102,3	86,2	
110 m.	Au large de Bourdeau.	92,1	92,2	91	103,2	89,2	
120 m.		Au large du	92,9	91	103,2	89,7	
128 m.			91,9	»	»	»	
130 m.		Grand Port d'Aix- les-Bains.	Entre	90,3	103,6	91,9	
135 m.			le	»	»	90,7	
139 m.			Grand Port	»	102,3	Entre	
139,5 m.			d'Aix- l.-Bains et Haute- combe.	90,5 Entre le Grand Port et Haute- combe.	Entre le Grand Port et Haute- combe.	Grand Port d'Aix- l.-Bains et Haute- combe.	

TABLEAU

j) Mesures de résistivité  $\varrho_{18}$  à 18° C.,  
des eaux du lac du Bourget en 1941 et 1942 (1).

PROFONDEURS	1938			1941		1942
	5-VI	11-VII	19-VII	8-VIII	9-IX	10-VIII
Surface	4.016	4.430	4.310	4.150	4.260	3.930
2 m.			4.301			
4 m.			4.301			
6 m.			4.301			
8 m.			4.273			
10 m.	3.836	3.855	4.246	3.630	4.260	3.450
15 m.			3.853			
20 m.	3.734	3.688	3.758	3.500	3.540	3.380
25 m.			3.664			
30 m.	3.623	3.669	3.631	3.430	3.430	3.380
40 m.	3.697	3.658	3.621	3.400	3.450	3.300
50 m.	3.639	3.639	3.651	3.380	3.480	3.370
60 m.	3.620	3.658			3.400	3.330
70 m.	3.630	3.636			3.390	3.275
80 m.	3.620				3.400	3.290
90 m.	3.658			Au large du Petit Port d'Aix- les-Bains.	3.390	3.260
100 m. (2)	3.630				3.370	3.250
105 m. (2)	»					3.320
110 m.	3.648				Au large de Bourdeau.	Au large du Grand Port d'Aix-l.-Bains.
120 m.	3.648					
130 m.	3.639					
140	3.639					
143 m. (2)	3.540					
Aux grands fonds de Hautecombe.						

(2) Près du fond.

(1) La presque totalité des mesures de résistivité ont été faites par mon assistant,  
M. l'inspecteur des Eaux et Forêts VILLIÈRE.

L) TRANSPARENCE DES EAUX MESURÉE AU DISQUE DE SECCHI.  
(Planche VI.)

DATES	5-X 1933	28-III 1934	31-III 1934	1-VIII 1934	5-VIII 1943	17-IX 1934	29-XII 1934	20-IV 1935	22-IV 1935	31-XII 1935	10-VIII 1937
État du temps et du lac.	Beau temps calme.	Beau temps calme.	Beau temps calme.	Beau temps calme.	Beau temps calme.	Beau temps calme.	Beau temps calme.	Beau temps calme.	Beau temps calme.	Beau temps calme.	Beau temps calme.
		Au large de la baie de Grésine.	Au large de la baie de Grésine.	Entre Haute- combe et le grand port		Au large du petit port.	Au large de la Chapelle du Mont du Chat.	Entre le Grand Port et Haute- combe.	Aux grands fonds de Haute- combe.	Baie de Grésine.	Au large de Bordeaux.
Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	8 m. 25	8 m.	8 m.	6 m. 25	7 m. 30	6 m. 10	9 m. 25	9 m.	6 m.	7 m.	6 m. 30

Les eaux sont plus claires l'hiver que l'été, à cause de la moins grande quantité de plancton.

## M) ÉTUDE DE DEUX BAIES DU LAC DU BOURGET

Malgré la grande régularité et la simplicité de son bassin, le lac du Bourget présente, sur ses rives orientales, deux baies, la baie de Mémart et la baie de Grésine dont l'une, celle de Grésine, avec ses dépôts de craie, offre des caractères lacustres bien prononcés (FAVRE, 1940).

Toutes deux, d'ailleurs, ont fait de ma part l'objet d'une étude particulière.

**La baie de Grésine.**

La plus septentrionale des deux. Située sensiblement à égale distance entre les extrémités nord et sud du lac, elle échancrait profondément autrefois ses rivages. A deux reprises, les travaux de l'homme la restreignirent, coupant et isolant son fond. Tout d'abord, la grand'route qui suit les bords du lac détermina la construction d'une chaussée séparant complètement du lac des marécages qu'on remarque encore au sud-est; seules des infiltrations maintiennent la communication et le niveau des eaux.

Une seconde chaussée, celle du chemin de fer du Mont-Cenis, coupa une deuxième tranche, mais ne l'isola pas tout à fait, puisqu'un chenal, que la voie ferrée enjambe par un ponceau, maintient avec le lac une certaine connexion.

La baie de Grésine forme une cuvette secondaire de plus de 46 m. de profondeur maxima, au nord-ouest; elle est séparée du bassin principal du lac par un seuil qui domine ses profondeurs de plus de 13 m.

TABLEAU

a) *Les températures.**La baie.*

PROFONDEURS	31-XII 1935	3-IX 1946
Surface . . . . .	6°,1	19°,15
5 m. . . . .	6°,15	10°,15
7 m. 50 . . . . .	»	18°,7
10 m. . . . .	6°,1	16°,5
15 m. . . . .	6°,2	12°,55
20 m. . . . .	6°,1	6°,9
27,7 m. (1) . . . .	6°,1	
30 m. . . . .		6°,8
40 m. (1) . . . .		5°,95
(1) Près du fond.		

*Délaissés derrière la voie ferrée.*

PROFONDEURS	23-V 1936	3-IX 1946
Su face. . . . .		19°,7
0 m. 50. . . . .	14°,6	
1 m. . . . .	14°,6	
1 m. 50. . . . .	14°,3	
2 m. 1 (près du fond). . . . .	14°	
3 m. (près du fond) . . . . .		18°,9

b) *Le pH électrométrique de l'eau des délaissés derrière la voie ferrée.*

PROFONDEURS	23-V 1936	
0 m. 50 . . . . .	7,92	Un peu plus acide que les eaux du lac à la même époque (20 mai 1936), à cause de l'abondance de la végétation.
1 m. . . . .	7,9	
1 m. 50 . . . . .	7,91	
2 m. 1 . . . . .	7,9	

c) *Oxygène dissous.**La baie.*

PRO- FONDEURS	3-IX 1946		OBSER- VATIONS
	O <sub>2</sub> mmgr. par litre	% de la satu- ration	
Surface	10,2	111	Pression baromé- trique : 749,5.
5 m.	10,1	109	
10 m.	9,9	102	
15 m.			
20 m.	9,1	75	
30 m.	9,8	81	
40 m.	10,2	82,5	

*Délaissés derrière la voie ferrée.*

PRO- FONDEURS	3-IX 1946		OBSER- VATIONS
	O <sub>2</sub> mmgr. par litre	% de la satu- ration	
Surface . .	8,50	94	Pression baromé- trique : 748,8.
3 m.	8,45	92,5	



d) *Le gaz carbonique libre et semi-combiné.*

PROFONDEURS	CO <sub>2</sub> libre mmgr./litre	CO <sub>2</sub> des bicarbonates mmgr./litre	CO <sub>2</sub> total mmgr./litre	OBSERVATIONS
Surface. . . . .	2,3	131,9	134,2	Prises d'eau du 31 décembre 1935.
5 m. . . . .	2,3	132,9	135,2	
10 m. . . . .	2,3	132,7	135	
15 m. . . . .	2,7	132,1	134,8	
20 m. . . . .	2,1	133,2	135,3	
27,7 m. (près du fond). . . . .	3,3	133,4	136,7	

e) *Alcalinité totale en milligrammes par litre, de carbonate de calcium.*

PROFONDEURS	ALCALINITÉ totale	OBSERVATIONS
Surface . . . . .	142	Prises d'eau du 31 décembre 1935.
5 m. . . . .	142	
10 m. . . . .	142	
15 m. . . . .	142	
20 m. . . . .	142	
27 m. 7 (près du fond). . . . .	142,5	

f) *Absence complète de phosphore soluble, d'azotes ammoniacal et nitreux dans les eaux de la baie de Grésine.*g) *Azote nitrique.*

PROFONDEURS	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mmgr./litre	N <sub>2</sub> mmgr./litre	OBSERVATIONS
Surface . . . . .	0,5	0,1	Méthode d'Autenrieth. Prises d'eau du 31 décembre 1935.
5 m. . . . .	0,4	0,1	
10 m. . . . .	0,5	0,1	
15 m. . . . .	0,3	0,07	
20 m. . . . .	0,3	0,09	
27,7 m. (près du fond). . . . .	0,3	0,07	

h) *Silice soluble.*

i) *Quantité totale de matières dissoutes dans les eaux d'après les degrés interférométriques.*

PROFON- DEURS	SiO <sub>2</sub> mmgr. par litre	OBSERVATIONS
Surface	2,8	Prises d'eau du 31 déc. 1925.
5 m.	2,9	
10 m.	2,8	
15 m.	2,8	
20 m.	3	

PROFON- DEURS	DEGRÉS à l'inter- férom.	OBSERVATIONS
Surface	89,25	Chambre de 40 mm. Prises d'eau du 31 déc. 1935.
5 m.	88,3	
10 m.	89,25	
15 m.	89,25	
20 m.	89,25	
27 m. 7 (près du fond).	89,5	

**La baie de Mémart.**

On trouve ce nom écrit de diverses autres façons : Mémars, Meimard, ou Mémard. C'est une baie peu profonde, sableuse, vaseuse, à demi-encombrée de roseaux. Elle s'ouvre largement vers l'ouest, et se situe au nord du grand port d'Aix-les-Bains. La municipalité de cette ville y a établi une station de pompage pour ses eaux d'alimentation.

Voici quelques renseignements concernant les qualités des eaux.

*Températures.*

*pH le 19 mai 1935.*

PROFONDEURS	25-IV-1935	19-V-1935
Surface . . . . .	89,5	139,05
0 m. 50. . . . .	89,5	
0 m. 55. . . . .		129,8
1 m. 1 (fond) . . . .		129,4
1 m. 5 . . . . .	89,5	
2 m. (fond) . . . . .	89,5	

PROFONDEURS	pH
Surface. . .	7,7
0 m. 55. . .	7,7
1 m. 1 . . .	7,8

*Oxygène dissous.*

PROFONDEURS	25-IV-1935		19-V-1935		OBSERVATIONS
	O <sub>2</sub> mmgr./litre	% de la saturation	O <sub>2</sub> mmgr./litre	% de la saturation	
Surface . . .	12,3	108	11,9	115	Baromètre, le 25 avril 1935 : 732.
0 m. 50 . . .	12,1	107,5			
0 m. 55 . . .			12,3	119	
1 m. . . . .	12,1	107,5			le 19 mai 1935 : 737.
1 m. 1 (fond).			12,3	117,5	
2 m. (fond).	12,1	107,5			

*Gaz carbonique libre  
et semi-combiné le 19. mai 1935.*

PROFONDEURS	CO <sub>2</sub> libre mmgr. par litre	CO <sub>2</sub> des bicarbonates mmgr./litre	CO <sub>2</sub> total mmgr./litre
Surface . . .	1,5	137,7	139,2
0 m. 55 . . .	1,7	132,4	134,1
1 m. 1 (fond).	1,3	133,3	134,6

*Alcalinité totale  
le 19 mai 1935.*

PROFONDEURS	Mmgr. de CO <sub>2</sub> Ca par litre
Surface . . .	157,5
0 m. 55 . . .	155
1 m. 1 . . . .	157,5

*Azote nitrique  
le 19 mai 1935*

PROFON- DEURS	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mmgr. par litre	N <sub>2</sub> mmgr. par litre
Surface	0,35	0,09
0 m. 55	0,4	0,1
1 m. 1	0,4	0,1

*Silice soluble  
le 19 mai 1935.*

PROFON- DEURS	SiO <sub>2</sub> mmgr. par litre
Surface	2,8
0 m. 55	3,5
1 m. 1	3,4

*Degrés interféromé-  
triques 19 mai 1935.*

PROFON- DEURS	DEGRÉS	OBSERVA- TIONS
Surface	111,7	Chambre de 40 mm.
0 m. 55	109,7	
1 m. 1	106	

Ni phosphore soluble, ni azote ammoniacal, ni azote nitreux.

N) RECHERCHE DU PHOSPHORE ET DU FER DANS LES VASES  
DE FOND DU LAC DU BOURGET

L'impossibilité où j'avais été de trouver du phosphore soluble dans les eaux basiques du lac du Bourget, les teneurs infimes de fer que DELEBECQUE (1898) avait décelées dans ses eaux, en dosant ce métal conjointement avec l'alumine, me conduisirent à rechercher si ces substances, présentes dans les eaux des tributaires (1), ne se retrouvaient pas dans la vase des grands fonds du lac.

Je fis pour cela des prélèvements de vase, le 31 mai 1939, tant à proximité de la fosse de Hautecombe (135 m.) que dans la baie de Grésine (35 m.). Ces matières furent soigneusement desséchées au soleil pendant plusieurs jours et pulvérisées au mortier, puis un gramme de chaque substance sèche repris par 400 cm<sup>3</sup> d'eau distillée très pure. Après une agitation prolongée, je laissai reposer, filtrai et m'efforçai de déceler le phosphore et le fer dans le liquide clair par les méthodes colorimétriques suivantes.

Le phosphore fut dosé par la méthode de Denigès (HUBAULT, 1932).

Je cherchai à évaluer séparément les ions ferriques et les ions ferreux et me reportai pour cela aux procédés préconisés par MÜLLER (1933) dans son travail sur les méthodes de campagne pour les analyses sur place en limnologie.

Les ions ferriques peuvent être décelés au moyen d'une solution concentrée (50%) de sulfocyanure de potassium, exempt de fer, bien entendu, en présence d'acide chlorhydrique. Il se forme, quand les eaux contiennent des ions ferriques, une solution rouge de sulfocyanure ferrique dont la teinte est d'autant plus prononcée que la richesse en fer est plus grande. Une échelle de teintes susceptible de donner une courbe régulière au photomètre différentiel de Pulfrich (HUBAULT, 1932) peut être obtenue en dissolvant dans un litre d'eau distillée auquel on ajoute 0,1 gr. de bichlorure de mercure et 10 cm<sup>3</sup> d'acide chlor-

---

(1) Je trouvai 23 milligrammes de phosphore par tonne dans les eaux du Sierroz, le 20 mai 1937, en aval des abattoirs d'Aix-les-Bains.

hydrique concentré, 0,0901 gr. de sulfate ferrique potassique ou bien 0,0864 gr. de sulfate ferrique ammoniacal; ce qui correspond à 0,01 mmgr. de fer par  $\text{cm}^3$ ; on peut étendre ensuite à volonté. On obtient ainsi une gamme de teintes assez peu stable, il est vrai, mais d'une durée suffisante pour effectuer des mesures colorimétriques.

MÜLLER recommande, pour le dosage des ions ferreux, l'emploi de la  $\alpha$ - $\alpha'$  dipyridyl, en solution chlorhydrique qui donne une teinte rouge en présence de  $\text{Fe}^{++}$ . Le prix déjà élevé de ce réactif en 1939, me fit abandonner le projet d'utiliser ce procédé. Je pensai alors à convertir en ions ferriques tout le fer en solution par l'emploi de petites quantités d'eau de brome, agissant comme oxydant (MÜLLER, 1933). En dosant d'une part les ions ferriques avant l'oxydation, puis le fer total après cette oxydation, on aurait une idée, par différence, de la quantité d'ions ferreux en solution.

Voici les résultats de ces analyses sans qu'ils puissent prétendre à une exactitude absolue. Les travaux de BOURCART et de ses collaborateurs (1942 et 1943) n'étaient pas encore publiés à cette époque.

— *Vase crayeuse de la baie de Grésine* (35 m.), 31 mai 1939 :

pH électrométrique mesuré directement : 7,35;

Phosphore soluble : 123 mmgr. par kilo sec;

$\text{Fe}^{+++}$  : 0,704 gr.; Fe total : 1,416 gr.;  $\text{Fe}^{++}$  : 0,712 gr. par kilo sec.

Ces dosages devront être repris et élargis.

— *Vase des grands fonds de Hautecombe* (135 m.), 31 mai 1939 :

pH électrométrique pris directement : 7,15;

Phosphore soluble : 25 mmgr. par kilo sec;

$\text{Fe}^{+++}$  : 1,2224 gr.; Fe total : 2,4384 gr.;  $\text{Fe}^{++}$  : 1,2160 gr. par kilo sec.

#### 4. — Comparaison des eaux du Rhône avec celles de la partie Nord du lac du Bourget, en 1937, 1938 et 1939.

Il a fallu l'éventualité de la conversion du lac du Bourget en bassin de compensation industriel pour m'amener à faire cette étude dont on trouvera plus loin les résultats.

D'après ce projet dont l'exécution fut envisagée au début de 1938, le lac du Bourget devait absorber les eaux issues de l'usine électrique en construction à Génissiat, près de Bellegarde, sur le Rhône et les restituer ensuite graduellement au fleuve pour empêcher des variations de niveau trop brutales sur le cours en aval, et particulièrement au passage à travers l'agglomération lyonnaise.

Une modification complète et même le doublement du canal de Savières devaient être entrepris avec constructions de barrages et d'écluses sur le fleuve, ainsi que d'ouvrages en béton dans l'extrémité nord du lac. Il en résultait la disparition complète des rivages naturels entre Conjux et le château de Châtillon et, en particulier, de toute la grande phragmitaie qui entoure les abords du canal de Savières à sa naissance dans le lac.

C'était un saut dans l'inconnu; qu'allaient devenir tous les éléments de la faune du lac, à la suite d'un pareil traitement? Disparition des frayères à Cyprinidés, disparition des oiseaux de marais, changement dans la composition des eaux du lac. L'exécution d'un pareil projet parut d'autant moins indispensable que d'autres solutions du problème pouvaient être facilement adoptées, guère plus coûteuses et qui présentaient l'avantage de ne pas bouleverser une région tout entière.

« Les eaux du Rhône sont les eaux du lac de Genève », me disait l'ingénieur en chef, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, qui dirigeait les travaux de construction de l'usine de Génissiat. Oui : les eaux du Léman, mais singulièrement corrigées par les apports de l'Arve, de la Valserine, du Fier grossi du Chéran, sans parler d'affluents de moindre importance.

Je donne ci-après les résultats de mes observations. Les prises d'eau dans le Rhône furent faites à Chanat ou aux environs immédiats, mais toujours en amont du confluent du canal de Savières. A l'extrémité nord du lac, je choisis deux points (planche XII) : un premier (1) situé à 800 m. de l'entrée du canal de Savières, et un second (2) situé plus au nord-ouest, à 300 m. de cette entrée. En cas d'écoulement des eaux du Rhône vers le lac, les prises faites au premier de ces points contiendront une assez faible proportion d'eau du Rhône; celles effectuées au deuxième en contiendront bien davantage.

## COMPARAISON DES EAUX DU RHÔNE ET DU LAC DU BOURGET

## I. — Mesures

DATES	SENS DU COURANT du canal de Savières	TEMPÉRATURES EN SURFACE				
		Rhône	Lac		Différence entre lac (1) et Rhône	Port de Châtillon
			Point (1)	Point (2)		
1937-29-XII.		3°	5°,7	5°,7	2°,7	
1938-18-I.	Rhône-Lac assez fort.	5°,3	5°,6	5°,5	0°,3	
21-I.	Lac-Rhône faible . . .	5°	5°,4	5°,3	0°,4	
25-I.	Lac-Rhône assez fort.	4°,8	5°,3	5°,3	0°,5	
28-I.	—	4°,7	5°,4	5°,3	0°,7	
1-II.	— fort. . .	4°,75	5°,4	5°,3	0°,65	
4-II.	—	5°	5°,4	5°,4	0°,4	
8-II.	— assez fort.	3°,9	5°,4	5°,3	1°,5	
11-II.	— faible . . .	5°,2	5°,4	5°,4	0°,2	
15-II.	— fort . . .	3°	5°,2	5°,2	2°,2	
18-II.	— assez fort.	3°,2	5°	4°,9	1°,8	
21-II.	— fort. . .	4°	5°,1	5°,1	1°,1	
25-II.	— assez fort.	3°,8	5°,1	5°	1°,3	
1-III.	— fort. . .	4°,9	5°,4	5°,2	0°,5	5°,7
4-III.	— assez fort.	6°,1	5°,4	5°,3	—0°,7	5°,8
8-III.	— faible . . .	6°,1	5°,7	5°,6	—0°,4	5°,7
11-III.	—	7°,8	6°,2	6°,2	—1°,6	6°,2
15-III.	—	5°,9	5°,6	5°,3	—0°,3	5°,5
18-III.	—	6°,8	6°,3	6°,7	—0°,5	6°,3
22-III.	—	7°,6	6°,4	6°,2	—1°,2	6°,9
25-III.	—	8°,1	7°,6	7°,3	—0°,5	7°,5
		(9 h.)	(8 h. 45)	(8 h. 50)		
		8°,4	8°,4	8°	0°	
		(9 h. 45)	(10 h.)	(9 h. 55)		
29-III.	— assez fort.	6°,6	6°,1	5°,8	—0°,5	5°,4
1-IV.	— très faible.	8°,7	8°,1	8°,3	—0°,6	8°,3
5-IV.	— faible . . .	7°,1	5°,6	5°,4	—1°,5	5°,3
8-IV.	—	8°,3	7°,8	7°,2	—0°,5	6°,9
12-IV.	Nul.	5°,9	5°,4	5°,3	—0°,5	4°,3
15-IV.	Lac-Rhône faible . . .	8°,3	6°,2	5°,7	—2°,1	5°,9
19-IV.	—	8°,7	6°	6°,05	—2°,7	
22-IV.	—	6°,8	6°,7	6°,5	—0°,1	5°,4
26-IV.	—	8°,9	7°,3	7°,8	—1°,6	6°,7
29-IV.	—	9°,4	7°,8	7°,5	—1°,6	7°,8
3-V.	— très faible.	8°,6	9°,1	9°,6	0°,5	8°,6
6-V.	— faible . . .	11°	9°,6	9°,5	—1°,4	9°,8
10-V.	Nul.	12°,2	10°,2	9°,8	—2°	10°,5
13-V.	Lac-Rhône faible . . .	12°,1	12°,1	11°,8	0°	11°,7
17-V.	— très faible.	12°,1	13°,5	13°,4	1°,4	13°,8

*physiques.*

RÉSISTIVITÉ ET CONDUCTIBILITÉ				TURBIDITÉ				OBSERVATIONS
Résistivité $\rho_{18}$		CONDUCTIBILITÉ $k_{18} = \frac{1}{\rho_{18}}$		Relative		Absolue		
Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône ‰	Lac ‰	Rhône	Lac	
				40,9	29	0,0052	0,00038	
						0,0023	0,0014	



DATES	SENS DU COURANT du canal de Savières	TEMPÉRATURES EN SURFACE				
		Rhône	Lac		Différence entre lac (1) et Rhône	Port de Châtillon.
			Point (1)	Point (2)		
1938-20-V . .	Lac-Rhône faible . . .	10°,15	11°,4	10°,3	1°,25	12°,5
24-V . .	— — . . .	9°,8	10°,8	10°,6	1°	10°,7
27-V . .	— assez fort . . .	12°,1	12°,7	12°,4	0°,6	12°,2
31-V . .	Rhône-Lac fort . . .	9°,6	12°,8	10°,1	3°,2	12°,7
3-VI . .	— — . . .	10°,1	12°,4	10°,7	2°,3	12°,5
7-VI . .	— assez fort . . .	13°,7	14°,8	13°,8	1°,1	16°,2
10-VI . .	— — . . .	15°,8	19°	19°,5	3°,2	19°,2
14-VI . .	— très fort . . .	11°,6	14°,9	13° (1) 15° (2) 12° (3)	3°,3	15°,4
17-VI . .	— très faible . . .	15°,4	14°,8	15°,2	—0°,6	13°,4
21-VI . .	Nul . . .	17°,2	16°,9	17°	—0°,3	16°,6
24-VI . .	Rhône-Lac assez fort . .	17°,3	20°,2	19°,1	2°,9	20°
28-VI . .	Lac-Rhône faible . . .	20°,5	22°,5	22°	2°	22°,6
1-VII . .	— très faible . . .	19°,2 (7 h.) 17°,6 (8 h. 15)	22°,3	22°,8	3°,1	22°,4
5-VII . .	Nul . . .	13°,2	20°,6	20°,1	7°,4	20°,7
8-VII . .	— — . . .	16°,7	21°	20°,4	4°,3	20°,5
12-VII . .	Lac-Rhône faible . . .	15°,8	19°,9	19°,9	4°,1	20°,3
15-VII . .	— — . . .	14° (7 h.) 16°,3 (8 h. 15)	20°,6	20°,4	6°,6	20°,8
19-VII . .	— assez fort . . .	18°,2	20°,2	19°,6	2°	20°,4
22-VII . .	Nul . . .	19°,2	21°,4	21°,3	2°,2	21°,6
26-VII . .	Lac-Rhône assez faible .	19°,3	22°,8 (4) 21°,85 (5) 19°,85 (6) 10°,1 (7) 7°,95 (8)		3°,5	
29-VII . .	Lac-Rhône assez fort . .	19°,6	22°,6	22°,5	3°,6	22°,8
2-VIII . .	— — . . .	21°,6	23°,2	23°,5	1°,6	23°,2
5-VIII . .	— faible . . .	22°,3	24°,3	24°,7	2°	24°,6
9-VIII . .	Rhône-Lac très faible .	21°,1	23°,4	22°,5	2°,3	23°
12-VIII . .	Nul . . .	20°,5	21°,9	21°,4	1°,4	21°,9
16-VIII . .	Lac-Rhône assez fort . .	14°,3	21°,7	21°,3	7°,4	21°,6
19-VIII . .	— — . . .	17°	21°,7	22°	4°,7	21°,9
23-VIII . .	Rhône-Lac assez fort . .	15°,5 (8 h. 15) 15°,8 (10 h.)	20°,8 (8 h.) 21°,6 (10 h. 30)	13°,8 (8 h.) 14°,1 (10 h. 30)	5°,3 5°,8	20°,7 (7 h. 45) 21°,6 (10 h. 45)

siques (suite).

RÉSISTIVITÉ ET CONDUCTIBILITÉ				TURBIDITÉ				OBSERVATIONS
Résistivité $\rho_{18}$		CONDUCTIBILITÉ $k_{18} = \frac{1}{\rho_{18}}$		Relative		Absolue		
Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	
				%	%			
				78	59	0,0129	0,0024	(1) Côté ouest du canal. (2) Côté est. (3) Entrée du canal.
						0,0061	0,0018	
4.199	4.379	$238.10^{-6}$	$228.10^{-6}$			0,02523	0,0031	(4) Surface. (5) 5 m. (6) 10 m. (7) 20 m. (8) 27 m.

Mesures phy

DATES	SENS DU COURANT du canal de Savières	TEMPÉRATURES EN SURFACE				
		Rhône	Lac		Différence entre lac (1) et Rhône	Port de Châtillon
			Point (1)	Point (2)		
1938-26-VIII	Lac-Rhône assez fort	17 <sup>0</sup> ,6	19 <sup>0</sup> ,8	19 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup> ,2	19 <sup>0</sup> ,6
30-VIII	— fort . . .	17 <sup>0</sup> ,6	19 <sup>0</sup> ,6	19 <sup>0</sup> ,6	2 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup> ,7
2-IX	— très fort . . .	16 <sup>0</sup> ,5	19 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup> ,5	19 <sup>0</sup>
6-IX	— fort . . .	16 <sup>0</sup> ,6	18 <sup>0</sup> ,6	18 <sup>0</sup> ,2	2 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup> ,5
9-IX	— très fort . . .	16 <sup>0</sup> ,7	18 <sup>0</sup> ,2	18 <sup>0</sup> ,2	1 <sup>0</sup> ,5	18 <sup>0</sup> ,1
13-IX	— fort . . .	15 <sup>0</sup> ,6	18 <sup>0</sup> ,2	18 <sup>0</sup> ,1	2 <sup>0</sup> ,6	18 <sup>0</sup>
16-IX	— — . . .	17 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup> ,6	18 <sup>0</sup> ,2	1 <sup>0</sup> ,6	18 <sup>0</sup>
20-IX	— très fort . . .	15 <sup>0</sup> , 8	18 <sup>0</sup> , 8	18 <sup>0</sup> ,1	3 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup> ,6
23-IX	— — . . .	17 <sup>0</sup> ,4	19 <sup>0</sup> ,3	19 <sup>0</sup> ,1	1 <sup>0</sup> ,9	19 <sup>0</sup> ,1
27-IX	— — . . .	16 <sup>0</sup> ,9	19 <sup>0</sup> ,2	19 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup> ,3	19 <sup>0</sup>
30-IX	— fort . . .	17 <sup>0</sup> ,2	19 <sup>0</sup> ,2	19 <sup>0</sup> ,2	2 <sup>0</sup>	19 <sup>0</sup> ,2
5-X	Rhône-Lac fort . . .	12 <sup>0</sup> ,8	16 <sup>0</sup> ,8	13 <sup>0</sup> ,1	4 <sup>0</sup>	16 <sup>0</sup> ,6
7-X	Lac-Rhône fort . . .	9 <sup>0</sup> ,7	16 <sup>0</sup> ,7	16 <sup>0</sup> ,6	7 <sup>0</sup>	
11-X	— faible . . .	14 <sup>0</sup> ,6	17 <sup>0</sup> ,2	17 <sup>0</sup> ,2	2 <sup>0</sup> ,6	
14-X	— — . . .	12 <sup>0</sup> ,8	16 <sup>0</sup> ,4	16 <sup>0</sup> ,3	3 <sup>0</sup> ,6	
18-X	— — . . .	14 <sup>0</sup> ,4	16 <sup>0</sup> ,8	16 <sup>0</sup> ,6	2 <sup>0</sup> ,4	
21-X	— — . . .	13 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup> ,8	15 <sup>0</sup> ,7	2 <sup>0</sup> ,8	
25-X	— — . . .	12 <sup>0</sup> ,8	14 <sup>0</sup> ,8	14 <sup>0</sup> ,6	2 <sup>0</sup>	
28-X	— assez fort . . .	12 <sup>0</sup>	13 <sup>0</sup> ,4	13 <sup>0</sup> ,2	1 <sup>0</sup> ,4	
1-XI	— — . . .	9 <sup>0</sup> ,8	12 <sup>0</sup> ,8	12 <sup>0</sup> ,7	3 <sup>0</sup>	
4-XI	— faible . . .	9 <sup>0</sup> ,8	12 <sup>0</sup> ,6	12 <sup>0</sup> ,2	2 <sup>0</sup> ,8	
8-XI	— — . . .	9 <sup>0</sup> ,6	12 <sup>0</sup> ,3	12	2 <sup>0</sup> ,7	
11-XI	— — . . .	9 <sup>0</sup> ,7	12 <sup>0</sup> ,6	12 <sup>0</sup> ,4	2 <sup>0</sup> ,9	
15-XI	— — . . .	9 <sup>0</sup> ,9	12 <sup>0</sup> ,2	11 <sup>0</sup> ,8	2 <sup>0</sup> ,3	
18-XI	— — . . .	9 <sup>0</sup> ,9	12 <sup>0</sup> ,1	11 <sup>0</sup> ,8	2 <sup>0</sup> ,2	
22-XI	Rhône-Lac très fort . . .	9 <sup>0</sup>	11 <sup>0</sup> ,7	11 <sup>0</sup> ,2	2 <sup>0</sup> ,7	
23-XI	— assez fort . . .	8 <sup>0</sup>	11 <sup>0</sup> ,6	11 <sup>0</sup> ,1	3 <sup>0</sup> ,6	
25-XI	— — . . .	8 <sup>0</sup> ,3	11 <sup>0</sup> ,5	11 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup> ,2	
29-XI	Lac-Rhône assez fort . . .	7 <sup>0</sup> ,1	10 <sup>0</sup> ,4	10 <sup>0</sup> ,2	3 <sup>0</sup> ,3	
2-XII	— faible . . .	8 <sup>0</sup> ,9	10 <sup>0</sup> ,4	10 <sup>0</sup> ,1	1 <sup>0</sup> ,5	
6-XII	— — . . .	7 <sup>0</sup> ,9	9 <sup>0</sup> ,9	9 <sup>0</sup> ,8	2 <sup>0</sup>	
9-XII	— — . . .	7 <sup>0</sup> ,4	9 <sup>0</sup> ,7	9 <sup>0</sup> ,5	2 <sup>0</sup> ,3	
12-XII	— assez fort . . .	7 <sup>0</sup> ,5	9 <sup>0</sup> ,1	8 <sup>0</sup> ,9	1 <sup>0</sup> ,6	
16-XII	— — . . .	7 <sup>0</sup> ,2	8 <sup>0</sup> ,9	8 <sup>0</sup> ,6	1 <sup>0</sup> ,7	
20-XII	— faible . . .	6 <sup>0</sup> ,2	8 <sup>0</sup> ,2	8 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>	
23-XII	— — . . .	5 <sup>0</sup> ,8	7 <sup>0</sup> ,6	7 <sup>0</sup> ,4	1 <sup>0</sup> ,8	
27-XII	— — . . .	5 <sup>0</sup> ,2	6 <sup>0</sup> ,7	6 <sup>0</sup> ,5	1 <sup>0</sup> ,5	
30-XII	— — . . .	5 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup> ,5	6 <sup>0</sup> ,4	1 <sup>0</sup> ,5	
1939-3-I	Nul . . .	4 <sup>0</sup> ,7	6 <sup>0</sup> ,3	6 <sup>0</sup> ,2	1 <sup>0</sup> ,6	
6-I	Lac-Rhône assez fort . . .	4 <sup>0</sup> ,7	6 <sup>0</sup> ,3	5 <sup>0</sup> ,6	1 <sup>0</sup> ,6	
10-I	— faible . . .	4 <sup>0</sup> ,8	6 <sup>0</sup> ,3	5 <sup>0</sup> ,2	1 <sup>0</sup> ,5	

\*

siques (suite).

RÉSISTIVITÉ ET CONDUCTIBILITÉ				TURBIDITÉ				OBSERVATIONS
Résistivité ρ <sub>18</sub>		CONDUCTIBILITÉ k <sub>18</sub> = $\frac{1}{\rho_{18}}$		Relative		Absolue		
Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	
				%	%			
						0,03612	0,00282	
						0,0544 0,00724	0,00045	(1) Entrée du canal.

DATES	SENS DU COURANT du canal de Savières	TEMPÉRATURES EN SURFACE				
		Rhône	Lac		Différence entre lac (1) et Rhône	Port de Châtillon
			Point (1)	Point (2)		
1939-13-I. . .	Lac-Rhône faible ou nul	5 <sup>0</sup> ,8	6 <sup>0</sup> ,8	6 <sup>0</sup> ,2	1 <sup>0</sup>	
17-I. . .	Rhône-Lac assez fort .	5 <sup>0</sup> ,8	6 <sup>0</sup> ,7	6 <sup>0</sup> ,1	0 <sup>0</sup> ,9	
20-I. . .	— faible . . .	6 <sup>0</sup> ,1	6 <sup>0</sup> ,5	6 <sup>0</sup> ,4	0 <sup>0</sup> ,4	
24-I. . .	Nul.	5 <sup>0</sup> ,1	6 <sup>0</sup> ,4	6 <sup>0</sup> ,3	1 <sup>0</sup> ,3	
27-I. . .	—	4 <sup>0</sup> ,9	6 <sup>0</sup> ,3	6 <sup>0</sup> ,1	1 <sup>0</sup> ,4	
31-I. . .	Lac-Rhône assez fort .	4 <sup>0</sup> ,9	6 <sup>0</sup> ,1	6 <sup>0</sup>	1 <sup>0</sup> ,2	
3-II. . .	— —	4 <sup>0</sup> ,8	6 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup> ,8	1 <sup>0</sup> ,2	
7-II. . .	— —	4 <sup>0</sup> ,6	5 <sup>0</sup> ,8	5 <sup>0</sup> ,6	1 <sup>0</sup> ,2	
10-II. . .	— —	5 <sup>0</sup> ,1	5 <sup>0</sup> ,8	5 <sup>0</sup> ,7	0 <sup>0</sup> ,7	
14-II. . .	— —	4 <sup>0</sup> ,9	5 <sup>0</sup> ,7	5 <sup>0</sup> ,6	0 <sup>0</sup> ,8	
17-II. . .	— —	4 <sup>0</sup> ,7	5 <sup>0</sup> ,6	5 <sup>0</sup> ,2	0 <sup>0</sup> ,9	
21-II. . .	— fort. . .	5 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup> ,6	5 <sup>0</sup> ,5	0 <sup>0</sup> ,6	
24-II. . .	— assez fort .	4 <sup>0</sup> ,9	5 <sup>0</sup> ,7	5 <sup>0</sup> ,8	0 <sup>0</sup> ,8	
28-II. . .	— —	5 <sup>0</sup> ,2	5 <sup>0</sup> ,9	5 <sup>0</sup> ,8	0 <sup>0</sup> ,7	
3-III. . .	— —	5 <sup>0</sup> ,4	6 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup> ,8	0 <sup>0</sup> ,6	
7-III. . .	Rhône-Lac faible . . .	7 <sup>0</sup> ,6	6 <sup>0</sup> ,9	7 <sup>0</sup> ,1	—0 <sup>0</sup> ,7	
10-III. . .	Lac-Rhône faible . . .	5 <sup>0</sup> ,8	5 <sup>0</sup> ,6	5 <sup>0</sup> ,4	—0 <sup>0</sup> ,2	
14-III. . .	— —	5 <sup>0</sup> ,2	5 <sup>0</sup> ,6	5 <sup>0</sup> ,4	0 <sup>0</sup> ,4	
17-III. . .	— —	5 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup> ,4	5 <sup>0</sup> ,2	0 <sup>0</sup> ,4	
21-III. . .	— —	5 <sup>0</sup> ,4	5 <sup>0</sup> ,6	5 <sup>0</sup> ,4	0 <sup>0</sup> ,2	
24-III. . .	— —	5 <sup>0</sup> ,4	5 <sup>0</sup> ,8	5 <sup>0</sup> ,6	0 <sup>0</sup> ,4	
28-III. . .	— —	5 <sup>0</sup> ,6	6 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup> ,6	0 <sup>0</sup> ,4	
31-III. . .	— assez fiable.	6 <sup>0</sup>	7 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup> ,8	1 <sup>0</sup>	
4-IV. . .	— assez fort .	7 <sup>0</sup> ,6	7 <sup>0</sup> ,3	7 <sup>0</sup> ,1	—0 <sup>0</sup> ,3	
7-IV. . .	Rhône-Lac fort . . .	8 <sup>0</sup> ,2	7 <sup>0</sup> ,5	7 <sup>0</sup> ,8	—0 <sup>0</sup> ,7	
11-IV. . .	Lac-Rhône assez fort. .	7 <sup>0</sup>	7 <sup>0</sup> ,6	7 <sup>0</sup> ,4	0 <sup>0</sup> ,6	
		(6 h.)				
		9 <sup>0</sup> ,2			—1 <sup>0</sup> ,6	
		(7 h. 30)				

*siques* (suite).

RÉSISTIVITÉ ET CONDUCTIBILITÉ				TURBIDITÉ				OBSERVATIONS
Résistivité $\rho_{18}$		CONDUCTIBILITÉ $k_{18} = \frac{1}{\rho_{18}}$		Relative		Absolue		
Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	
				g/g	g/g			

## II. — Mesures chimiques.

DATES	pH électrométr.		OXYGÈNE dissous mmgr./litre		CO <sub>2</sub> libre mmgr./litre à 0° et 76		CO <sub>2</sub> des bicarbonates mmgr./litre		CO <sub>2</sub> TOTAL mmgr./litre		PHOSPHORE soluble mm. r/tonne		AZOTE nitrique mmgr./litre en N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		SILICE soluble mmgr./litre		DEGRÉS interromé- triques (Chambre de 40 mm.)		OBSERVATIONS
	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	Rhône	Lac	
1-II. . . . .	8,45												0,6		2,9		115,5		(1)
19-IV . . . .			12	11,9							5,5		0,2		2,4		82,5	91	
26-IV . . . .			12	12,6	1,2	1,5					Traces		0,3				102	105,2	
20-V. . . . .	8,12	8,38	11,2	12,5	1,5	0,9					0		0,3		4,6		96	104	
27-V. . . . .	8,2	8,25	10,7	12,1	1,2	0					Traces		0,2				99,6	101,8	
26-VII . . . .	8,32	8,26	9,9	10	0,4	0,9	109,5	141,5	110	142,4	0		0,2		2,2		76,4	87,4	(2)
7-X. . . . .	8,22	8,3	11,7	9,9							10		0,4		2,5		101,8	86,3	
3-I. . . . .	8,07	8,05	12,6	10,7	2,1	1,5	125	132	127	133,5	24		0,7		2,6		»	»	
7-I. . . . .	8,06	»	12,9	»	1,3	»	120	»	121	»	19		0,5		2,5		»	»	
1931																			

Toutes les prises d'eau ont été faites dans le lac au point (1).

Observations : (1) Lac trouble. Le Rhône s'y est déversé récemment.

(2) Rhône très haut et boueux.

Une nouvelle notion va forcément s'introduire dans les mesures, amenée par le charriage du Rhône, fleuve torrentiel. C'est la *turbidité*. Je l'ai évaluée au moyen du photomètre de ZEISS-PULFRICH, appliqué à la mesure des troubles. En voici brièvement le principe : au photomètre proprement dit, pour la description duquel je renvoie à un travail antérieur (HUBAULT, 1932), est adjoint un appareil dans lequel la lumière émise par une source lumineuse est partagée et dirigée vers le photomètre, sous forme de deux faisceaux parallèles :

1° Dans le liquide ou les corps troubles dont on veut mesurer la turbidité; la lumière incidente est alors diffusée dans toutes les directions, mais seule pénètre dans le photomètre la portion qui fait un angle de  $45^\circ$  avec le faisceau incident;

2° Une autre partie de la lumière émise par la source et réfléchie par une glace sans tain, éclaire des lames de verre dépolies ou opalines; ces lames sont au nombre de quatre et constituent les lumières étalons. Elles sont placées sur un disque rotatif et peuvent être interposées ainsi à volonté sur le trajet des rayons qui pénètrent dans l'autre ouverture du photomètre de PULFRICH.

Les deux faisceaux de lumières ainsi diffusées parviennent dans le photomètre, traversent, avant d'arriver à l'oculaire, un filtre vert qui ne laisse passer que des rayons de longueur d'onde connue. Nous verrons tout à l'heure pourquoi. On compare ainsi la lumière diffusée par le liquide trouble avec l'une ou l'autre lame-étalon, après avoir rétabli l'égalité d'éclairement sur l'oculaire par la manœuvre de l'un ou de l'autre tambour gradué du photomètre. On obtient ainsi la *turbidité relative* du liquide.

Au cas particulier du Rhône et du lac du Bourget, les turbidités relatives ont fourni déjà de sérieuses données, puisque celles des eaux du fleuve et celle des eaux du lac, *prises toutes deux par rapport à une même lame-étalon*, ont permis de les comparer.

Des mesures de *turbidité absolue* peuvent être faites, en outre, avec l'appareil de Pulfrich, par comparaison avec un prisme spécial de verre trouble dont la valeur étalon a été établie par le constructeur et exprime le rapport de la clarté observée à celle qu'on observerait si la lumière qui pénètre était diffusée



dans sa totalité. Cette détermination dépend de la *nature* de la lumière incidente; elle a été faite justement avec la lumière verte, monochromatique, dont il a été question précédemment.

On prendra le trouble relatif du prisme de verre par rapport à la lame étalon qui a servi à mesurer le trouble relatif du liquide à examiner. En divisant ce trouble relatif par celui du prisme de verre correspondant, et en multipliant ce rapport par la turbidité absolue du prisme, on obtiendra la turbidité absolue de l'échantillon à l'étude (1).

D'après les mesures faites, on peut constater que la turbidité absolue du Rhône peut être jusqu'à cinq fois plus grande que celle du lac. Il est possible de constater également que, si peu de chose devait être changé par des apports massifs et réguliers d'eau du Rhône dans le lac, quant à l'oxygène dissous, à l'azote nitrique et à la silice soluble, le lac du Bourget se refroidirait, par contre, de plusieurs degrés, puisque, sur les 136 mesures comparatives de températures qui ont été faites en 1937, 1938 et 1939, cent huit fois les eaux du Rhône ont été trouvées plus froides que celles du lac; vingt-six fois elles étaient plus chaudes, et deux fois de même température.

Il est bien difficile d'admettre, dès lors, comme l'a affirmé GORCEIX (1922), que le Rhône serait pour le lac une cause de réchauffement et que les eaux du fleuve, plus denses que celles du lac, glisseraient jusqu'à la couche de 15 m. dont la densité est analogue, et cela, pour la réchauffer. La baie où débouche le canal de Savières dans le lac du Bourget est extrêmement plate et peu profonde; sur près de 500 m. autour de l'embouchure du canal dans le lac, elle a moins de 5 m. de profondeur. On voit mal comment les eaux du Rhône à leur arrivée plongeraient sous les eaux de celui-ci sans s'y mélanger.

En définitive, les frayères à Cyprinidés de la partie nord du lac, à tout le moins, étaient menacées tant par le colmatage des œufs, conséquence des charriages du Rhône et de ses affluents, que par l'abaissement de la température des eaux.

---

(1) Pour plus de détails sur cet appareil et sur ces mesures, on pourra se reporter au travail de MANGEREL et COIN (1937).

### 5. — Le lac d'Aiguebelette (Planches XIII et XVII, fig. 4).

Cette nappe d'eau est située à quelques dix kilomètres, à vol d'oiseau, au sud-sud-ouest de l'extrémité méridionale du lac du Bourget.

J'emprunte sa *description topographique* à DELEBECQUE (1898) : « Il a en gros la forme d'un triangle rectangle dont l'hypoténuse aurait une longueur de 4 km. Il a une structure beaucoup plus compliquée que celle des lacs précédents. Il se compose, en effet, de six bassins ayant pour profondeur : 46,50 m., 46,90 m., 71,10 m. (profondeur maxima du lac), 29,60 m., 28,50 m. et 20,40 m. La dépression de 71,10 m. est de beaucoup la plus étendue. Signalons dans le lac deux îles basses (0,50 m. au-dessus du niveau du lac) faisant partie d'une barre qui traverse du nord au sud la région occidentale du lac; puis, dans la région Sud-Est, un petit monticule immergé (4 m. de profondeur par 9 à 10 m. de fond) extrémité d'un éperon qui se détache du rivage; enfin, dans la région Nord, un autre monticule (35,30 m. de profondeur par 40 m. de fond) qui surgit au milieu du lac, sans être rattaché au rivage. »

Biologiquement parlant, le lac d'Aiguebelette, avec ses rives marécageuses aux roseaux abondants, partout où elles ne sont pas abruptes, est un lac eutrophe, aux eaux et à la faune intéressantes.

Il est actuellement utilisé comme bassin d'alimentation d'une usine électrique et son niveau subit, de ce fait, plusieurs fois par an, des variations assez importantes qui ne sont pas sans retentir malheureusement sur la faune et notamment sur la population piscicole dont le frai peut être compromis.

Le lac d'Aiguebelette possède de nombreux petits tributaires dont le principal est le ruisseau qui passe au bourg de Novalaise et qui se jette dans le bassin Nord, l'émissaire est le Tiers.

Toutes les rives occidentales et méridionales sont très habitées; les localités de Saint-Alban-de-Montbel, Lépin, Aiguebelette possèdent de nombreuses villas, beaucoup d'hôtels, contribuant à la pollution des eaux et à l'accentuation de l'eutrophie.

Les renseignements qui suivent concernent le bassin principal; que j'ai seul étudié jusqu'à ce jour.

## A) STRATIFICATION VOLUMÉTRIQUE

0-10 m. . . . .	49.525.000 m <sup>3</sup> , soit	0,297	du volume total.
10-20 m. . . . .	39.280.000 —	0,236	—
20-30 m. . . . .	29.701.000 —	0,178	—
30-40 m. . . . .	22.095.000 —	0,133	—
40-50 m. . . . .	14.200.000 —	0,085	—
50-60 m. . . . .	7.970.000 —	0,048	—
60-70 m. . . . .	3.722.000 —	0,022	—
70-71,1 m. . . . .	62.000 —	0,001	—
Total . . . . .	166.555.000 m <sup>3</sup> .		(pour mémoire.)

Altitude au-dessus du niveau de la mer : 374,40 m. à l'étiage.

Surface à la cote 0 : 5 km<sup>2</sup> 45 ha. 10 a.

Profondeur moyenne : 30,55 m.

### B) LES TEMPÉRATURES (Planche III.)

a) *Températures des eaux du lac d'Aiguebelette de 1936 à 1946.*

[illegible]

Les nombres précédents font ressortir un épilimnion de la surface à 6 m.; puis un thermocline de 6 à 22 m.; un hypolimnion enfin de 22 m. au fond.

On peut voir aussi l'influence du grand hiver de 1941-1942 qui s'est fait sentir jusqu'aux températures du mois de juillet 1942; à partir de 20 m. de profondeur, elles sont plus basses que celles des mêmes époques aux années précédentes.

*Provision annuelle de chaleur en 1936-1937.*

PROFONDEURS	VOLUMES %	30-XII-1936		22-VII-1937	
		<i>t</i>	Produit 2 × 3	<i>t</i>	Produit 2 × 5
1	2	3	4	5	6
Surface. . . . .	0,297	5°,5	1,633	16°,2	4,811
10 m. . . . .	0,236	5°,5	1,298	7°,1	1,676
20 m. . . . .	0,178	5°,45	0,970	5°,6	0,997
30 m. . . . .	0,133	5°,25	0,698	5°,45	0,725
40 m. . . . .	0,085	5°	0,425	5°,4	0,459
50 m. . . . .	0,048	4°,85	0,233	5°,35	0,257
60 m. . . . .	0,022	4°,8	0,106	5°,3	0,117
70 m. . . . .	0,001	4°,8	0,005	5°,3	0,005
71,10 m (fond) . . .			5,368		9,047

Écart de températures :  $9^{\circ},047 - 5^{\circ},368 = 3^{\circ},679$ .

Provision annuelle approchée de chaleur pour 1936-1937 :  $3^{\circ},679 \times 30,55 \approx 11.000$  calories.

Les nombres fournis par DELEBECQUE pour ce lac sont inutilisables en vue du calcul d'une provision annuelle de chaleur en 1893-1894, à cause des nombreuses interpolations effectuées en juillet et août 1893, sur les températures qui, de ce fait, ne sont connues qu'approximativement.

## C) LE pH DES EAUX (Planche V.)

## b) pH électrométrique des eaux du bassin principal du lac d'Aiguebelette en 1936 et 1937.

PROFONDEURS	1936			1937		
	26-V	27-VIII	30-XII	30-III	31-V	17-IX
Surface . . . . .	8,25	8,125	7,93	8,05	8,2	8,05
10 m . . . . .	8,15	7,96	7,90	8,02	8,15	7,95
20 m . . . . .	7,85	7,8	7,85	7,92	7,9	7,9
30 m . . . . .	7,8	7,84	7,69	7,9	7,9	7,9
40 m . . . . .	7,8	7,82	7,62	7,86	7,85	7,9
50 m . . . . .	7,8	7,74	7,53	7,84	7,8	7,9
60 m . . . . .	7,8	7,69	7,51	7,85	7,8	7,8
68 m. (1) . . . . .			7,52			
69,5 m. (1) . . . . .					7,7	7,7
70 m. (1) . . . . .				7,78		
70,25 m. (1) . . . . .	7,5	7,47				
(1) Près du fond.						

Comme dans le lac du Bourget, les eaux sont un peu plus acides en hiver qu'en été.

L'abaissement du pH dans les eaux de fond est dû à la présence de notables quantités de gaz carbonique libre.

D) L'OXYGÈNE DISSOUS DANS LES EAUX  
(Planches V et XIII.)

Eu égard à l'eutrophie de ce lac, les mesures de gaz dissous, de l'oxygène particulièrement, ont été répétées un assez grand nombre de fois.

Ces mesures, faites conjointement avec celles des températures, font d'abord ressortir, au début de 1937, une circulation vernale antérieure au 30 mars. Au cours des stagnations, hivernale ou estivale, les fonds sont pauvres ou très pauvres en oxygène dissous, caractéristique de l'eutrophie. Par les chaudes journées du printemps, de l'été ou de l'automne, il y a abaissement du taux d'oxygène dissous dans les couches superficielles,

c) Quantités d'oxygène dissous dans les eaux du bassin principal du lac d'Aiguebelette en 1936 et 1937.

PROFONDEURS	1936						1937						OBSERVATIONS		
	26-V		27-VIII		30-XII		31-V		22-VII		16-VIII			17-IX	
	O <sub>2</sub> mmgr./litre	% de la saturation	O <sub>2</sub> mm r./litre	% de la saturation	O <sub>2</sub> mmgr./litre	% de la saturation	O <sub>2</sub> mm r./litre	% de la saturation	O <sub>2</sub> mm r./litre	% de la saturation	O <sub>2</sub> mmr./litre	% de la saturation		O <sub>2</sub> mmgr./litre	% de la saturation
Surface . . .	9,8	108	9,3	114	10,3	82	9,3	110	9,5	118	9,2	112	9,9	107	Pression baromé- trique moyenne : Le 26 mai 1936 : 719. Le 27 août 1936 : 722,4 Le 30 déc. 1936 : 749,6. Le 30 mars 1937 : 738,2. Le 31 mai 1937 : 741,4. Le 22 juillet 1937 : 715. Le 16 août 1937 : 726. Le 17 sept. 1937 : 727,9.
10 m . . . . .	11,3	102	11,2		10,3	82	12,7	107,5	12,4	111	12,9	115	11,6	109	
20 m . . . . .	9,9	82,5	8,4		10,3	82	9,9	80	8,7	73	9,05	75	7,8	64	
30 m . . . . .	9,6	79	8,5		8,1	64	9,4	76	8,7	72	8,4	69	8	65	
40 m . . . . .	9,2	75	8,4		6,4	51	9,2	73	8,9	73	8,7	72	8,4	68	
50 m . . . . .	9	73	8		6	47	9	72	8,4	70	7,9	65	7,3	60	
60 m . . . . .	9	73	8,7	70	4,5	34,5	8,6	68	7,8	65	6,6	54	5,8	47	
68 m. (1).					4,7	36									
69,5 m. (1) .							7,1	56			1,1	8	1	7,5	
70 m. (1).			9	72,5											
70,25 m. (1).	4,6	37,5							0,07	1					

(1) Près du fond.

(1) Près du fond.

soit 0,50 m. environ, profondeur à laquelle ont été prises les eaux dites de surface; cet abaissement est très net et peut atteindre presque 3,5 mmgr. par litre par rapport aux teneurs en oxygène de la couche de 10 m.

Au printemps et en été, les eaux sont largement sursaturées d'oxygène dissous jusqu'à plus de 10 m. de profondeur. Mais l'eutrophie du lac ne saurait être mise en doute. Les observations biologiques corroborent les analyses d'oxygène et de gaz carbonique : les larves de *Sayomyia* existent en abondance dans la faune profonde et les « fleurs d'eau » superficielles sont fréquentes.

E) LE GAZ CARBONIQUE LIBRE ET SEMI-COMBINÉ  
(Planches V et VI.)

d) Quantités de  $\text{CO}_2$  libre et semi-combiné contenu dans les eaux du bassin principal du lac d'Aiguebelette en 1936 et 1937.

PROFONDEURS	1936			1937						
	27-VIII mmgr./litre			25-III mmgr./l.	31-V mmgr./litre			17-IX mmgr./litre		
	$\text{CO}_2$ libre	$\text{CO}_2$ des bicar- bonates	$\text{CO}_2$ total	$\text{CO}_2$ libre	$\text{CO}_2$ libre	$\text{CO}_2$ des bicar- bonates	$\text{CO}_2$ total	$\text{CO}_2$ libre	$\text{CO}_2$ des bicar- bonates	$\text{CO}_2$ total
Surface . .	1	135,3	136,3	4,4	Traces	148	148	1,6	111,9	113,5
10 m . . .	1,8	164,2	166	4,3	1,1	161,2	162,3	2,6	137,4	140
20 m . . .	4,5	162,3	166,8	5,3	4,7	163,8	168,5	6,7	139,9	146,6
30 m . . .	3,6	163,7	167,3	6,5	4,2	163,6	167,8	6,9	141,1	148
40 m . . .	4,6	162,5	167,1	7,1	4,7	163,1	167,8	6,6	140,7	147,3
50 m . . .	5,4	164,4	169,8	7,5	5	163,6	168,6	7,3	141,9	149,2
60 m . . .	5,3	164,7	170	7,3	5,1	166	171,1	10,1	142,1	174,8
69,5 m. (1).					9,2	166,7	175,9	14,2	164,2	178,4
70 m. (1) .	9,9	166,8	176,7	7,8						

(1) Près du fond.

Le plus calcaire des lacs étudiés.

Le 17 septembre 1937, les eaux de fond étaient extrêmement riches en gaz carbonique libre, ce qui correspondait bien à leur extrême pauvreté en oxygène dissous.

F) PHOSPHORE SOLUBLE  
DANS LES EAUX DU LAC D'AIGUEBELETTE

Ce corps se rencontre très irrégulièrement dans les eaux du lac. Il était en quantités notables à toutes profondeurs le 30 août 1936; je le décelai le plus nettement le 17 septembre 1937, alors que le gaz carbonique libre était, lui aussi, particulièrement abondant. Par contre, il n'y en avait pas trace dans les eaux le 30 mars 1937, à la suite d'une stagnation hivernale et d'une circulation vernale.

e) *Phosphore soluble contenu dans les eaux du bassin principal le 17 septembre 1937.*

PROFONDEURS	PHOSPHORE mmgr./tonne	PROFONDEURS	PHOSPHORE mmgr./tonne
Surface . . .	4	40 m.	7
10 m . . . .	12,5	50 m.	5
20 m . . . .	10	60 m.	3
50 m . . . .	2	69, m. 5 (près du fond)	20

G) AZOTE AMMONIACAL ET AZOTE NITREUX

L'azote ammoniacal existe, dans les eaux de fond, de même que l'azote nitreux. Je décelai le second à la dose de 7 mmgr. par tonne, le 30 août 1936 et à celle de 7,5 mmgr. par tonne le 30 décembre de la même année, en périodes de stagnations.

H) AZOTE NITRIQUE

Ce corps se rencontre en quantités notables dans les eaux du lac d'Aiguebelette et à toutes profondeurs.

Il est néanmoins particulièrement réduit en fin de stagnation estivale quand les eaux de fond sont pauvres en oxygène et riches en gaz carbonique.



Voici des résultats :

f) Azote nitrique dans les eaux du bassin principal  
du lac d'Aiguebelette.

PROFONDEURS	28-V-1936		17-IX-1937	
	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mmgr./litre	N <sub>2</sub> mmgr./litre	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mmgr./litre	N <sub>2</sub> mmgr./litre
Surface . . . . .	0,3	0,08	Traces	Traces
10 m. . . . .	0,3	0,08	0,2	0,05
20 m. . . . .	0,4	0,1	0,3	0,08
30 m. . . . .	0,4	0,1	0,4	0,1
40 m. . . . .	0,4	0,1	0,4	0,1
50 m. . . . .	0,4	0,1	0,4	0,1
60 m. . . . .	0,4	0,1	0,4	0,1
69 m. (1) . . . .	0,4	0,1		
69 m. 50 (1) . . .			0,1	0,03
(1) Près du fond.				

I — LA CHAUX

g) Dosage direct de la chaux dans les eaux du bassin principal  
du lac d'Aiguebelette, le 22 juillet 1942.

PROFONDEURS	CaO en mmgr./litre
Surface. . . . .	74,5
10 m. . . . .	75,7
20 m. . . . .	76,1
30 m. . . . .	75,1
40 m. . . . .	75,9
50 m. . . . .	75,7
60 m. . . . .	75,7
67 m. (près du fond).	75,7

Les résultats sont comparables à ceux publiés par DELEBECQUE, mais plus faibles que ceux obtenus par moi-même, à la suite des prises d'eau du 27 août 1936 et du 31 mai 1937 (HUBAULT, 1943).

## J) LA SILICE SOLUBLE

Dosée à quatre reprises et à diverses époques d'une année, la silice soluble a fourni les résultats suivants :

h) *Quantités de silice soluble contenues dans les eaux du bassin principal du lac d'Aiguebelette.*

PROFONDEURS	28-V-1936 mmgr./litre	30-VIII-1936 mmgr./litre	30-III-1937 mmgr./litre	17-IX-1937 mmgr./litre
Surface . . . . .	2,6	Traces	3,5	1,2
10 m. . . . .	3,8	2,5	3,5	3,3
20 m. . . . .	4,8	3,7	3,4	4,5
30 m. . . . .	4,9	4,2	3,8	4,6
40 m. . . . .	5,3	4,2	4,3	4,6
50 m. . . . .	5,2	4,6	4,1	5,2
60 m. . . . .	5,3	4,5	4,1	5,9
69 m. . . . .	6,2	"	"	"
69,5 m. . . . .	"	"	"	11,3
70 m. . . . .	"	10,1	4,5	"

Il y a, au printemps, et en été, une stratification très nette; la répartition est plus uniforme en hiver.

K) QUANTITÉS TOTALES DE MATIÈRES SOLUBLES  
ET D'ÉLECTROLYTES D'APRÈS LES DEGRÉS INTERFÉROMÉTRIQUES  
ET LA RÉSISTIVITÉ (Planche VI.)

i) *Bassin principal du lac.*

PROFONDEURS	DEGRÉS interferométrique 30-XII-1936	RÉSISTIVITÉ p 18 7-VI-1938
Surface . . . . .	94	4.682
10 m. . . . .	94	4.083
20 m. . . . .	91,5	4.096
30 m. . . . .	96	4.055
40 m. . . . .	94,8	4.054
50 m. . . . .	98	4.036
60 m. . . . .	98	4.052
68 m. (près du fond).	98	"
69,1 m. (près du fond) . . . . .	"	4.018

## 210 ÉTUDES THERMIQUES, CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

Ces nombres sont légèrement plus forts que les mesures faites dans les lacs précédents. Cela est d'ailleurs en concordance avec tout ce qui précède.

Comme il se doit, ces nombres, résultats de prises d'eaux faites pendant les stagnations, augmentent ou diminuent nettement avec la profondeur.

### L) TRANSPARENCE DES EAUX DU LAC D'AIGUEBELETTE MESURÉE AU DISQUE DE SECCHI (Planche VI.)

#### j) *Transparence des eaux dans le bassin principal.*

DATES	28-V-1936 8 h. 20	8-VI-1936 8 h. 43	27-VIII-36 9 h.	30-VIII-36 15 h. 25	30-XII-36 11 h. 30	30-III-37 10 h. 25	31-V-37 7 h. 53	16-VIII-37 9 h. 5	7-VI-38 9 h. 38
État de l'atmosphère et du lac.	Temps calme, très couvert.	Temps calme, couvert.	Beau temps clair.	Clair.	Temps calme, assez clair.	Temps très couvert.	Temps calme et beau	Un peu couvert.	Temps calme et très clair.
Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	8 m.	6 m.	3 m.	4 m. 25	8 m. 50	5 m. 80	3 m. 10	6 m. 1	3 m. 10

### M) RECHERCHE DU PHOSPHORE ET DU FER DANS LES VASES DE FOND DU LAC D'AIGUEBELETTE

Comme dans le lac du Bourget, je recherchai le phosphore et le fer dans les vases du bassin principal du lac d'Aiguebelette, en suivant la même technique.

Voici les résultats auxquels je parvins sur des échantillons pris le 15 juin 1939.

— *Vase de grands fonds : 65 m.* — pH électrométrique pris directement : 7,4.

Phosphore soluble : 20 mmgr. par kilo, sec.

Fe<sup>+++</sup> : 4,12 gr. — Fe total : 5,8 gr. — Fe<sup>++</sup> : 1,68 gr. par kilo/sec.

\*

— *Vase des fonds de 5-6 m.* prise au nord-est de la grande île méridionale. — Vase très calcaire :

Phosphore soluble : 45 mmgr. par kg., sec.

$\text{Fe}^{+++}$  : 0,3384 gr. — Fe total : 0,5296 gr. —  $\text{Fe}^{++}$  : 0,1912 gr. par kg./sec.

### 6. Un lac de haute montagne : le lac de Tignes, en Tarentaise.

Ce lac, d'un peu plus de 32 hect., est situé au sud-ouest du village de Tignes, dans une vallée parcourue autrefois par un glacier venu de la Grande Motte (3.656 m.). Il est à la cote 2.084.

DELEBECQUE, qui n'en a pas dressé le plan, lui accorde une profondeur de 37,50 m. « à l'est du lac, dans une petite baie située au pied du signal de la Touvière ». Il a deux autres bassins, l'un profond de 16,50 m. et l'autre de 36,50 m.

J'y suis monté plusieurs fois, y ai fait des mesures de températures et des prises d'eau en bouteilles thermos. Les analyses ne furent effectuées que quelques jours après ces prises, et donnent donc seulement une approximation.

#### A) LES TEMPÉRATURES (Planche II.)

PROFONDEURS	28-IX-1934	17-IX-1935	19-VIII-1937	24-IX-1938
Surface . . . . .	8°,6	9°	8°,9	8°,2
5 m. . . . .	8°	8°,4	7°,87	7°,3
10 m. . . . .	8°	7°	7°,75	7°,05
15 m. . . . .	5°,9	5°,7	6°	
20 m. . . . .	4°,9	4°,7	5°,48	6°,15
25 m. (1) . . . .	5°,1	4°,6	4°,9	
29 m. (1) . . . .			4°,8	
30 m. (1) . . . .		4°,6		
32 m. (1) . . . .				4°,85
(1) Près du fond.				

D'après ces mesures, en été, un épilimnion s'étendrait de la surface à 11 m. environ; un thermocline de 11 à 20 m. et un hypolimnion à partir de 20 m.

## B) LE pH DES EAUX

*Mesures faites plusieurs jours après la prise du 28 septembre 1934.*

PROFONDEURS	28-IX-1934
Surface . . . . .	7,8
5 m . . . . .	7,8
10 m. . . . .	7,7
15 m. . . . .	7,5
20 m. . . . .	7,5
25 m. (près du fond).	7,5

## C) L'OXYGÈNE DISSOUS DANS LES EAUX (Planche V.)

PROFONDEURS	19-VIII-1937		OBSERVATIONS
	O <sub>2</sub> en mmgr./litre	O <sub>2</sub> en % de la saturation	
Surface . . . . .	9,8	108	Pression atmosphérique moyenne, le 19 août 1937 : 589,3.
5 m . . . . .	9,7	105	
10 m . . . . .			
15 m . . . . .	9,7	100	
20 m . . . . .	9,5	97	
25 m . . . . .	9,6	97	
29 m. (près du fond).	9,2	92,5	

Lac oligotrophe riche en O<sub>2</sub> dissous.

## D) PHOSPHORE DISSOUS

Néant.

## E) SILICE SOLUBLE

PROFONDEURS	28-IX-1934 mmgr./litre
Surface . . . . .	2,3
5 m. . . . .	2,8
10 m. . . . .	2,5
15 m. . . . .	2,8
20 m. . . . .	2,8
25 m. (près du fond).	2,9

F) QUANTITÉS TOTALES DE MATIÈRES SOLUBLES  
ET D'ÉLECTROLYTES D'APRÈS LES DEGRÉS INTERFÉROMÉTRIQUES  
ET LA RÉSISTIVITÉ (Planche VI.)

Une analyse publiée par DELEBECQUE (1898) nous apprend que les eaux du lac de Tignes sont riches en sulfates de chaux et de magnésie (CaO : 274 mmgr. — MgO : 42,5. — SO<sup>3</sup> : 409 par litre). Ce sont des chiffres très forts, que les degrés interférométriques et la résistivité reproduisent bien.

PROFONDEURS	DEGRÉS interféromé- triques 28-IX-1934	° 18 14-IX-1938
Surface . . . . .	37 <sup>2</sup>	1.117
5 m. . . . .	37 <sup>0</sup>	1.067
10 m. . . . .	37 <sup>1</sup>	925
15 m. . . . .	415	
20 m. . . . .	411	905
25 m. . . . .	416	
30 m. (près du fond).		910

G) TRANSPARENCE DES EAUX D'APRÈS LE DISQUE DE SECCHI

Nappe non polluée, assez pauvre en plancton, aux eaux bleues et limpides.

DATES	28-IX-1934 10 h. 5	14-IX-1938 11 h.
État de l'atmosphère et du lac.	Très beau temps clair.	Beau temps.
Profondeurs auxquelles le disque a été perdu de vue.	20 m. 20.	22 m. 50.

## DEUXIÈME PARTIE

### BIOLOGIE

---

Cette partie comprendra une étude, surtout qualitative, du plancton, ainsi que des organismes de fond des principaux lacs de l'Est de la France. Des considérations générales sur leur peuplement en poissons, leur pollution par l'homme et leur avenir découleront de l'ensemble des observations.

Toutes les prises de plancton ont été faites au filet traînant; les résultats portent l'indication de la date exacte, de la profondeur et, dans la plupart des cas, celle de l'heure ainsi que de la température des eaux.

La fixation a été constamment faite au moyen de quelques gouttes d'une solution d'acide osmique à 1 %, après une anesthésie lente et prolongée au moyen de quelques gouttes également d'une solution à 10 % de chlorhydrate de cocaïne dans l'alcool méthylique. Laver ensuite largement à l'eau ordinaire. Ces quantités s'entendent pour des pêches condensées dans des boîtes de Pétri de dimensions moyennes. Le procédé présente deux avantages : tout d'abord, celui d'obtenir en extension presque parfaite tous les organismes : Crustacés aux antennes détendues, Rotifères et Infusoires aux couronnes de cils épanouies et nettement visibles. L'acide osmique, fixateur presque instantané, colore ensuite très finement en noir tous les organes contenant des graisses, ce qui rend au microscope ou au bino-culaire, les contours très nets et facilite les déterminations.

Les prises d'organismes de fond ont été effectuées soit au moyen de balances lestées et appâtées à la rate de bœuf qu'on laissait séjourner vingt-quatre heures au maximum, soit au moyen de bennes preneuses.

La fixation des Oligochètes a été faite à l'acide chromique.





[illegible]

## PLANCTON DU LAC DE LONGEMER

FORMES	1-IV-30	16-IV-30	30-IV-30	21-VI-30	4-VII-30	13-IX-30	8-X-31
	5-6 m. et surface	Surface 7 h. 30 4° 8	Surface 7 h. 30 9° 4	(Matér. en mauvais état) Matinée	Surface 7-10 h. 21° 1	Surface	Surface matinée
<b>PHYTO.</b>							
Diatomées. . . . .			+				
Asterionella gracillima Heiberg. .						+	
<b>ZOO.</b>							
<i>Péridiniens.</i>							
Ceratium hirundinella Schrank .		+	+	+	+++	+++	+
<i>Rotifères.</i>							
Anurea cochlearis Gosse. . . .	+	+	+	+	+	+	+++
Anurea aculeata Ehrenb. . . .	+	+	+				
Notholca longispi a Kellic. . .	+	+	+	+	+		+
Triarthra mystacina Ehrenb. . .	+						
Synchaeta pectinata Ehrenb. . .		+	+				
Polyarthra platyptera Ehrenb. .	+	+	+		+	+	+
Conochilus unicornis Rouss. . .		+			+		++
Monostyla lunaris Ehrenb. . . .			+				
Ploesoma hudsoni Imh. . . . .					+		
Asplanchna priodonta Gosse. . .						+	++
Floscularia sp. . . . .							+
<i>Phyllopodes.</i>							
Bosmina coregoni Baird var. cis- terciensis F. . . . .	+		+		+	+	++
Daphnia longispina O. F. M. . .	+				+		+
Holopedium gibberum Zadd. . .		+	+	+	+	+	+
Diaphanosoma brachyurum Liév.					+	+	+
<i>Copépodes.</i>							
Diaptomus denticornis Wierz. .	+		+		+	+	++
Cyclops (Megacyclops) viridis Jur.			+				+
Nauplii et Copépodites . . . . .			+				
<i>Hydracariens.</i>							
Larves . . . . .					+		

# PLANCTON DU LAC DE RETOURNEMER

FORMES	DATES DES PÊCHES								
	3-XII-1929	23-I-1930	4-IV-1930	15-IV-1930	I-V-1930	19-VI-1930	2-VII-1930	12-IX-1930	10-X-1931
	Surface 10 h. 30	5-6 m. 10 h., 3 <sup>o</sup> 2	Surface 7 h. 30	Surface 14-15 h., 5 <sup>o</sup> 4	Surface 16-17 h., 9 <sup>o</sup>	Surface 17 h., 19 <sup>o</sup> 5	Surface 12 h., 18 <sup>o</sup> 6	Surface 14 <sup>o</sup> 7	Surface matinée
<b>PHYTO.</b>									
<i>Chrysomonadinae.</i>									
Dinobryon (Eudinobryon) cylindricum Imh. . . . .									+
<i>Diatomées.</i>									
Asterionella gracillima Heiberg.									+
Tabellaria sp. . . . .									+
<b>Zoo.</b>									
<i>Péridiniens.</i>									
Ceratium hirundinella Schrank.							+	+	
<i>Volvocaceae.</i>									
Volvox sp. . . . .							+		
<i>Rotifères.</i>									
Anurea cochlearis Gosse. . . .	++	+	+	+	++	+	+	++++	++++
Anurea aculeata Ehrenb. . . .	+		+	+	++	+	+	+	
Synchaeta pectinata Ehrenb. . .			+	+		+	+	+	++++
Triarthra mystacina Ehrenb. . .			+						
Triarthra longiseta Ehrenb. . .					+			+	
Polyarthra platyptera Ehrenb. .				++	+	+	+	++	+
Cathypna luna O. F. Müll. . . .			+						
Notholca longispina Kellic. . . .			+						
Asplanchna priodonta Gosse. . .				+	+	+	+		+
Conochilus unicornis Rouss. . .					+	+	+	+	
Floscularia sp. . . . .								+	
<i>Gastrotriches.</i>									
Chaetonotus maximus Ehrenb.					+				
<i>Cladocères.</i>									
Holopedium gibberum Zadd. . . .	+								
Daphnia longispina O. F. M. . . .					+	+			+
Chydorus sp. . . . .					+				
Ceriodaphnia pulchella G. O. Sars . . . . .								+	
<i>Copépodes.</i>									
Cyclops strenuus Fisch. . . . .				+					
Cyclops (Megacyclops) viridis Jur. . . . .					++	+			
Nauplii et Copépodites . . . . .	++	+							

## I. — LES PLANCTONS

---

### I. — Lacs des Vosges.

Dans le dernier quart du XIX<sup>e</sup> siècle, des prises et des déterminations furent faites par DOLLFUS et par MONIEZ (1887), ainsi que par IMHOF (1888). Les travaux des deux premiers chercheurs ne concernent que le lac de Gérardmer, au mois de juillet, et les déterminations d'espèces ne se rapportent qu'aux Arthropodes, encore que MONIEZ y signale la présence de *Diaptomus castor* Jur. que je n'y ai jamais rencontré. Parmi les lacs du versant lorrain des Vosges, IMHOF a visité Gérardmer et Longemer; ses déterminations sont, en quelque sorte, le complément de celles de MONIEZ; elles visent quelques Algues ou Protozoaires et un plus grand nombre de Rotifères; elles sont muettes, par contre, sur les dates auxquelles les récoltes ont été effectuées. La présence des *Conochilus* permet néanmoins de supposer que c'est au cœur de la belle saison.

De l'examen des tableaux qui résument mes pêches dans les trois plus importantes nappes d'eau des Vosges, il résulte que dans ces lacs à tendances dystrophes, le zooplancton est abondant, ce qui d'ailleurs n'est pas une anomalie. La faune des Rotifères est partout riche et variée; on peut même dire que Retournemer est une mare à Rotifères. La faune des Crustacés ne prend réellement de l'ampleur que dans le lac de Gérardmer, mais les grandes formes des lacs subalpins *Leptodora* et *Bythotrephes* ne s'y rencontrent pas.

La présence d'*Holopedium gibberum* Zadd., surtout pendant la belle saison, qui avait tout d'abord excité la curiosité, n'a rien qui doive surprendre. On sait que ce Cladocère vit dans les nappes d'eau d'acidité moyenne et sa découverte dans les étangs du littoral des Landes a détruit la légende de relique glaciaire qui s'était attachée à lui.

On assiste, au cours des mois d'été et du début de l'automne, à d'énormes proliférations de certaines espèces :

— *Dinobryon cylindricum* Imh., dans le lac de Gérardmer;  
— *Ceratium hirundinella* Schrank, à Gérardmer et à Longemer;

— *Conochilus unicornis* Rouss., dans les deux mêmes lacs;

— *Anurea cochlearis* Gosse, à Longemer et à Retournemer.

Parmi les Crustacés,

— *Ceriodaphnia pulchella* G. O. Sars et *Diaptomus laciniatus* Lillj. à Gérardmer.

De telles masses d'organismes inférieurs sont l'indice d'une richesse concomitante en poissons. C'est ce que nous verrons plus loin.

## 2. — Les lacs subalpins.

Les études sont ici très nombreuses et certaines sont déjà anciennes (FOREL, 1883). Plus récemment, les travaux de LE ROUX sur les lacs d'Annecy et du Bourget s'échelonnent de 1892 à 1928. Si nos idées sur l'origine des faunes lacustres sont maintenant différentes de celles qu'il émettait en 1892, ses listes d'organismes planctoniques nous donnent, pour ces deux nappes d'eau, la majorité des espèces pélagiques qui y vivent. On peut regretter la médiocrité des figures de sa dernière étude (1928). Il est vrai que la responsabilité de l'auteur est largement atténuée, puisque les planches originales furent irrémédiablement égarées par la Direction générale des Eaux et Forêts dont il avait sollicité l'aide, en vue de la publication du travail.

La contribution de PELOSSE (1934, 1937) est importante et intéressante également; elle vise plus spécialement les Copépodes et les Cladocères du lac du Bourget. Un travail de VIVIER (1937) renseigne sur les variations quantitatives au cours de l'année et sur les déplacements journaliers des principales espèces planctoniques de ce même lac. Mais l'une des études les plus complètes et les plus poussées se trouve au tome III (1904) de l'œuvre magistrale de FOREL sur le Léman. On y remarque, en particulier, sous le paragraphe 8 de la Société pélagique, « dissémination ou agglomération en troupes des organismes pélagi-

## PLANCTON DU LAC D'ANNECY

FORMES	DATES ET LIEUX DE PÊCHES	
	Le Grand Lac 28-VIII-1933 fin de matinée 2-3 mètres	Le Petit Lac 19-IX-1941 matin 7 heures Surface
PHYTO.		
Anaboena flos aquae Bréb. . . . .		+
ZOO.		
<i>Péridiniens.</i>		
Ceratium hirundinella Schrank. . .	+	
Peridinium sp. . . . .	+	
<i>Infusoires.</i>		
Vorticellidae . . . . .		+
<i>Rotifères.</i>		
Asplanchna priodonta Gosse. . . .	+	+
Conochilus unicornis Rouss. . . .	+	+
Triarthra longiseta Ehrenb. . . .	+	
Notholca longispina Kell. . . . .	+	+
Polyarthra platyptera Ehrenb. . .	+	+
Rattulus capucinus Wierz. . . . .	+	
Anurea cochlearis Gosse. . . . .		+
<i>Cladocères.</i>		
Daphnia longispina O. F. M. . . .	+	+
Diaphanosoma brachyurum Liév. .		+
Leptodora Kindti Fock. . . . .		+
<i>Copépodes.</i>		
Diaptomus laciniatus Lillj. . . . .	+	+
Cyclops strenuus Fisch. . . . .	+	+
Cyclops oithonoides G. O. Sars. . .		+

## PLANCTON DU LAC DU BOURGET

FORMES	DATES DES PÊCHES							
	Large du Petit Port 28-v-33 après- midi Surface	Large du Petit Port 8-vi-33 après- midi 5-6 m.	Large de la baie de Grésine 1-x-33 fin après- midi 3-4 m.	Large de Bordeau 3-x-33 après- midi 8-10 m.	Large du Grand Port 2-1-34 après- midi Pro- fondeur 40-60 m.	Large du Grand Port 25-v-34 matinée Surface 16 <sup>h</sup> 6	Large des rochers de la Mon- tagne du Chat 20-ix-34 Surface	Baie de Grésine 21-vii-35 en hauteur, de 42 m. de fond — Sur- face
PHYTO.								
<i>Diatomées.</i>					En surface			
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton. . .	+		+	+	+	+		
<i>Asterionella formosa</i> Hassall. . .	+	+	+	+	+	+		
<i>Tabellaria fenestrata</i> , var. <i>asterio-</i> <i>nelloides</i> Grun. . . . .			+	+	+	+		
<i>Myxophycées.</i>								
<i>Chroococcus limneticus</i> , var. <i>sub-</i> <i>salsus</i> Lemm. . . . .			+	+				
<i>Chryomonadines.</i>								
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenb. . .			+	+				
<i>Dinobryon divergens</i> Imh. . . .			+	—				
<i>Dinobryon stipitatum</i> Stein. . . .			+	+				
<i>Dinobryon</i> sp. . . . .	+					+		
ZOO.								
<i>Péridiniens</i> (1).								
<i>Peridinium cinctum</i> Ehrenb. :								
fa. <i>regulatum</i> Lind. . . . .			+	+				
fa. <i>Westii</i> Lemm. . . . .			+	+				
fa. <i>tuberosum</i> Mam. . . . .			+	+				
<i>Peridinium Volzii</i> Lemm. :								
fa. <i>maeandricum</i> Lauterb. . .			+	+				
<i>Peridinium Willei</i> Huitf. — Kaas :								
fa. <i>lineatum</i> Lindem. . . . .			+	+				
<i>Peridinium</i> sp. . . . .						+		
<i>Ceratium hirundinella</i> O. F. M. .	+	+	+	+	+	+		
<i>Ceratium cornutum</i> Clap. et Lachm.			+	+				
<i>Infusoires.</i>								
<i>Stentor niger</i> Ehrenb. . . . .					+++			
Vorticellidés pélagiques. . . . .					+			

(1) Déterminations de M. Lefèvre, du Muséum d'histoire naturelle de Paris.

## PLANCTON DU LAC DU BOURGET (suite).

FORMES	DATES DES RÉCÈS							
	Large du Petit Port 28-v-33 après- midi Sur ace	Large du Petit Port 8-vi-33 après- midi 5-6 m.	Large de la baie de Grésine 1-x-33 fin après- midi 3-4 m	Large de Bordeau 3-x-33 après- midi 8-10 m.	Large du Grand Port 2-1-34 après midi Pro- fondeur 40-60 m.	Large du Grand Port 25-v-34 matinée Surface 16° 6	Large des rochers de la Mon- ta ne du C at 20-1x-34 Surface	Baie de Grésine 21-vii-35 en hauteur, de 42 m. de fond — Sur- face
<i>Rotifères.</i>								
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse. . .		+			++	+		
<i>Notholca longispina</i> Kellic. . .		+	+			+		
<i>Polyarthra platyptera</i> Ehrenb. .		+	+			+		
<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenb. . .		+			+	+		
<i>Ploesoma hudsoni</i> Imh. . . . .				+				
<i>Anurea cochlearis</i> Gosse. . . . .		+		+	+			
<i>Anurea aculeata</i> Ehrenb. . . . .						+		
<i>Conochilus unicornis</i> Rouss. . . .	+							
<i>Anapus testudo</i> Lauterb. . . . .							+	
<i>Floscularia mutabilis</i> Bolt. . . .							+	
<i>Cladocères.</i>								
<i>Daphnia longispina</i> O. F. M. . . .	+	+		+	+	+		+
<i>Bosmina coregoni</i> Baird. <i>var. cister-</i> <i>ciensis</i> Rühe. . . . .					+	+		
<i>Bosmina longirostris</i> O. F. M. <i>var.</i> <i>similis</i> Lillj. . . . .		+		+				
<i>Bosmina</i> sp. . . . .				+				
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> Liév.								+
<i>Eurycercus lamellatus</i> O. F. M. .								+
<i>Leptodora Kindti</i> Fock . . . . .								+
<i>Bythotrephes longimanus</i> Leyd. .					+			+
<i>Copépodes.</i>								
<i>Diaptomus gracilis</i> G. O. Sars. .	+	+	+	+	++	+++		
<i>Diaptomus laciniatus</i> Lillj. . . .					+			
<i>Cyclops (Cyclops) strenuus</i> Fisch. .		+			++	+		
<i>Cyclops (Megacyclops) viridis</i> Jur.								+
<i>Cyclops (Eucyclops) macrurus</i> G. O. Sars . . . . .				+				
<i>Cyclops</i> sp. . . . .					+			
Nauplii et Copépodites. . . . .						+		
<i>Hydracariens.</i>								
<i>Hygrobatas foreli</i> Leb. . . . .								+



## PLANCTON DU LAC D'AIGUEBELETTE

*Bassin principal.*

FORMES	DATES DES PÊCHES	
	23-IX-1834 matinée 10 m. environ	15-IX-1941 matinée Surface
PHYTO.		
<i>Botryococcaceae</i>		
Botryococcus Baunii Kütz. . . . .		+
<i>Cyanophyceae.</i>		
Anaboea flos aquae Bréb. . . . .		+
<i>Diatomées.</i>		
Asterionella formosa Hassall. . . . .	+	
<i>Chrysomonadinae.</i>		
Dinobryon sertularia Ehrenb. . . . .	+	
Dinobryon divergens Imh. . . . .	+	
Uroglena volvox Ehrenb. . . . .	+	
ZOO.		
<i>Péridiniens.</i>		
Ceratium hirundinella O. F. M. . . . .	+	
Peridinium sp. . . . .	+	
<i>Rotifères</i>		
Asplanchna priodonta Gosse. . . . .	+	
Notholca longispina Kellic. . . . .	+	
Triarthra longiseta Ehrenb. . . . .	+	
Floscularia mutabilis Bolt. . . . .	+	
Anurea chochlearis Gosse. . . . .	+	
Rattulus capucinus Wierz. . . . .	+	
Gastropus stylifer Imh. . . . .	+	
Polyarthra platyptera Ehrenb. . . . .	+	
Monostyla quadridentata Ehrenb. . . . .	+	
<i>Cladocères.</i>		
Daphnia longispina O. F. M. . . . .	+	
Diaphanosoma brachyurum Liév. . . . .	+	
<i>Copépodes.</i>		
Diaptomus gracilis G. O. Sars . . . . .	+	
Nauplii et Copépodites . . . . .	+	

ques », page 224, la discussion de la répartition du plancton, soit régulière, soit par bancs, dans la masse des eaux. Si l'auteur suisse admet une distribution irrégulière, des groupements denses pour les organismes qui « exécutent des migrations verticales journalières, qui montent à la surface la nuit pour redescendre dans les couches moyennes le jour, ainsi des Entomostracés et des Rotateurs », FOREL attribue par contre une répartition uniforme aux « organismes immobiles passifs ou à mouvements trop restreints : .....Protozoaires à mouvements actifs, mais peu étendus, algues soumises seulement aux faits de convection hydrostatique, spores d'algues et Diatomées aux mouvements automates, sans direction constante; je ne puis croire qu'ils s'agglomèrent en troupes ou en vols ». Il m'est difficile, je l'avoue, de partager une telle opinion, ne serait-ce que pour un Protozoaire, notamment, l'Infusoire *Stentor niger* Ehrenb., que je rencontrai en grande quantité, dans l'après-midi du 2 janvier 1934, par 50 m. de profondeur environ, au large du grand port d'Aix-les-Bains, dans le lac du Bourget.

La connaissance de la répartition du plancton présente des difficultés matérielles, car son étude exige, au cours d'une même journée, de nombreuses pêches, à toutes les profondeurs et sur le plus grand nombre possible de points du lac envisagé. Elle a pourtant un indéniable intérêt pratique, puisque certains poissons lacustres en font leur nourriture, les corégones par exemple.

Quant à la richesse en espèces planctoniques des grands lacs subalpins de la courbure nord-ouest de la chaîne, c'est bien plutôt de leur pauvreté en individus qu'il faudrait parler. Sauf quelques pêches abondantes de Diatomées faites en surface et au cœur de l'été, ainsi que celle de *Stentor niger* cité plus haut, je n'ai jamais rencontré dans aucun des quatre grands lacs de Savoie dont il est question dans la présente étude, ces masses, ces grouillements, si j'ose m'exprimer ainsi, d'organismes tels que j'ai pu en constater dans les petits lacs presque dystrophes des Vosges : le Rotifère *Conochilus unicornis* Rouss. à Longemer, ou le Calanide *Diaptomus laciniatus* Lillj. à Gérardmer. La prolifération de *Stentor niger* Ehrenb. dans le lac du Bourget au début de janvier 1934 est ce que j'ai rencontré, à cet égard, de plus

remarquable. Les fortes teneurs des eaux des lacs savoyards en bicarbonates alcalino-terreux, de chaux surtout, me paraissent devoir être tenues pour responsables de cette pauvreté relative en micro-organismes pélagiques. Le lac de Genève dont les eaux sont un peu moins riches en chaux que celles des autres, offre certes le plancton le plus intéressant pratiquement.

### 3. — Le lac de Tignes.

Il a été étudié en détails par PELOSSE (1926 et 1934). Le second de ses travaux contient également sur ces questions des planctons d'eaux douces, une riche et consciencieuse bibliographie à laquelle je renvoie le lecteur.

Le plancton du lac de Tignes est pauvre en individus; il renferme bien entendu le Calanide caractéristique des lacs de haute montagne : *Diaptomus bacillifer* Koelb. Mais, à mon sens, la cause de cette pauvreté, de cette oligotrophie prononcée, doit être recherchée dans la richesse des eaux en sulfates, comme l'ont fait ressortir quelques analyses de DELEBECQUE, confirmées par mes mesures interférométriques et de résistivité.

TABLEAU

## PLANCTON DU LAC DE TIGNES

2.088 m. d'altitude.

	DATES DES PÊCHES	
	28-IX-1934 matinée Surface	17-IX-1935 matinée Surface
PHYTO.		
<i>Diatomées.</i>		
<i>Fragilaria</i> sp. . . . .	+	
<i>Tabellaria</i> sp. . . . .	+	
ZOO.		
<i>Péridiniens.</i>		
<i>Ceratium hirundinella</i> Schr . . . .	+	
<i>Rotifères.</i>		
<i>Polyarthra platyptera</i> Ehrenb. . .		+
<i>Rattulides</i> . . . . .		+
<i>Cladocères.</i>		
<i>Daphnia longispina</i> O. F. M. . . . .	+	
<i>Copépodes.</i>		
<i>Diaptomus bacillifer</i> Koelb. . . . .	+	
<i>Cyclops</i> sp . . . . .	+	
Nauplii et Copépodites . . . . .		+
Remarque. — Plancton pauvre dans l'ensemble.		

## II. — LES ORGANISMES DE FOND

La vase presque impalpable des grands fonds est une masse noirâtre qui, séchée au soleil, devient grise. Elle est toujours habitée, sur sa surface à tout le moins, par un nombre considérable d'organismes. Il n'est pas de décimètre carré qui ne soit

*Organismes des profondeurs des lacs de Gérardmer  
et de Retournemer.*

FORMES	GÉRARDMER					RETOUR- NEMER
	22-I-1930 Balancés appâtés à la rate de bœuf — 24 h. d'exposition			12-II-1930 18 h. d'ex- position	13-II-1930	22-I-1930
	19 m. 40	26 m. 80	30 m. 80	22 m. 30	5 m.	11 m.
RHABDOCOELES.						
Otomesostoma auditivum Pless	+			+		+
TRICLADES.						
Polycelis nigra Ehrenb. . . .		+				
COPÉPODES.						
Cyclops (Megacyclops) viridis Jurine . . . . .	+	+	+	+		+
Cyclops albidus Jurine. . . .					+	
LARVES D'INSECTES.						
Phryganes.						
Leptocerus aterrimus Steph. .				+		
Phryganea grandis Linn. . .		+	+	+		
Diptères.						
Larves de Sayomyia sp. . . .						+

peuplé d'Oligochètes, de Turbellariés, de Crustacés, de larves de Diptères et, quand on remonte vers les fonds de 30 ou 40 m., de larves de Phryganes.

Les lignes qui suivent vont s'efforcer de donner une idée de la composition de cette faune dont la raison d'être est le remaniement et l'assimilation de tous les détritux, de tous les cadavres qui tombent lentement sur le fond, au travers de l'hypolimnion.

### 1. — Les lacs des Vosges.

Parmi les dragages effectués par DOLLFUS dans le lac de Gérardmer et analysés par MONIEZ (1887), on relève deux prises de profondeur, le n° 6 à 30 m., le n° 7 à 35 et 40 m. Le premier ne fournit qu'un Ostracode; le second des planaires, un genre de Lamellibranche (*Pisidium*), une espèce de Cladocère, un Ostracode et des Diatomées. Les résultats fournissent une faune assez différente de celle que j'ai recueillie moi-même en appâtant des balances lestées.

L'année suivante, IMHOFF (1888) ramène des profondeurs du lac de Longemer, quelques Protozoaires, un Cladocère et un *Canthocamptus*,

Dans le lac de Gérardmer, mes pêches de 1930, aux grandes profondeurs, ont fourni un Rhabdocoele, *Otomesostoma auditivum* Pless.; un Triclade, *Polycelis nigra* Ehrenb. qui devait déjà figurer parmi les planaires ramenés autrefois par DOLLFUS; un Copépode, *Cyclops (Megacyclops) viridis* Jurine, que l'on retrouve aux grandes profondeurs du lac du Bourget et des larves de Phryganes qui descendent jusqu'aux profondeurs de 25 à 30 m.; ce sont d'ailleurs des types d'eaux stagnantes : *Leptocerus aterrimus* Steph. et *Phryganea grandis* Lin.

Dans le lac de Retournemer, j'ai retrouvé, la même année 1930, le même Rhabdocoele, le même Copépode et ces larves de *Sayomyia* (= *Corethra* auct.) que l'on rencontre dans les fonds pauvres en oxygène.

Quelques mots sur *Otomesostoma auditivum* Pless. dont la présence dans les lacs des Vosges a déjà donné lieu à une étude de ma part (HUBAULT, 1931). Tout d'abord considéré comme une relique postglaciaire, ce Rhabdocoele a été retrouvé ensuite dans une bonne partie des eaux continentales européennes. Il vit tantôt sur la vase des grands fonds, tantôt dans la zone littorale, si bien qu'on hésite réellement à en faire un sténotherme

d'eau froide. Le hasard d'une pêche en dehors d'Europe pourra le ramener tout simplement au rôle d'ubiquiste.

## 2. — Le lac du Bourget.

Sa faune de profondeur a déjà fait l'objet de recherches de la part de FOREL. Elles remontent à 1883 et 1884. L'auteur rend compte de dragages effectués à la fin de septembre, au large du grand port d'Aix-les-Bains, par 30 et 50 m. de profondeur. Il y note la présence d'un Rhabdocoele découvert dans le Léman par G. DU PLESSIS, *Plagiostomum lemani* Pless, qui fut ensuite retrouvé dans de nombreuses autres stations. Plus au sud-ouest, au large de Bourdeau, par 110 et 115 m. de fond, FOREL capture un Hydracarien, un *Pisidium*, deux Tubificides dont *Saenuris velutina* Grube (= *Peloscolex velutinus* Grube), une planaire qui pouvait bien être *Polycelis nigra* Ehrenb. qu'on rencontre dans le Bourget à ces profondeurs, et enfin *Plagiostomum lemani*. D'une pêche planctonique faite en même temps, il retire *Leptodora kindtii* Fock., mais pas de *Bythotrephes* qui existe pourtant dans le lac.

En 1884, FOREL publie à nouveau une courte note sur les déterminations des organismes pêchés l'année précédente, et qu'il a envoyés à des spécialistes. L'hydracarien est *Hygrobates longipalpis* Herm. Ce genre habite, en effet, les profondeurs des grands lacs de Savoie; dans le Léman, on trouve des millions d'*Hygrobates* accrochés en hiver aux filets des pêcheurs de lottes. Les lottes elles-mêmes en font une grande consommation; on retrouve les cadavres dans leur estomac; j'ai moi-même déterminé *Hygrobates foreli* Leb. et, dans le lac du Bourget, cette même espèce parmi les organismes d'une pêche planctonique. Le *Pisidium* serait, d'après CLESSIN à qui FOREL a envoyé les Mollusques, *P. prolongatum* dont FAVRE ne fait pas mention dans sa monographie (1940).

Quelques semaines après le passage de FOREL, IMHOF (1883) refait des pêches dans le Bourget et note *Asellus foreli* que je n'ai pas capturé. Dans la faune pélagique de profondeur, il signale une partie des espèces que j'ai moi-même retrouvées et énumérées plus haut. Il ne pousse pas néanmoins jusqu'aux

espèces, les déterminations des genres *Ceratium*, *Bosmina*, *Cyclops*, *Diaptomus*.

Des sondages à la benne preneuse faits en 1933 au large du Grand Port, par 115 et 118 m. de profondeur, me fournirent une riche faune d'Oligochètes parmi lesquels *Peloscolex velutinus* Grube, capturé jadis par FOREL.

Au reste, voici la liste des organismes de grands fonds dont j'ai pu assurer la détermination :

*Organismes de fond.* — 115 et 118 m. de profondeur.

Au large du grand port d'Aix-les-Bains.

5 octobre 1933. — A la benne preneuse.

### Vers.

#### PLANAIRES :

*Dendrocoelum lacteum* Müll.

*Polycelis nigra* Ehrenb.

#### OLIGOCHÈTES (1) :

*Bythonomus lemani* Grube.

*Tubifex tubifex* Müll.;

*Peloscolex velutinus* Grube;

*Limnodrilus* sp. (immatures).

### Copépodes.

*Cyclops (Megacyclops) viridis* Jur.

### Ostracodes (2).

*Candona neglecta* G. O. Sars.

### Insectes.

Larves et mues de larves de Chironomides.

---

(1) Détermination de L. Cernosvitov, de Prague.

(2) Détermination de H. Gauthier, d'Alger.



*Baie de Grésine.* — 25 et 30 m. de profondeur,  
craie lacustre. — 13 sept. 1935 et 5 sept. 1938. — Dragages.

### Vers.

#### TURBELLARIÉS :

*Otomesostoma auditivum* Pless.;

*Polycelis nigra* Ehrenb, porteurs de Protozoaires se déplaçant librement sur le corps des planaires.

### Mollusques.

*Pisidium conventus* Cless. (1);

*Dreissensia polymorpha* Pallas.

### Lumbriculidae.

*Trichodrilus sanguineus* Bretsch;

*Dorydrilus michaelsoni* Piguet;

*Bythonomus* sp.;

*Stylodrilus* sp.

### Cladocères.

*Daphnia longispina* O. F. M., nombreux;

*Eurycercus lamellatus* O. F. M.;

*Sida cristallina* O. F. M., var. *limnetica* Burck.

### Insectes.

Larve de Philopotamïde.

Nombreuses larves et nymphes de Chironomides.

Dans la baie de Grésine, en 1935 et en 1938, par 25 et 30 m. de profondeur, outre de nombreux Oligochètes et une larve de Philopotamide, je ramenai *Otomesostoma auditivum* Pless., cet ubiquiste des vases profondes qui avait échappé à FOREL dans

---

(1) Détermination de J. Favre, de Genève.

le Bourget en 1883. Je n'ai pas encore eu l'occasion de constater la présence de *Plagiostomum lemani*.

Comme dans les lacs vosgiens, *Polycelis nigra* est associé à des larves de Phryganes ainsi qu'à *Otomesostoma auditivum*; mais ici les exemplaires de la planaire portent tous de curieux Protozoaires parasites ou symbiotes qui se déplacent librement sur son corps, et plus volontiers sur la partie postérieure.

### 3. — Le lac de Tignes (Altitude : 2.088 m.).

*Faune de fond* : 20 m.

(28 sept. 1834-17 sept. 1935.)

#### Vers.

*Crenobia alpina* Dana;

*Tubifex tubifex* Müll.

#### Crustacés.

*Rhynchotalona rostrata* Koch.

*Diaptomus bacillifer* Koelb., dans la végétation.

*Cyclops strenuus* Fisch.

#### Mollusques.

*Pisidium* sp.

#### Hydracariens.

*Neolebertia rufipes* Koenike.

#### Insectes.

Larves de Chironomides.

Quelques coups de drague donnés au mois de septembre de 1934 et de 1935, ramenèrent une faune assez riche en individus, parmi lesquels de nombreux Tubificides et deux formes sténothermes d'eau froide, la Planaire alpine, *Crenobia alpina* Dana

et l'Hydracarien *Neolebertia rufipes* Koenike, qu'on rencontre dans les limnocrènes de la haute Tarentaise (HUBAULT, 1927). Ces deux organismes, qui vivent le plus normalement dans les sources des Alpes, ont été retrouvés dans les profondeurs des lacs subalpins, et notamment dans celui des Quatre-Cantons (ZSCHOKKE, 1911). Rien d'étonnant dès lors, à ce qu'ils soient présents au fond du lac de Tignes, très probablement alimentés par des sources sous-lacustres.

---

### III. — LES LACS DE L'EST DE LA FRANCE AU POINT DE VUE PISCICOLE

---

Des tableaux de nombres et de déterminations d'espèces qui précèdent, il est possible de tirer un certain nombre de conséquences pratiques touchant la production du poisson. C'est qu'en effet, la composition, la thermique du milieu, son peuplement en invertébrés, retiennent profondément sur la vie des espèces qui s'y développent. Certes, il y a l'adaptation, mais elle n'agit pas en toutes proportions. Chacune de ces nappes d'eau constitue une entité biologique distincte. Un lac à truites communes ne sera donc pas forcément un lac à corégones et à ombles-chevaliers. La répartition de l'oxygène dissous dans la masse, conséquence de celle des températures ainsi que de la pureté des eaux, joue ici un rôle primordial comme dans les eaux courantes. La richesse des eaux en sel de calcium retentit aussi sur la faune, sur le plancton notamment, et sans doute sur la production du poisson, par contre-coup. Je partage, à cet égard, l'avis de NAUMANN (1932) : les fortes teneurs en chaux ne sont pas un facteur de production biologique élevée. Je n'en veux pour preuve que le lac de Gérardmer dont les eaux sont extrêmement pauvres en matières dissoutes et dont le zooplancton est pourtant notablement plus riche en individus que celui des lacs de Savoie.

Je vais maintenant examiner en particulier la situation piscicole des lacs étudiés et leur exploitation rationnelle, sans pour cela entrer dans les détails de la vie d'espèces connues depuis longtemps.

Il est malaisé de donner une énumération exacte et complète des poissons qui vivent dans un lac; et si l'on veut faire la répartition entre les espèces indigènes et les formes introduites, l'entreprise est encore plus difficile, car les renseignements pris ne concordent pas, le plus souvent.

## 1. — Les lacs des Vosges.

### A) LE LAC DE GÉRARDMER

Voici la liste des espèces que l'on y pêche actuellement :

- *Salmonidés* : Truite commune, *Salmo trutta* L.;
- *Cyprinidés* : Gardon, *Gardonus rutilus* L. (introduit);  
Chevaine, *Leuciscus cephalus* L. (introduit);
- *Esocidés* : Brochet, *Esox lucius* L. (introduit);
- *Percidés* : Perche, *Perca fluviatilis* L. (introduit);
- *Anacanthinés* : Lotte, *Lota lota* L.

Il faut y joindre le Vairon, *Phoxinus phoxinus* L. (Cyprinidés) et le Chabot (*Cottus gobio* L., Cottidés) que l'on rencontre dans tous les ruisseaux des Vosges, accompagnant la truite commune, et qui vivent dans le lac au moins jusqu'aux alentours de l'embouchure du principal tributaire, le ruisseau de Ramberchamp.

Dans cette nappe d'eau, qui est essentiellement un lac à truites communes et riche en individus de cette espèce, le gardon, le chevaine, le brochet et la perche sont des introductions humaines. J'y ajouterai deux tentatives qui n'ont pas donné de résultats : la carpe et l'omble-chevalier. Je me suis déjà élevé contre de tels essais (HUBAULT, 1931). Des eaux froides, une profondeur considérable en égard à la surface en eau, une faune de fond sans richesse, une végétation des rives pauvre également, tout cela contribue à faire du lac, la nappe d'eau la moins appropriée à la vie de la Carpe. De même pour l'omble-chevalier, Salmonidé qui vit surtout dans les lacs oligotrophes subalpins aux eaux très oxygénées, même dans les grandes profondeurs, et qui a besoin, pour se reproduire, d'éboulis rocheux, par des fonds de 50 et de 80 m.

Si l'on peut qualifier de pur non-sens l'acclimatation de la carpe et de l'omble-chevalier, on peut considérer comme une maladresse l'introduction du brochet qui, malheureusement, est à l'heure actuelle en voie d'extension dans le lac. Point n'était besoin de créer, dans ces eaux, une compétition à la truite commune qui y est indigène, qui y réussit très bien et que l'on risque

ainsi de voir diminuer. Le brochet est une espèce intéressante, mais la truite commune l'est davantage, à tous points de vue.

#### B) LE LAC DE LONGEMER

- *Salmonidés* : Truite commune, *Salmo trutta* L.
- *Cyprinidés* : Chevaine, *Leuciscus cephalus* L.
- *Esocidés* : Brochet, *Esox lucius* L.
- *Percidés* : Perche, *Perca fluviatilis* L.
- *Anacanthinés* : Lotte, *Lota lota* L.

Il faut y joindre, comme dans le lac de Gérardmer, le vairon et le chabot. Comme j'ai montré dans le lac de Gérardmer, les conséquences regrettables de l'introduction du brochet, la situation est identique à Longemer où le brochet et la perche, espèces prédatrices introduites par l'homme, priment la truite commune, espèce indigène et plus intéressante.

La plus grande prudence doit toujours accompagner les essais d'introduction.

#### C) LE LAC DE RETOURNEMER.

La population piscicole est la même qu'à Longemer et présente les mêmes inconvénients. Elle soulève les mêmes objections.

En fin de compte, les trois plus importantes nappes d'eau des Vosges sont des lacs riches en plancton et des lacs à truites communes, dans toute l'acception du terme. Une économie rationnelle devrait tendre à favoriser cette espèce.

L'important établissement de pisciculture de Retournemer, qui maintenait bien les repeuplements en truites communes des cours d'eau de la région des Vosges, a été complètement détruit au cours des hostilités de l'hiver 1944-1945. On doit espérer qu'il sera reconstruit à brève échéance.

### 2. — Le lac de Nantua.

Au début de son étude publiée en 1928 sur le lac de Nantua, LÉGER écrivait ces lignes :

« .....Plus importante apparaîtra, au point de vue piscicole,

la teneur en oxygène des eaux du lac aux diverses profondeurs. Hâtons-nous de dire que tous les dosages que nous avons effectués, après DELEBECQUE, en surface et jusqu'à une profondeur de 10 m., nous ont montré, en accord avec lui, une teneur en oxygène voisine de la saturation ou la dépassant, soit en moyenne par litre 11,4 mmgr. (1) à la surface, 11,7 mmgr. à 5 m., 10 à 10 m., donc tout à fait propice à la vie du poisson.

« En va-t-il de même pour des profondeurs plus grandes?.... Or, dans le lac de Nantua, DELEBECQUE signale ce fait intéressant que (en août 1894), l'oxygène, après avoir atteint un maximum à 5 m. de profondeur avec 11,7 mmgr. par litre, diminue progressivement avec la profondeur, soit 7,9 mmgr. à 20 m., 7,5 à 30 m. et enfin seulement 2,55 à 40 m. (par comparaison, le lac du Bourget, d'après le même auteur, a 9,9 à 130 m. et le lac de Genève 10,8 à 100 m.).

« C'est là un fait digne de remarque qui laisse penser que le fond du lac est inhabitable pour le poisson et nous laisse perplexe sur le sort des Salmonidés de grande profondeur. Toutefois, l'auteur ne précise pas l'endroit où il a fait son sondage dans le plafond de 40 m. qui est assez vaste au lac de Nantua. Nous avons tenu à faire reprendre ces expériences et le Dr J. Perrin, chef des travaux à notre Institut, a trouvé le 4 juin 1926, en opérant au-dessus de la même profondeur, 11,4 mmgr. à la surface, 10 à 20 m. et 7 à 40 m. Cette constatation est plus rassurante, mais étant donnée l'autorité de DELEBECQUE, il est nécessaire de reprendre cette étude de l'oxygène dans les grandes profondeurs du lac pour être fixé sur le sort des ombles-chevaliers que l'on se proposera d'y introduire..... Ces résultats nous laissent espérer que les données de DELEBECQUE ne concernent peut-être qu'un point malheureux et localisé du « fond du lac ». Et LÉGER, dans la suite de son étude, admet un essai de réintroduction de l'omble-chevalier, après un premier échec.

J'ai montré plus haut en quoi avait consisté son erreur. On la comprend d'autant moins qu'il reconnaît lui-même l'eutrophie du lac, ainsi que la présence d'*Oscillatoria rubescens* et de bacté-

---

(1) Nombres donnés en centimètres cubes par LÉGER, mais convertis par moi en milligrammes pour la comparaison avec les données de DELEBECQUE et les miennes.

ries liquéfiant la gélatine qui auraient dû confirmer son impression et attirer davantage son attention.

Il n'y a pas place dans le lac de Nantua pour une seule espèce de Salmonidés de profondeur.

Au reste, voici les espèces de poissons qui y vivaient encore en 1926, suivant LÉGER :

- *Salmonidés* : Truite, *Salmo trutta* L.
- *Cyprinidés* : Carpe, *Cyprinus carpio* L.  
Goujon, *Gobio gobio* Linn.  
Tanche, *Tinca tinca* L.  
Vairon, *Phoxinus phoxinus* L.  
Rotengle, *Scardinius erythrophthalmus* L.  
Gardon, *Gardonus rutilus* L.  
Suiffe, *Telestes soufia* Risso.  
Ablette mirandelle, *Alburnus alburnus* L.  
(introduite en 1903).  
Brème, *Brama brama* L.
- *Percidés* : Perche, *Perca fluviatilis* Lin.

A cette époque, la perche, le gardon, le rotengle et l'ablette mirandelle étaient communs dans le lac. Tous les autres Cyprinidés étaient rares ou assez rares, et la truite en régression.

Les renseignements probablement incomplets que j'ai pu obtenir du Service local des Eaux et Forêts, à la fin de 1946, font mention de la truite, de la tanche, du rotengle, du gardon, de l'ablette mirandelle, de la brème et de la perche. Ils ne disent rien de la carpe, du goujon, du vairon et de la suiffe que LÉGER a pourtant signalés; ils donnent, par contre, des indications sur les profondeurs auxquelles se tiennent habituellement les sept espèces désignées plus haut. Ceci est important, surtout dans un lac aussi pollué que le lac de Nantua et dont les eaux, à partir de 15 m. et surtout de 35 m. de profondeur, contiennent peu ou pas d'oxygène dissous.

Pendant la belle saison, au printemps et en été, les Cyprinidés et la perche vivent, quand les eaux sont claires, par 4 à 7 m. de profondeur. Quand les eaux sont troubles, ils remontent entre 1 et 3 m.



En automne et en hiver, ces espèces descendent entre 12 et 15 m., recherchant sans doute des eaux moins froides. La truite, elle, se tient toute l'année entre 3 et 15 m. de fond, suivant les poissons dont elle se nourrit. Si elle ne descend pas plus bas que 15 m., elle pourra continuer à vivre, en se raréfiant constamment à mesure que se développera la pollution des eaux.

Quant aux autres espèces, formes résistantes et vivant en surface, elles se maintiendront vraisemblablement.

La télohaniose de l'écrevisse qui a été constatée dans le lac de Nantua, est également en rapport avec la pollution des eaux.

### 3. — Les lacs subalpins.

Je n'entreprendrai pas à nouveau la biologie des poissons qui y vivent. Ce sujet a été traité maintes fois. J'insisterai sur les points qui ont retenu mon attention, la pisciculture des espèces lacustres et les introductions de Salmonidés d'un lac à un autre, introductions qui, à mon avis, sont la plupart du temps inutiles, sinon nuisibles et auxquelles les services responsables ne doivent se livrer qu'après mûre réflexion, ce qui n'est généralement pas le cas :

#### A) LE LAC LÉMAN

Voici la liste des poissons qui y vivent :

#### Isospondyles.

- *Salmonidés* : Truite commune, *Salmo trutta* L.
- Omble-chevalier, *Salvelinus alpinus* L.
- Fera, *Coregonus fera* Jur.
- Gravenche, *Coregonus hiemalis* Jur.
- Lavaret, *Coregonus lavaretus* L. (introduit).

#### Ostariophysi.

- *Cyprinidés* : Carpe, *Cyprinus carpio* L. (introduite depuis longtemps).
- Goujon, *Gobio gobio* L.
- Tanche, *Tinca tinca* L.
- Vairon, *Phoxinus phoxinus* L.

- *Cyprinidés* : Rotengle, *Scardinius erythrophthalmus* L.  
Gardon, *Gardonus rutilus* Linn.  
Chevaine, *Leuciscus cephalus* L.  
Ablette mirandelle, *Alburnus alburnus* L.

### Haplomi.

- *Esocidés* : Brochet, *Esox lucius* L.

### Acanthoptérygiens.

- *Percidés* : Perche, *Perca fluviatilis* L.
- *Cottidés* ou *Joues cuirassées* : Chabot, *Cottus gobio* L.
- *Anacanthines* : Lotte, *Lota lota* L.

VIVIER (1940) reconnaît dans le Léman la présence de l'ablette spirlin, *Spirlinus bipunctatus* Bloch.; ceci est en désaccord avec les renseignements que m'a fournis le Service suisse de la Pêche dans le Léman et aussi avec les travaux de ROULE (1925) qui signale l'Ablette mirandelle dans les grands lacs de Savoie, et le Spirlin comme un poisson de rivière du Nord et de l'Est de la France. D'ailleurs, FOREL (1904) spécifie qu'on ne le trouve dans le lac de Genève qu'à l'embouchure des rivières. Ce n'est donc pas à proprement parler un poisson du lac.

L'anguille vulgaire, *Anguilla anguilla* L., dont la présence a été signalée, est pourtant extrêmement rare. Elle a sûrement été introduite, car on voit mal comment elle serait venue de la mer, ne pouvant remonter les rapides du Rhône à Bellegarde.

Le Corégone lavaret, introduit du lac du Bourget, réussit, paraît-il, dans le Léman. C'est, à mon sens, au moins une inutilité; il n'était nullement nécessaire d'opposer dans ces eaux un compétiteur à la Féra et au Gravenche qui comblaient très bien à eux seuls, l'espace revenant aux Corégones. L'inconvénient de l'introduction de poissons de ce genre est que l'on risque la formation d'hybrides stériles, avec les espèces locales.

Une espèce en pleine extension est la perche, et ceci ne laisse pas d'être inquiétant, à cause de sa voracité. Elle est heureusement et assez bien tenue en échec par une septicémie très contagieuse qui tue par centaines de milliers les jeunes de l'année et affecte gravement les sujets plus âgés : le typhus de la perche,

étudié par FOREL et DUPLESSIS, à la suite d'une épizootie particulièrement violente qui avait sévi dans le lac en 1867 (FOREL, 1868 et 1873, FOREL et DUPLESSIS, 1868). Le fléau fit sa réapparition en 1873, en 1882 et en 1892. Il y en eut d'autres, depuis, en 1940 notamment : le mal s'étendit en 1941 au lac du Bourget où il reprit en 1946. Je reviendrai sur cette question en traitant les poissons du lac du Bourget. Néanmoins, une destruction systématique de la perche est à conseiller.

L'établissement de pisciculture de Thonon-les-Bains et son annexe de Meillerie concourent honorablement à l'empoisonnement du lac. Il est tout indiqué de favoriser les Corégones indigènes, la Truite et l'Ombre-chevalier.

#### B) LE LAC D'ANNECY

Les espèces de poissons qui s'y développent actuellement sont les suivantes (1) :

— *Apodes* : Anguille, *Anguilla anguilla* L. (introduite).

#### Isospondyles.

— *Salmonidés* : Truite commune, *Salmo trutta* L.  
Ombre-chevalier, *Salvelinus alpinus* L. (introduit du Léman en 1890).  
Un Corégone rapporté à *Coregonus Schinzii* Fatio, var. *helveticus* Fat. (introduit).

#### Ostariophysii.

— *Cyprinidés* : Carpe, *Cyprinus carpio* L. (introduite).  
Tanche, *Tinca tinca* L.  
Brème, *Brama brama* L.  
Rotengle, *Scardinius erythrophthalmus* L.  
Gardon, *Gardonus rutilus* L.  
Chevaine, *Leuciscus cephalus* L.  
Ablette mirandelle, *Alburnus alburnus* L. (introduite en 1909).

---

(1) Liste raisonnée et intéressante fournie par M. VILLAUME, inspecteur des Eaux et Forêts, à Annecy. Les lignes qui suivent lui sont empruntées.

- *Cyprinidés* : Suiffe, *Telestes soufia* Risso.  
Vairon, *Phoxinus phoxinus* L.

### Haplomi.

- *Esocidés* : Brochet, *Esox lucius* L. (introduit).

### Acanthoptérygiens.

- *Percidés* : Perche, *Perca fluviatilis* L.
- *Cottidés* ou *Joues cuirassées* : Chabot, *Cottus gobio* L.
- *Anacanthines* : Lotte, *Lota lota* L.

Le chevaine et la suiffe ont à peu près complètement disparu du lac. L'anguille y est très rare, comme dans le Léman et pour les mêmes raisons, car comme la perte du Rhône à Bellegarde, les gorges du Fier constituent un insurmontable barrage à leur remontée.

Le vairon se rencontre çà et là. L'ablette mirandelle, en régression très nette, ne se pêche plus qu'au large. La carpe est très rare, surtout dans les régions Ouest et Sud du lac. Comme elle, la tanche est rare et en complète régression. La brème est encore abondante, mais elle a tendance à diminuer partout, sauf aux abords immédiats d'Annecy, là où il reste des phragmitaies.

La perche, comme dans le Léman, est en augmentation partout dans le lac d'Annecy où on la pêche de 5 à 20 m. de fond.

La lotte augmente beaucoup dans la partie est du lac, sans doute sous les escarpements abrupts du Roc de Chère. Elle est pêchée par des fonds de 40 à 50 m. où les eaux sont encore riches en oxygène dissous.

Je réserverai maintenant des paragraphes spéciaux au Corégone, à l'Omble-chevalier, à la Truite et au Brochet.

L'on est en présence, à l'heure actuelle, dans le lac d'Annecy, d'un Corégone que LE ROUX (1928) rapporte à *Coregonus Schinzii* Fatio, var. *helveticus* Fat., le Weissfelchen ou Sandfelchen du lac de Constance. En effet, les œufs d'où naquirent les 3.334 alevins déversés en 1888 dans le lac d'Annecy provenaient du lac de Constance.

Mais, d'autre part, des essais de peuplement en lavaret furent

entrepris dans le lac en 1892, 1905, 1906 et 1911. Ils donnèrent, à vrai dire, des résultats malchanceux. Il est facile d'ailleurs d'en voir la raison : les lavarets, poissons de grandes profondeurs, ne peuvent vivre que dans les eaux de fond riches en oxygène dissous, dans des lacs oligotrophes, en un mot. Or, ainsi que le lecteur a pu s'en rendre compte dans la première partie de ce travail, le lac d'Annecy est eutrophe et ses eaux sont pauvres ou même dépourvues d'oxygène dissous à partir de 50 ou de 55 m. de profondeur, au cours des stagnations.

Quoi qu'il en soit, il n'est pas exclu de croire que le corégone actuellement en voie d'extension dans le lac d'Annecy est un croisement *lavaretus* × *Schinzii* et peut-être de bien d'autres choses encore, car entre 1880 et 1887, les lacs de Suisse à *Coregonus schinzii* ont été, d'après FATIO (1890), le théâtre d'introductions de corégones d'une origine plus lointaine, de la Grande Maräne (*C. maraena*), du Nord de la Prusse, et du white-fish d'Amérique. *C. lavaretus* et *C. schinzii* ont d'ailleurs le même mode de ponte sur les graviers des rivages.

Dans tous les cas, une étude morphologique approfondie serait intéressante. Cette espèce vit dans le lac d'Annecy à des profondeurs moyennes; elle serait sans cela en régression et non en extension.

Introduit depuis 1890, l'omble-chevalier était jusqu'ici la dominante du lac. C'est encore une des espèces les plus pêchées, mais il est en très nette régression. Le braconnage et le nombre sans cesse croissant des pêcheurs à la traîne sont certainement pour quelque chose dans cette raréfaction, mais la pollution des eaux en est, elle aussi, responsable. Cette espèce peut se maintenir dans le lac d'Annecy, car il est plus froid à profondeurs égales que le Léman et le Bourget et là, les eaux sont encore assez riches en oxygène dissous pour lui permettre de vivre.

La truite commune, indigène dans le Lac, y existe toujours et s'y maintient, car le lac d'Annecy, par son altitude assez forte, ses eaux froides, est essentiellement un lac à truites. De plus, la truite vit à des profondeurs moyennes telles qu'elle y trouve suffisamment d'oxygène pour respirer. Il est regrettable que l'on ne cherche pas à favoriser l'extension de cette espèce.

S'il faut en croire LE ROUX, le brochet, après avoir abondé dans le lac d'Annecy, en avait totalement disparu au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Il y a été réintroduit en 1934 avec succès, trop de succès même, car il cause de sérieux dommages, particulièrement dans les phragmitaies de Saint-Jorioz et du Bout-du-Lac, dans lesquelles il chasse. Il se passe ici ce qui se passe dans les lacs des Vosges où on a introduit le brochet et où il se développe au préjudice d'autres espèces plus intéressantes, de la truite notamment.

A côté des espèces que je viens de nommer, le lac d'Annecy a subi toutes sortes d'essais d'acclimations qui n'ont abouti à rien : goujon, ide mélanote, poisson-chat, perche soleil, black-bass, truite arc-en-ciel, truite pourpre, saumon de Californie, omble de ruisseau, les sept derniers originaires de l'Amérique du Nord.

En résumé, les dominantes piscicoles du lac sont actuellement :

- 1<sup>o</sup> Le corégone;
- 2<sup>o</sup> L'omble-chevalier;
- 3<sup>o</sup> La perche;
- 4<sup>o</sup> Les gardons;
- 5<sup>o</sup> La lotte.

Que conclure de tous les renseignements qui précèdent? On ne peut concevoir une économie piscicole livrée davantage à la mode du moment et au caprice de chacun. On risque, à un tel jeu, la pullulation envahissante d'une espèce étrangère qui se révèle à l'usage moins intéressante comme consommation et comme pêche, que la ou les espèces indigènes qu'elle a éliminées.

L'augmentation de la truite commune était toute indiquée; il fallait la favoriser par tous les moyens, puisque les Cyprinidés et le chabot lui fournissaient la nourriture nécessaire. Point n'était besoin de lui créer des compétitions comme celle de l'omble-chevalier et surtout celle du brochet qui peut présenter de graves inconvénients. Tout au plus, l'introduction d'un corégone dont l'alimentation est très spéciale, se justifie-t-elle. Encore faut-il que ce corégone n'habite pas les grandes profondeurs, ce qui semble être ici le cas.

## C) LE LAC DU BOURGET

En voici les poissons indigènes :

- *Salmonidés* : Truite commune, *Salmo trutta* L.  
Ombre-chevalier, *Salvelinus alpinus* L.  
Lavaret, *Coregonus lavaretus* L.  
Bezoule, *Coregonus bezola* Fat. (pour mémoire).
- *Apodes* : Anguille, *Anguilla anguilla* Linn.
- *Cyprinidés* : Carpe, *Cyprinus carpio* L. (introduite depuis longtemps).  
Goujon, *Gobio gobio* L.  
Tanche, *Tinca tinca* L.  
Rotengle, *Scardinius erythrophthalmus* L.  
Gardon, *Gardonus rutilus* L.  
Chevaine, *Leuciscus cephalus* L.  
Ablette mirandelle, *Alburnus alburnus* L.  
Brême, *Brama brama* L.  
Suiffe, *Telestes soufia* Risso.  
Hotu, *Chondrostoma nasus* L.
- *Esocidés* : Brochet, *Esox lucius* L.
- *Percidés* : Perche, *Perca fluviatilis* L.
- *Blennidés* : Blennie cagnette, *Blennius fluviatilis* Asso.
- *Anacanthines* : Lotte, *Lota lota* L.
- *Petromyzonidés* : Lamproie marine, *Petromyzon marinus* L.

Le Poisson-Chat, *Ameiurus nebulosus* Lesueur (Siluridé) a été introduit, et a trop bien réussi. La truite arc-en-ciel aussi, a été introduite, mais sans résultats appréciables.

Il est difficile de compter au nombre des poissons du lac, la perche goujonnière où grémille, le barbeau et l'aloise du Rhône. Ce sont des poissons de rivière que l'on pêche seulement dans l'extrême nord du bassin, au voisinage du canal de Savières.

L'existence de la bezoule, que j'ai indiquée « pour mémoire » dans la liste précédente, est très discutable. Cette espèce, dont FATIO a fait mention en 1888, est pratiquement inconnue dans

le lac du Bourget, à l'heure actuelle. Une seule fois, au cours d'une des pêches exceptionnelles pratiquées chaque hiver dans le lac, en vue des fécondations artificielles de lavarets, un pêcheur me montra, étendu sur la grève, un poisson qui venait d'être retiré de l'eau : « C'est ce qu'on appelait autrefois la bezoule », me dit-il. J'aperçus un animal qui ressemblait étonnamment aux lavarets qui l'entouraient, un peu plus ramassé, un peu plus trapu, peut-être. C'est la seule fois que j'entendis parler de cette espèce.

La truite commune n'est pas abondante dans le lac du Bourget qui n'est pas, à proprement parler, un « lac à truites ». Elle fraie aux embouchures des tributaires et remonte également le Tillet, ruisseau qui se jette dans le lac, au petit port d'Aix-les-Bains.

L'omble-chevalier, qui rencontre pourtant dans cette nappe d'eau où il est indigène, d'excellentes conditions de vie, est en régression. Il faut en chercher la cause dans le nombre sans cesse croissant des pêcheurs.

Le corégone-lavaret se maintient, mais, il faut bien le dire, il est, lui aussi, en butte à des pêches excessives. L'usage des « piques », filets à grande puissance qui peuvent trouver leur place dans une vaste nappe d'eau comme le Léman, a été malencontreusement étendu au lac du Bourget, près de quinze fois plus petit, et de tels engins ne sont pas étrangers à une situation tout au moins instable.

La perche, par contre, est malheureusement en plein extension. Mais comme dans le Léman, qui transmet les germes du typhus au Bourget, cette épizootie se charge périodiquement d'éclaircir les essaims de jeunes sujets. J'en constatai moi-même les effets au mois d'août 1941 et, moins violemment, durant l'été de 1946.

Je pêchai de jeunes perches, *mourantes*, qui venaient expirer en s'agitant à la surface de l'eau. Des prélèvements dans le sang et surtout dans la lymphe de la cavité générale me montrèrent, par des observations sur le frais, de très nombreux bacilles de couleur brune, aplatis, de  $6\ \mu$  de longueur environ, sur  $0,75\ \mu$  de largeur, et  $0,25\ \mu$  à  $0,30\ \mu$  d'épaisseur. Arrondis aux deux extrémités, ils étaient souvent réunis par files de deux. En somme, c'étaient là tous les caractères d'une septicémie. Évidemment, il manque encore à la certitude scientifique complète le critérium



nécessaire à la connaissance de toute maladie microbienne : l'isolement du germe, sa culture sur milieux artificiels et son inoculation à des sujets manifestement sains avec reproduction des caractères observés. Mais, néanmoins, il est maintenant bien vraisemblable que le bacille observé est la cause de la maladie.

Peut-être, à côté de sa transmission du Léman par le Rhône et le canal de Savières, pourrait-on également accuser d'avoir été les véhicules du germe, les nombreuses Mouettes rièuses (*Larus ridibundus* L.) qui font la navette entre le lac de Genève et celui du Bourget et qui, elles aussi, sont une espèce en pleine expansion. Mais il faudrait admettre alors que le bacille forme des spores, ce qui n'a pas été observé.

La transmission de lac à lac est certaine. Il ne manque même pas la mise des sujets en état de réceptivité, puisque la couche des 10 premiers mètres dans le lac du Bourget était, au début du mois d'août 1941, de 4 à 7° plus froide que les années précédentes. On pourrait voir sans grand regret, de telles coupes sombres dans un peuplement aussi dense; malheureusement, la maladie ne paraît pas spécifique et attaque également les lottes, les brochets, les carpes, les goujons et les gardons (PLEHN, 1924). Quant à un traitement du mal dans des nappes d'eau de plusieurs milliards de mètres cubes, il ne saurait en être question dans l'état actuel de nos connaissances.

Il est dommage que cette septicémie laisse indemne le poisson-chat, maladroitement introduit dans le lac du Bourget, en même temps que cette sottise acclimatation faisait fureur dans toute la France et nous valait l'élimination de la tanche, des étangs d'Hourtin et de Lacanau, dans les Landes de Gascogne. Le poisson-chat pullule dans les phragmitaies nord et sud du lac, y fraie et y cause des dégâts. Aucun prédateur, d'autre part, n'a prise sur lui car son triangle d'épines acérées constitué par les premiers rayons des deux nageoires pectorales et de la première dorsale, le rend invulnérable.

La blennie-cagnette est la seule espèce vivant dans les eaux douces, d'un genre qui comporte plusieurs espèces marines réparties sur le pourtour de la Méditerranée (ROULE, 1934). On retrouve la blennie-cagnette en Corse et dans la Garonne. L'adap-

tation de cette forme à l'eau douce est corroborée et confirmée par les expériences de SONNERY et de TCHANG-SI (1931) qui ont constaté l'indifférence immédiate et complète d'une espèce marine, *Blennius pavo* Riss., aux eaux salées comme aux eaux douces. La couche de mucus qui recouvre le corps de ces animaux joue le rôle d'un enduit protecteur et la tension osmotique des tissus n'est pas modifiée.

Sur le pourtour du lac du Bourget, les établissements pour l'incubation des œufs de corégone, installés à Brizon-Saint-Innocent, à Conjux, au Bourget, ainsi que ceux de l'Institut hydrobiologique du Petit-Port et de la Société de Pêche d'Aix-les-Bains remis en service en 1945-1946, équipés également en vue de l'élevage des alevins de truite et d'omble-chevalier, suffisent, avec quelque peine, à maintenir les trois Salmonidés dans des eaux très exploitées.

#### D) LE LAC D'AIGUEBELETTE

Il fournit l'exemple d'une nappe d'eau dont la faune a été durement atteinte par un aménagement destiné à donner de l'énergie à une usine électrique, celle de la Bridoire, située en aval.

Les poissons qui y vivent actuellement sont au nombre de quatorze espèce :

*Salmonidés* : Truite, *Salmo trutta* L.

Lavaret, *Coregonus lavaretus* L. (introduit).

*Cyprinidés* : Carpe, *Cyprinus carpio* L. (introduite depuis longtemps).

Goujon, *Gobio gobio* L.

Tanche, *Tinca tinca* L.

Rotengle, *Scardinius erythrophthalmus* L.

Gardon, *Gardonus rutilus* L.

Chevaine, *Leuciscus cephalus* L.

Ablette mirandelle, *Alburnus alburnus* L. (introduite vers 1910).

Brême, *Brama brama* L.

*Esocidés* : Brochet, *Esox lucius* L.

*Percidés* : Perche, *Perca fluviatilis* L.

*Centrarchidés* : Perche-soleil, *Eupomotis gibbosus* L. (introduite vers 1910).

*Anacanthines* : Lotte, *Lota lota* L.

L'utilisation industrielle du lac en a éliminé l'anguille qui ne peut plus y remonter; les changements de niveau considérables ont éprouvé lourdement le brochet, l'ablette et le goujon qui fraient en eaux peu profondes et dont les pontes risquent, par conséquent, d'être mises à sec. Le lavaret et la lotte, eux aussi, sont en régression, mais j'en verrais une autre cause dans l'eutrophie croissante du lac, dans la pollution de ses eaux par les localités et les habitations qui l'encerclent. Ceci crée des eaux profondes presque complètement dépourvues d'oxygène dissous durant les stagnations estivale et hivernale, et où les larves de *Sayomyia* se développent en abondance.

Des essais d'introduction d'omble-chevalier n'ont pas donné de résultats.

Par contre, la perche, comme dans tous les autres lacs subalpins de la Savoie, est en voie d'extension, en dépit des changements de niveau qui doivent affecter ses pontes.

En définitive, quelle espèce conviendrait-il de favoriser dans le lac d'Aiguebelette? Sur laquelle devraient porter les repeuplements? *Je dirais que cette nappe d'eau est un lac à truites communes*. Ses eaux, dans les couches autour de 20 m. de profondeur, sont froides et de température constante, plus froides que les eaux du Bourget, et même que celles du lac d'Annecy. De plus, la truite commune vit dans les couches moyennes et non aux grandes profondeurs; contrairement au lavaret et à l'omble-chevalier, elle ne sera donc pas affectée par l'absence d'oxygène des eaux profondes. Elle remonte frayer dans les tributaires, dans le ruisseau de Novalaise, notamment, qui se jette dans le bassin Nord. Les changements de niveau ne l'affectent donc pas. Enfin, elle continuera à trouver une nourriture abondante parmi les Cyprinidés dont la plupart n'ont pas souffert de l'industrialisation du bassin lacustre. On pourrait sans inconvénient intensifier d'une manière quelconque la pêche de la perche commune.

L'introduction de la perche-soleil est au moins inutile, sinon nuisible.

#### 4. — Conclusions.

L'emprise de l'homme, que j'examinerai à d'autres points de vue dans les pages qui vont suivre et terminer ce travail, s'exerce d'une façon tyrannique, inconsciente et désordonnée sur les poissons des lacs.

Tyrannique, par les abus de toutes sortes auxquels la pêche donne lieu : nombre sans cesse croissant des pêcheurs, emploi d'instruments de pêche hors de proportion avec la possibilité de production des nappes d'eau.

Inconsciente, par les pollutions des eaux dues aux apports des lieux habités et les transformations imposées par l'industrie.

Désordonnée, par des introductions d'espèces, faites la plupart du temps « au petit bonheur » et « pour voir ce qui arrivera ». Comme il semble maintenant démontré que la population piscicole des eaux douces courantes ou stagnantes ne peut se maintenir, en face de la destruction, que par l'intervention de l'homme, sous forme de repeuplements, il importe que ceux-ci soient faits avec le plus grand soin, la plus grande prudence et en connaissance de cause. J'entends par là, en parfaite connaissance des milieux à peupler, de la vie des espèces indigènes qui s'y développent et de celle des espèces que l'on veut introduire. C'est l'un des buts que cette étude a poursuivis en fournissant des analyses d'eaux aussi complètes que possible touchant les matières indispensables ou nuisibles à la vie.

Je me permettrai d'ajouter quelques directives biologiques. Quand certaines espèces de poissons intéressantes pratiquement et indigènes dans une nappe d'eau, s'y développent normalement, il importe de les favoriser et de ne pas introduire de compétiteurs d'un intérêt moindre ou même égal. Ces compétiteurs sont susceptibles, en effet, de diminuer l'espace vital ou la nourriture des formes indigènes. L'introduction du brochet dans les lacs des Vosges, est en opposition complète avec une économie piscicole raisonnée, puisque cette introduction se développe maintenant aux dépens de la truite commune, espèce indigène et plus intéressante encore. L'introduction du corégone-lavaret

dans le lac Léman ne s'imposait pas et ne présentait nullement les caractères d'une nécessité, puisque la place des corégones était tenue dans le lac de Genève par deux formes indigènes qui s'y développaient normalement, la féra et le corégone gravenche.

L'introduction dans le lac d'Annecy d'un corégone vivant à faible profondeur, se comprend dans une certaine mesure, puisque ces poissons n'ont pas la même alimentation que la truite commune et ont peu de chance de lui faire échec.

J'ai montré pourquoi il était inutile d'essayer la réintroduction de Salmonidés de profondeur dans le lac de Nantua. De même, quelques études sur les eaux des lacs des Vosges et la connaissance de la biologie de la carpe et de l'omble-chevalier eussent épargné la peine de deux essais inutiles dans le lac de Gérardmer.

Enfin, il faut toujours se méfier *a priori* de l'introduction de toute espèce exotique. Il est préférable de favoriser par voie de repeuplements, les espèces indigènes les mieux adaptées.

---

## IV. — L'EMPRISE DE L'HOMME

### LE DESTIN DES LACS

---

Dans cette étude des principaux lacs de France, j'ai analysé leurs eaux et leurs sédiments, passé en revue les organismes qui vivent dans leurs profondeurs. Mais ils sont soumis à une emprise qui grandit chaque jour et qui, chaque jour, influe sur leur vie et leur destin; cette emprise est celle de l'homme. L'homme, qui modifie la nature des rives, pollue les eaux, abaisse et rehausse les niveaux, anéantit des espèces, en introduit ou en favorise d'autres.

L'influence de l'homme sur la nature des rives des lacs est telle qu'une bonne partie du pourtour du lac Léman a été modifiée, que tout celui du lac d'Annecy a été changé, à part les rives du Roc de Chère et celles du fond de Bredannaz. La presque totalité des rives orientales du lac du Bourget, de Chindrieux à Terret-Nu, ont subi de profonds remaniements du fait de la construction des routes, des chemins de fer, des ports, des villes, des boulevards, des plages. Fini, les marais qui servaient de frayères aux Cyprinidés et aux brochets; changées ou altérées, les pentes et la nature des anses de gravier où venaient frayer les Corégones. L'action de l'homme sur les rives des lacs est si profonde que les Suisses lui imputent la disparition du brochet, du lac de Zürich, dont les rivages naturels ont presque totalement disparu; ils attribuent à ces altérations une telle importance, qu'une ligue s'est constituée pour la préservation des rives du lac de Constance.

Il faut, en effet, se pénétrer de l'idée, être convaincu que les rives naturelles, plages caillouteuses et vastes forêts de roseaux, immenses phragmitaies poussant sur des sables ou de la vase, sont absolument indispensables au lac, à sa vie, à la pureté de ses eaux. Leur nécessité a été bien résumée et mise en lumière

par BROCKMANN-JEROSCH (1934), dans une étude destinée à créer un mouvement de protection en faveur de ce qui subsiste de rivages naturels du lac de Zurich. Ils ne servent pas seulement de frayères aux poissons, aux Cyprinidés, aux brochets; leur rôle est plus vaste et plus important. Les berges à faibles pentes, couvertes de végétation, abritent toute une faunule de vers, de mollusques, de larves d'insectes qui sert à l'alimentation des jeunes alevins et aussi de tous les oiseaux qui vivent dans les joncs et les roseaux. Souvent ces eaux peu profondes, facilement surchauffées au printemps par un coup de soleil, donnent des **métamorphoses** précoces de larves d'insectes qui nourriront des oiseaux dans l'impossibilité de trouver ailleurs leur subsistance.

Ces eaux tièdes et baignées de lumière, où croît un dense peuplement de végétaux à chlorophylle, s'épurent grâce à leur richesse en oxygène, bien plus facilement que les eaux des rives stériles couvertes de béton ou de maçonnerie. Les eaux des rives naturelles pourvues de végétation viendront donc bien plus facilement que les autres, à bout des eaux polluées déversées par l'homme dans le lac, des eaux d'égout, par exemple. Je ne veux, personnellement, pour preuve de ce pouvoir insuffisant d'auto-épuration des eaux de rivages artificiels, que la puanteur parfois insoutenable en été, qui règne sur le boulevard du Lac, au débouché d'un égout de la ville d'Aix-les-Bains, dans le lac du Bourget.

Mais le vandalisme de l'homme n'atteint pas seulement les rives, il peut altérer profondément l'eau même du lac. Si le lac Léman est encore oligotrophe grâce à sa masse, grâce au renouvellement de ses eaux alimentées par deux puissants tributaires, le Rhône et la Dranse, en dépit des importantes localités qui grandissent sur ses bords; si le lac du Bourget conserve son oligotrophie, grâce à l'escarpement inhospitalier de presque tous ses rivages occidentaux et d'une beaucoup plus faible partie de ses rives orientales, par contre des nappes d'eau moins puissantes, moins profondes, plus petites, plus faibles, se défendent peu ou pas contre la pollution causée par l'homme.

Les lacs de Nantua, d'Annecy, d'Aiguebelette en sont des exemples. Si le lecteur veut bien se reporter aux chiffres que m'ont

fournis, dans la première partie de ce travail, les teneurs des eaux de ces lacs en oxygène dissous, en gaz carbonique, en azote ammoniacal ou nitreux, au cours ou à la fin des stagnations estivales, il constatera une eutrophie dont l'homme est le principal responsable. Ville dont les égouts se déversent dans le lac, sans aucune épuration : Nantua. Encerclement de villas et d'hôtels, dont les eaux usées vont droit au lac, le plus souvent sans épuration : Annecy, Aiguebelette. Si les Corégones d'espèce assez mal déterminée qui s'accroissent en ce moment dans le lac d'Annecy, peuvent s'y développer, c'est parce qu'ils vivent entre deux eaux, et non dans les grands fonds. Par contre, des formes d'eaux plus profondes, comme l'omble-chevalier introduit dans le lac d'Annecy ou le Corégone-lavaret introduit dans celui d'Aiguebelette, s'y maintiennent avec peine ou sont en régression.

Le lac de Nantua, véritable sentine, n'hébergera plus que des espèces rebelles à la pollution, faibles consommatrices d'oxygène dissous. Quant à la ville d'Annecy qui prend son eau d'alimentation dans son lac, heureusement à proximité de la source sous-lacustre du Boubioz, il ne serait pas indifférent de lui voir accorder une attention soutenue à la pureté des eaux du lac et à l'épuration complète de celles qui s'y déversent.

Pour les changements de niveau rapides et brutaux dont sont les théâtres, certaines de ces nappes d'eau utilisées par l'industrie, tel le lac d'Aiguebelette, il va sans dire que ces dénivellations ont toujours lieu aux dépens de la faune, donc du poisson.

Fragiles et malheureux objets d'un culte admiratif et d'intérêts matériels de la part de l'homme, les lacs souffriront de plus en plus, comme toute la nature d'ailleurs, de la puissance accrue de cet être avide et malfaisant, même à son insu. A moins que des soins vigilants ne veillent constamment à l'endiguement, à la répression des abus de jouissance de pêche et d'utilisation industrielle, au respect des rivages naturels et de la pureté des eaux.

Ceci, dans l'intérêt même de l'homme.

---



## BIBLIOGRAPHIE

---

- ALSTERBERG (G.). — Ueber das aktuelle und absolute  $O_2$ . — Defizit der Seen im Sommer (*Botan. Notiser*, p. 354, 1929) (1).
- Die  $O_2$ . — Primärkonstanten in verschiedenen Seenbereichen während des Jahres (*Ibid.*, 1930) (1).
- Die thermischen und chemischen Ausgleiche in den Seen zwischen Boden - und Wasserkontakt sowie ihre biologische Bedeutung (*Intern. Rev. der ges. Hydrob. und Hydrogr.*, 24, p. 290, 1930).
- BIRGE (E. A.) et JUDAY (C.). — A limnological study of the Finger-Lakes of New-York (*Bull. bur. fisheries*, XXXII, 1912, et docum. n° 791, 1914).
- BOURCART (J.) et FRANCIS-BŒUF (Cl.). — La vase. Paris, 1942.
- BRAJNIKOV (B.), FRANCIS-BŒUF (Cl.) et ROMANOWSKY (V.). — Techniques d'étude des sédiments et des eaux qui leur sont associées. Paris, 1943.
- BROCKMANN-JEROSCH (H.). — Die Bedeutung der naturlichen Ufer des Zürichsees (*Jahresber. des Verb. zum Schutze des Landwirtschaftsbildes am Zürichsee*, 1934).
- DELEBECQUE (A.). — Les lacs français. Paris, 1898.
- DIENERT (F.). — Eaux douces et eaux minérales. Paris, 1912.
- DOLLFUS (A.). — Le lac de Gérardmer; dragages et pêches pélagiques (*Feuilles des jeunes natur.*, 17, p. 160, 1887).
- FATIO (V.). — Faune des Vertébrés de la Suisse. IV et V, Histoire naturelle des poissons. Genève, 1882 et 1890.
- FAVRE (J.). — La faune malacologique postglaciaire et actuelle du lac du Bourget (*Ann. Ec. nat. Eaux et Forêts*, VII, p. 295, 1940).
- FOREL (F. A.). — Maladie épizootique des perches (*Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, IX, p. 596, 1868).
- Enquête sur le typhus des perches (*Ibid.*, XIII, p. 400, 1873).
- Dragages zoologiques et sondages thermométriques dans les lacs de Savoie (*Rev. savoisienne*, 24<sup>e</sup> année, p. 87, 1883).
- Études zoologiques dans les lacs de Savoie (*Ibid.*, 25<sup>e</sup> année, p. 1, 1884).
- Le Léman, I, II, III. Lausanne, 1892-1904.
- FOREL (F. A.) et DU PLESSIS (G.). — Étude sur le typhus des perches. (*Bull. Soc. médecine Suisse rom.*, II, p. 211 et 229, 1868).

---

(1) D'après RICKER (1934) et ALSTERBERG (1930).

- GORCEIX (Ch.). — Répartition des températures dans le lac du Bourget (*Rev. de Géogr. alpine*, X, p. 417, 1922).
- GROTE (W.), VOGT (C.) et HOFER (B.). — Die Süßwasserfische von Mittel-europa. Halle, 1909.
- GUILLERD (A.). — Mesure de résistivité électrique des eaux minérales sur le terrain (*Ann. Inst. d'Hydrol. et de Climatol.*, VIII, 2, n° 28, 1932).
- HARVEY (H. W.). — Methods of estimating phosphates and nitrates in seawater (*Rapp. et proc-verb. du Cons. perm. intern. pour l'explor. de la mer*, LIII, p. 68, 1929).
- HUBAULT (Ét.). — Contribution à l'étude des Invertébrés torrenticoles (*Bull. biol. France-Belgique*, suppl. IX, Paris, 1927).
- Étude physico-chimique du lac de Gérardmer (Vosges) (*C. R. Ac. Agric.*, XVII, p. 297, 1931).
- Présence d'*Otomesostoma auditivum* Dupl. (*Allococoela Monocelididae*) dans les lacs de Gérardmer et de Retournemer (*C. R. des Congrès de l'A. F. A. S.*, Nancy, 1931, p. 472).
- Un lac acide de montagnes anciennes : le lac de Lispach, dans les Vosges (*Ann. Ec. nat. Eaux et Forêts*, IV, p. 327, 1932).
- Le pH dans les lacs des Vosges (*C. R. des Congrès de l'A. F. A. S.*, Chambéry, 1933).
- La pollution des eaux libres et la disparition de la faune dulciquicole (*C. R. des Congrès de l'A. F. A. S.*, Liège, 1939 et *Sciences, organe de l'A. F. A. S.*, 66<sup>e</sup> année, p. 251, 1939).
- Les grands lacs subalpins de Savoie sont-ils alcalitrophes? (*Arch. f. Hydrol.*, XL, p. 241, 1943).
- IMHOF (O. E.). — Die pelagische Fauna und die Tiefseefauna der zwei Savoyer Seen, lac du Bourget und lac d'Annecy (*Zool. Anz.*, VI, p. 655, 1883).
- Beitrag zur Kenntnis der Süßwasserfauna der Vogesen (*Zool. Anz.*, XI, p. 565, 1888).
- LÉGER (L.). — Étude hydrobiologique pour servir à l'aménagement et à la restauration piscicoles du lac de Nantua (*Trav. du labor. d'hydrol. et de piscic. de l'Univ. Grenoble*, 12, XIX<sup>e</sup> année, p. 5, 1928).
- LE ROUX (M.). — Les faunes lacustres (*Rev. savoisienne*, 33<sup>e</sup> année, p. 161, 1892).
- Recherches biologiques sur le lac d'Annecy (*Ann. de biol. lac.*, II, p. 220, 1907-1908).
- Recherches biologiques dans les grands lacs de Savoie (lacs du Bourget et d'Annecy). Annecy, 1928.
- LOMBARD (M.). — Sur les corps colorés produits dans la réaction de Grandval et Lajoux (*Bull. Soc. Chim.*, 4<sup>e</sup> série, V, p. 1092, 1909).
- MAGNIN (A.). — Monographies botaniques des lacs du Jura. Paris, 1904.

MANGEREL (P.) et COIN. — L'appareil Zeiss-Pulfrich pour la mesure du trouble à l'aide d'un étalon invariable (*Ann. Serv. techn. hyg. Ville de Paris*, 1937, p. 228).

MARTONNE (E. DE). — Traité de Géographie physique. Paris, 1909.

MAUCHA (R.). — Sauerstoffschichtung und Seetypenlehre (*Verhandl. der intern. Verein. f. theor. und angew. Limnol.*, V, p. 75, 1931).

— Hydrochemische Methoden in der Limnologie (*Die Binnengewässer*, XII, Stuttgart, 1932).

MONIEZ (R.). — Entomostracés et Hydrachnides recueillis par M. DOLLFUS (Détermination et notes critiques) (*Feuille jeunes, natur.*, 17, p. 162, 1887).

MÜLLER (H.). — Limnologische Feldmethoden. — (*Intern. Rev. d. gesamt. Hydrob. und Hydrogr.*, 28, p. 351, 1933).

NAUMANN (E.). — Grundzüge der regionalen Limnologie (*Die Binnengewässer*, XI, Stuttgart, 1932).

NICLOUX (M.). — Le dosage de l'oxygène dissous dans l'eau de mer (*Bull. n° 563 de l'Institut. océanogr. Monaco*, 5 déc. 1930).

PELOSSE (J.). — Contribution à la connaissance de la faune d'eau douce des Alpes de Savoie. Cladocères et Copépodes de la haute vallée de l'Isère (Tarentaise) (*Bull. Soc. zool. de France*, LI, p. 356, 1926).

— Étude sur la faune des Cladocères et des Copépodes de la région moyenne des Alpes françaises. Lyon, 1934.

— Le zooplancton des eaux alpines (*Verhandl. der intern. Verein. f. theor. und angew. Limnol.*, VIII, I, p. 43, 1937).

PLEHN (M.). — Praktikum der Fischkrankheiten (*Handb. der Binnenfischerei Mitteleuropas*, I, 3, Stuttgart, 1924).

RICKER (W. E.). — A critical discussion of various measures of oxygen saturation in lakes (*Ecology*, XV, p. 348, 1934).

ROULE (L.). — Les poissons des eaux douces de France. Paris, 1925.

— Les Blennies potamiques périméditerranéennes (*Verhandl. der intern. Verein. f. theor. und angew. Limnol.*, VII, p. 411, 1934).

SONNERY et TCHANG-SI. — De la résistance de quelques Blenniidées marins à la variation de salinité (*C. R. Soc. biol.*, 108, p. 1236, 1931).

Standard-methods for the examination of water and sewage. 6th edition, New-York, 1925.

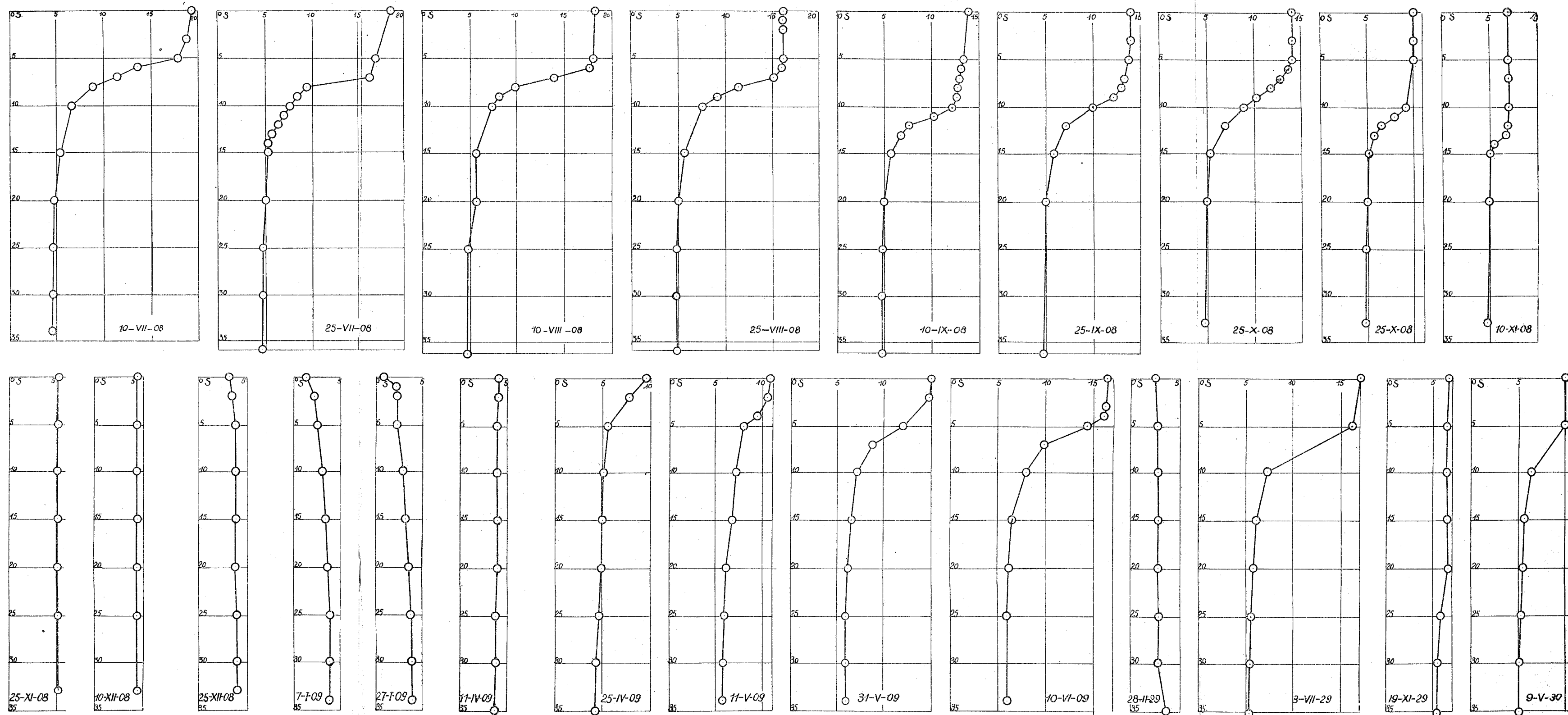
THIENEMANN (A.). — Sind die grossen Alpenseen alkalitroph? (*Arch. f. Hydrob.*, XXV, p. 48, 1933).

THOULET (J.). — Contribution à l'études des lacs des Vosges (*Bull. Soc. de géographie*, 4<sup>e</sup> trim. 1894).

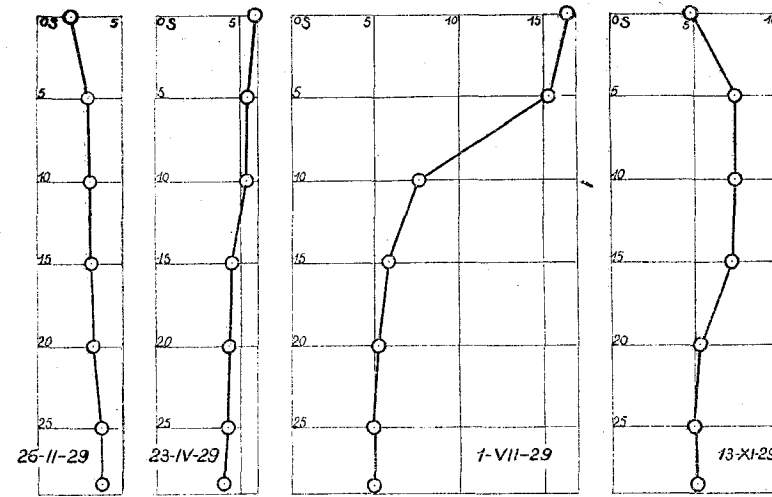
TRAVERS (A.), FUSS (J.) et SEHNOUTKA (J.). — Études concernant les eaux résiduaires d'industries. (*Ann. Ec. nat. Eaux et Forêts*, VI, p. 135, 1937).

- URBACH (C.). — Die stufenphotometrische Mikroanalyse des Trink- und Nutzwassers, I (*Mikrochemie*, X, p. 483, 1931-1932).
- VIVIER (P.). — Sur les variations quantitatives du plancton pélagique du lac du Bourget (*Verhandl. der intern. Verein. f. theor. und angew. Limnol.*, VIII, 1, p. 55, 1937).
- Le peuplement piscicole dans les lacs subalpins de Savoie. (*Bull. franç. piscicul.*, 12<sup>e</sup> année, 120, p. 61, 1940).
- WASER (E.) et BLÖCHLIGER (G.). — Untersuchung des Zürichsees (*Untersuchungen des öffentlichen Gewässer des Kantons Zürich*, V., 1939).
- WERECSAGIN (G. J.), ANICKOVA (N. J.) et FORSCH (T. B.). — Methoden der hydrochemischen Analyse in der limnologischen Praxis (*Intern. Verein. f. theor. und angew. Limnol.-Arbeiten der Standardisations-Kommission I.*, Stuttgart, 1931).
- ZSCHOKKE (F.). — Die Tiefseefauna der Seen Mitteleuropas. Leipzig, 1911.

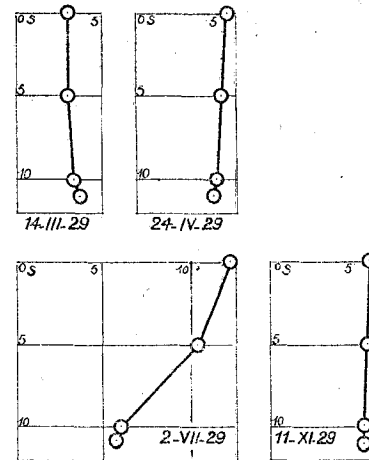
# PLANCHE I - TEMPERATURES DU LAC DE GERARDMER



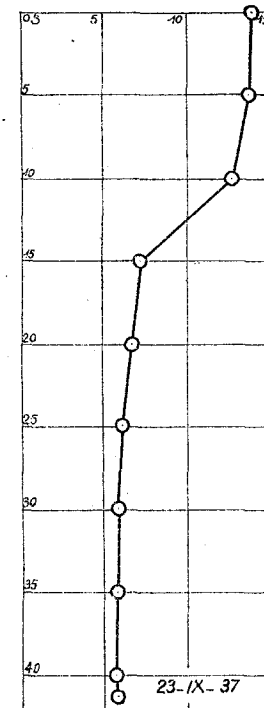
LAC DE LONGEMER



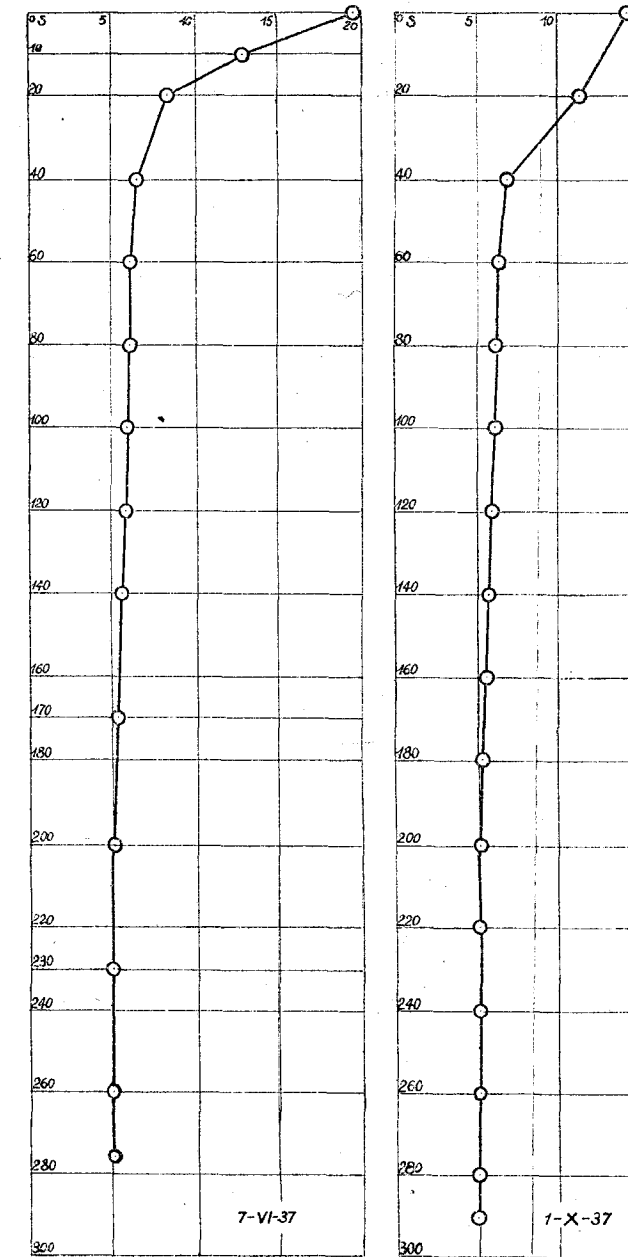
LAC DE RETOURNEMER



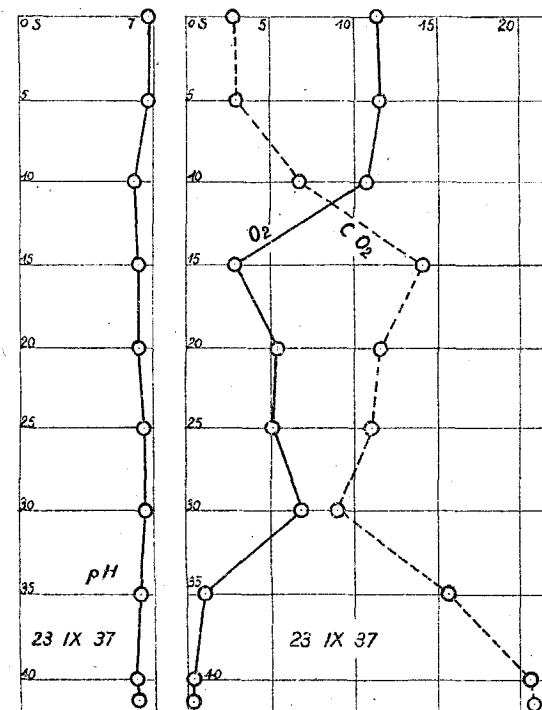
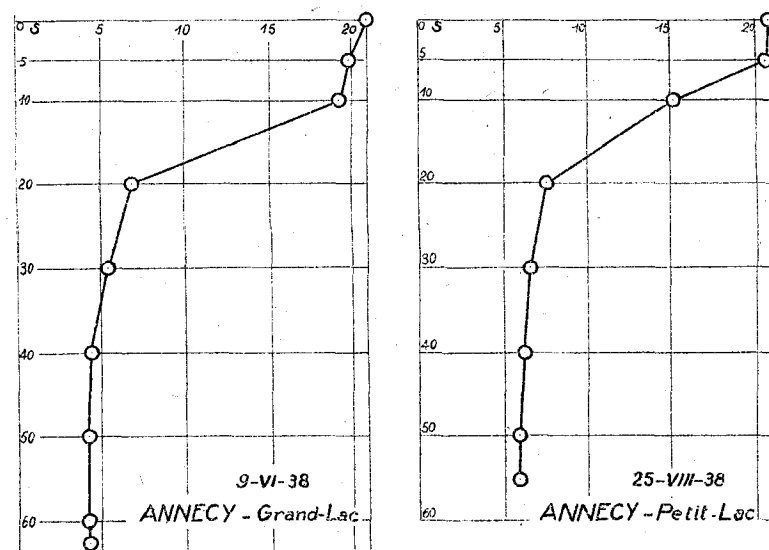
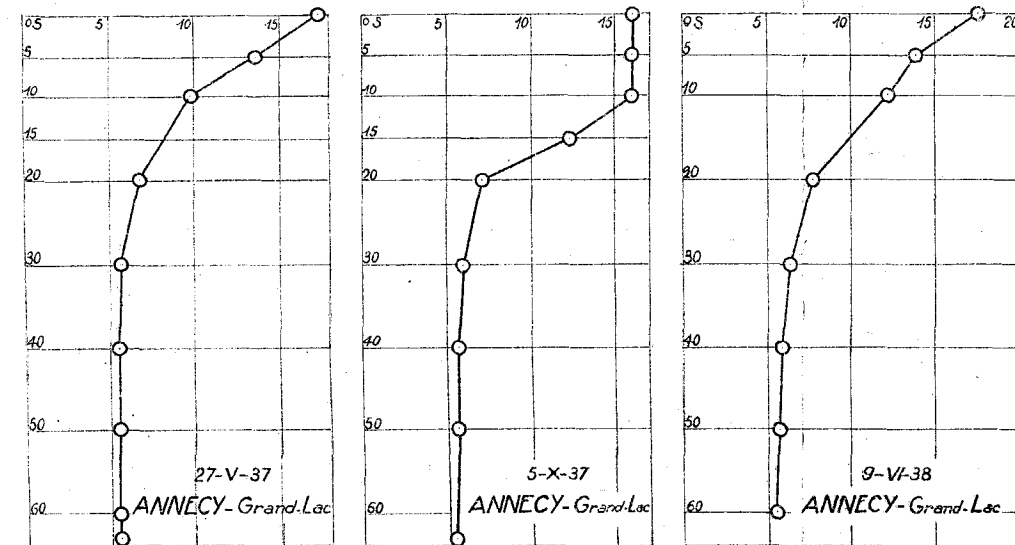
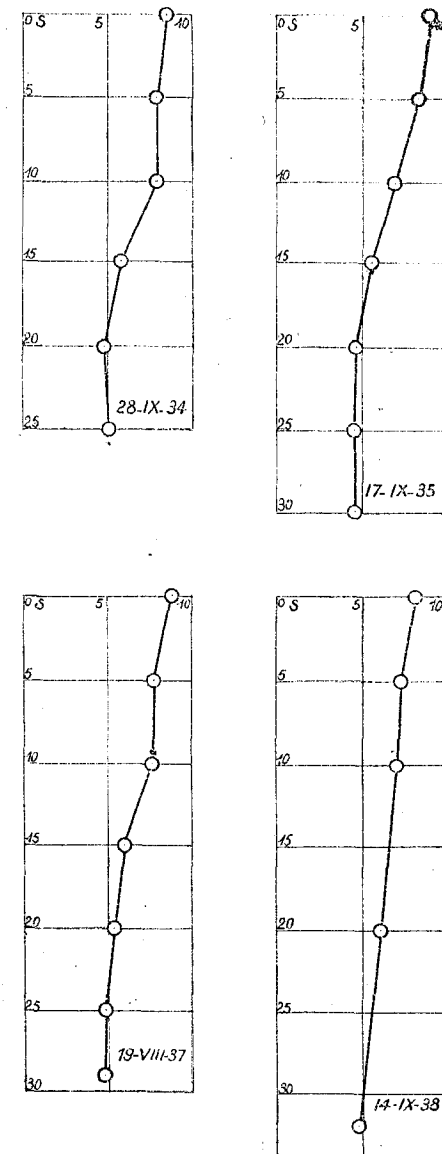
LAC DE NANTUA



LAC LEMAN



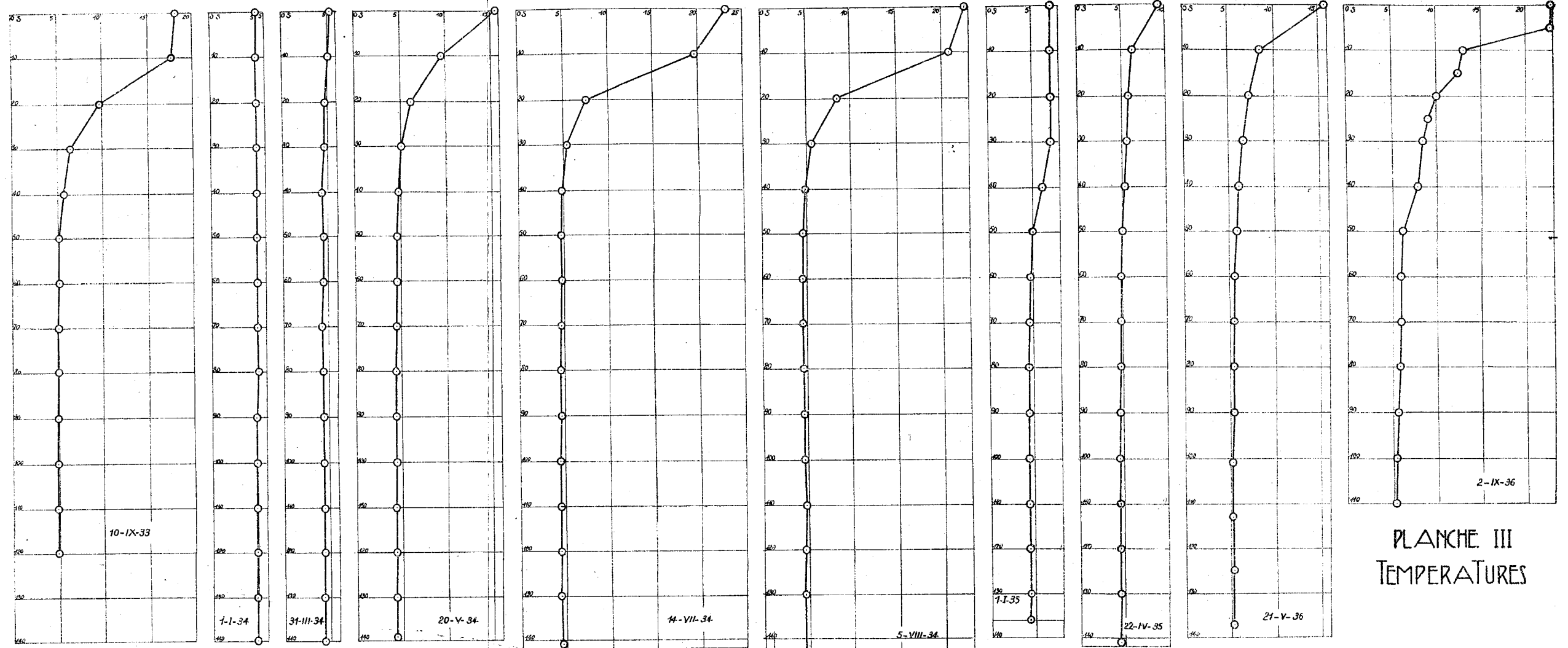
LAC DE TIGNES



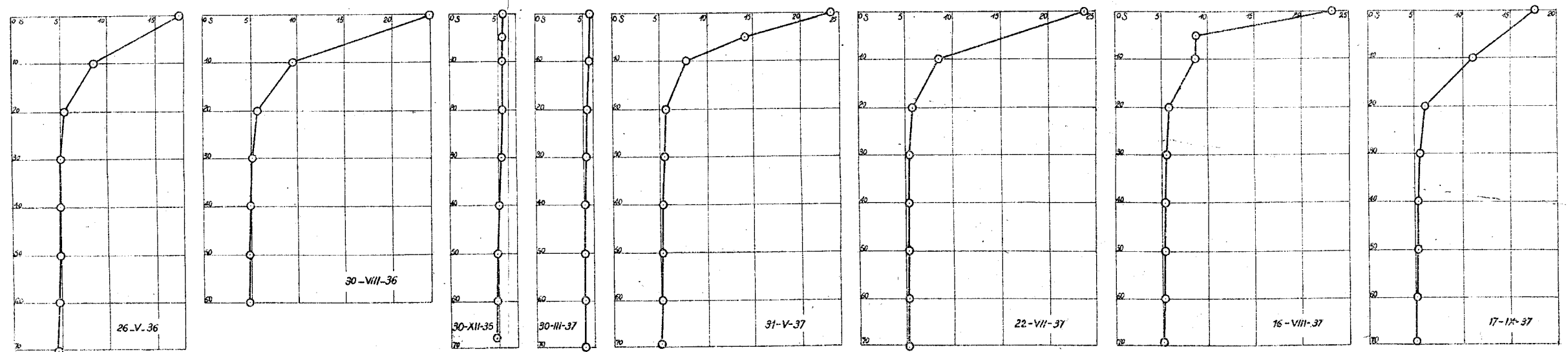
LAC DE NANTUA, pH, O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> libre, dissous

PLANCHE II - TEMPÉRATURES (suite)

# LAC DU BOURGET

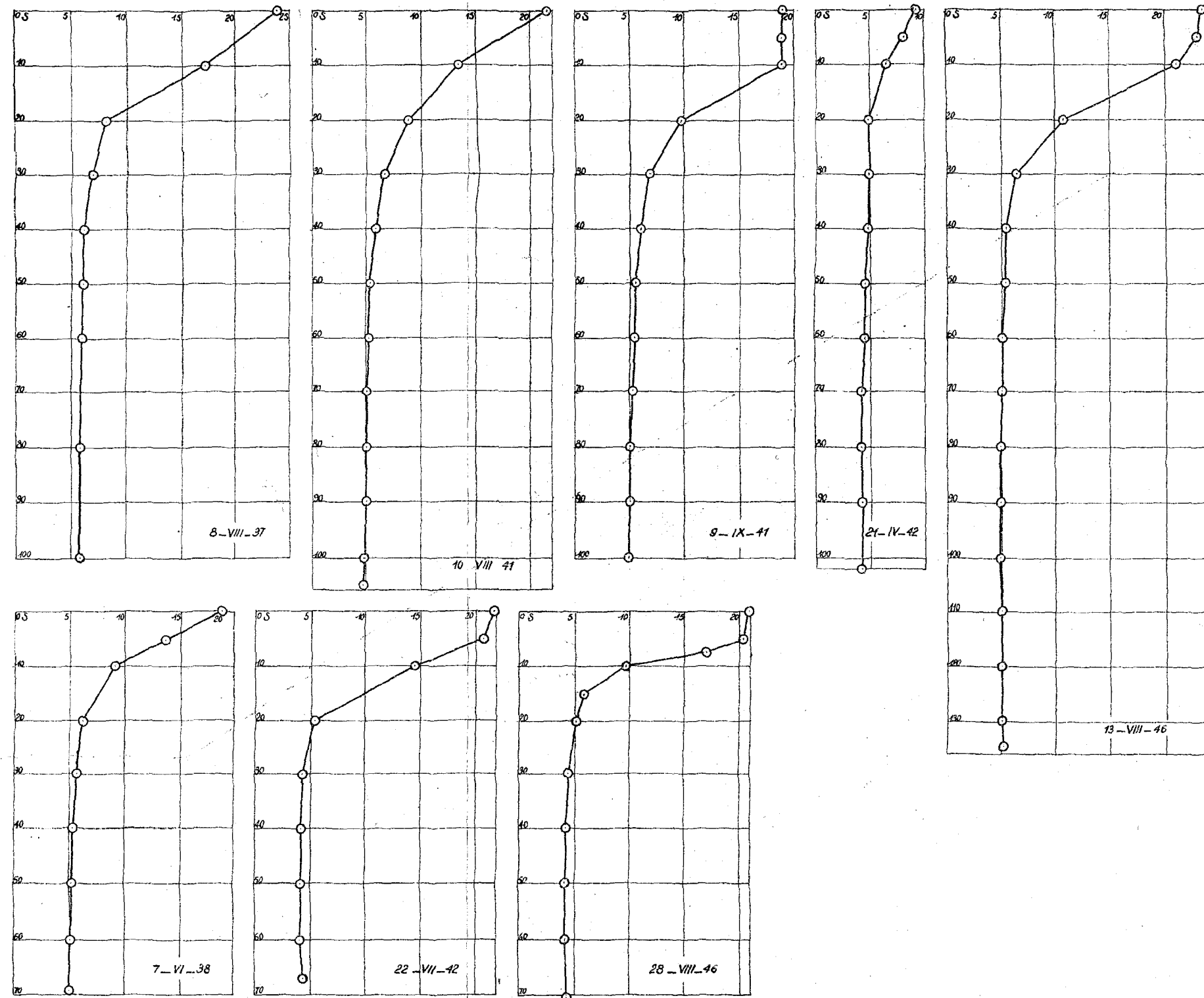


## PLANCHE III TEMPERATURES



# LAC D'AGUEBELETTE Bassin principal

# LAC DU BOURGET TEMPERATURES (Suite)



## LAC D'AIGUEBELETTE, Bassin principal TEMPERATURES (Suite)

# LAC LEMAN pH, O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> libre, dissous

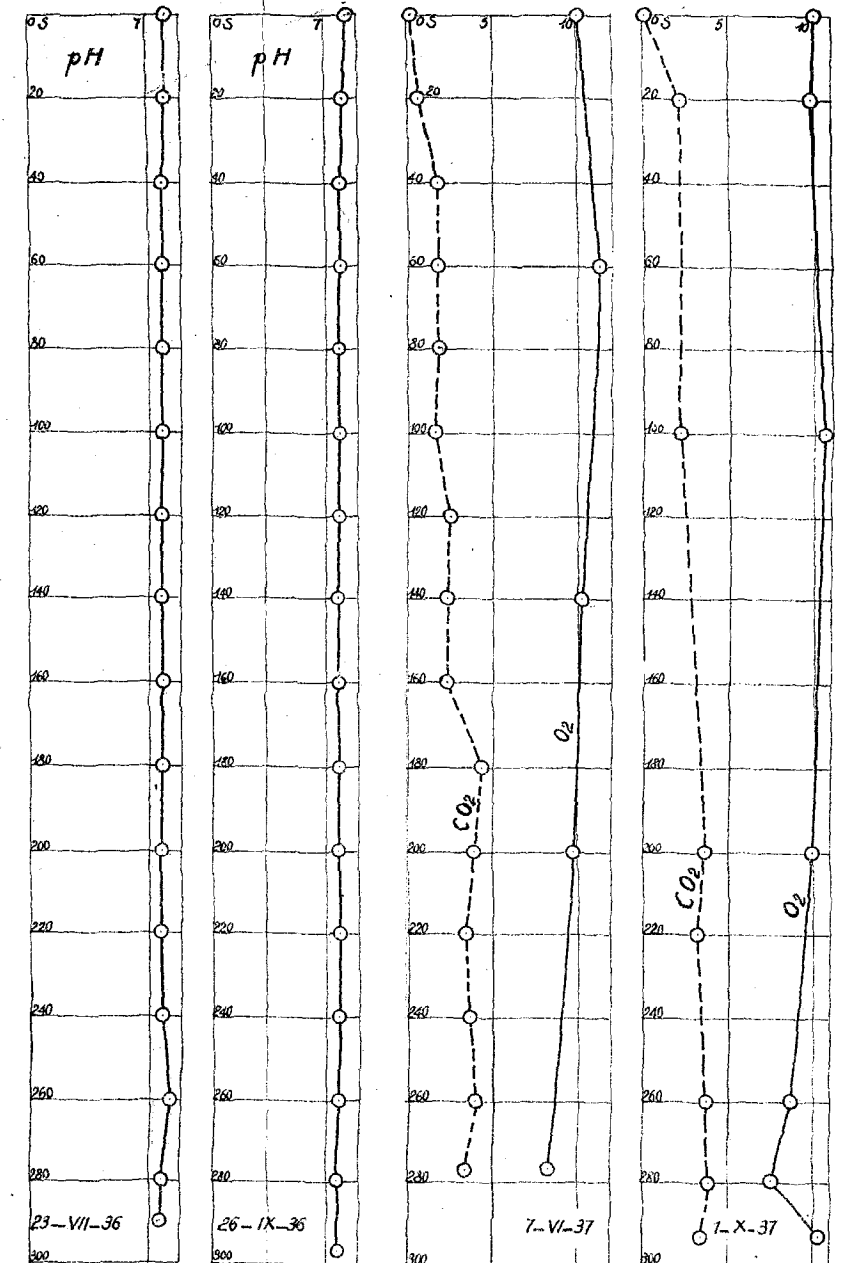
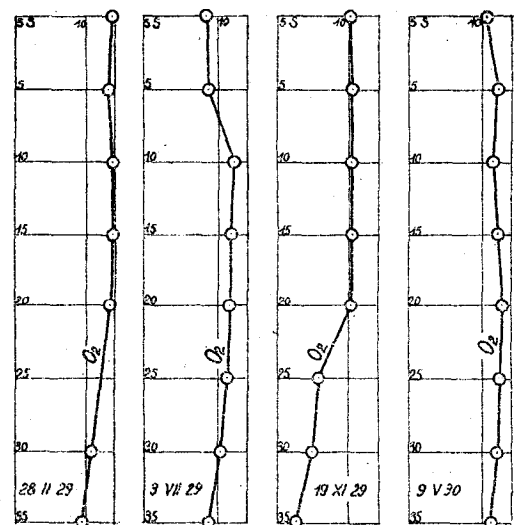


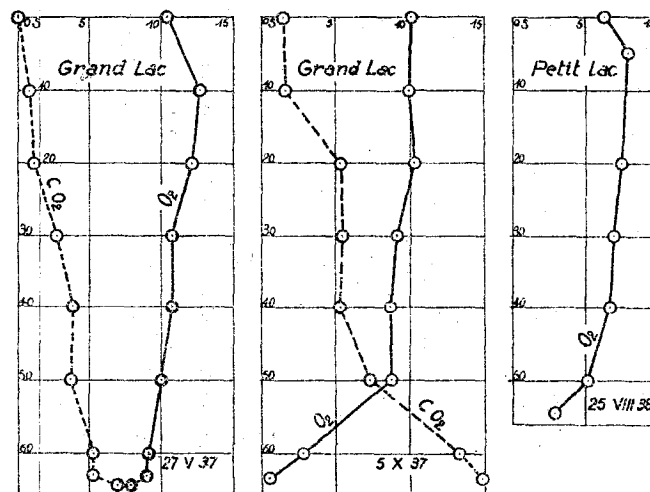
PLANCHE IV



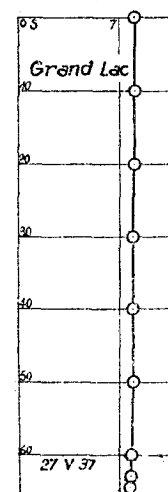
LAC DE GERARDMER Oxygène dissous



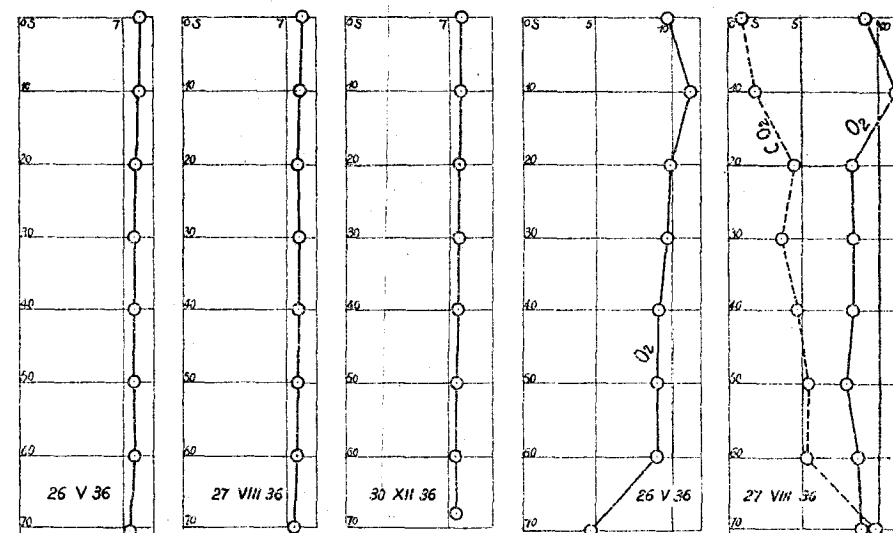
LAC D'ANNEY Oxygène et CO<sub>2</sub> dissous



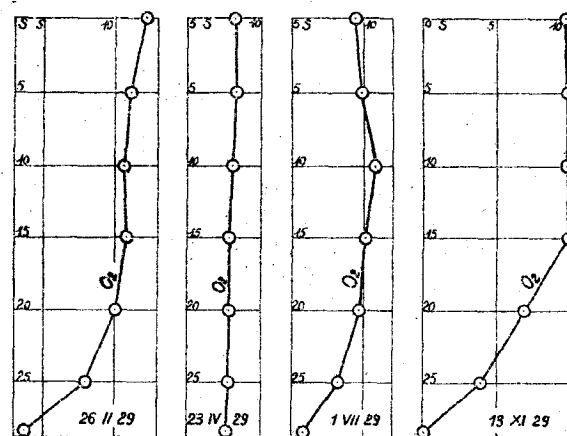
le pH



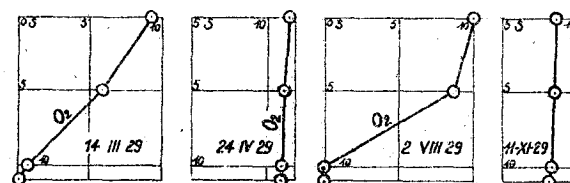
LAC D'AIGUEBELETTE, Bassin principal  
le pH en 1936  
Oxygène et gaz carbonique dissous



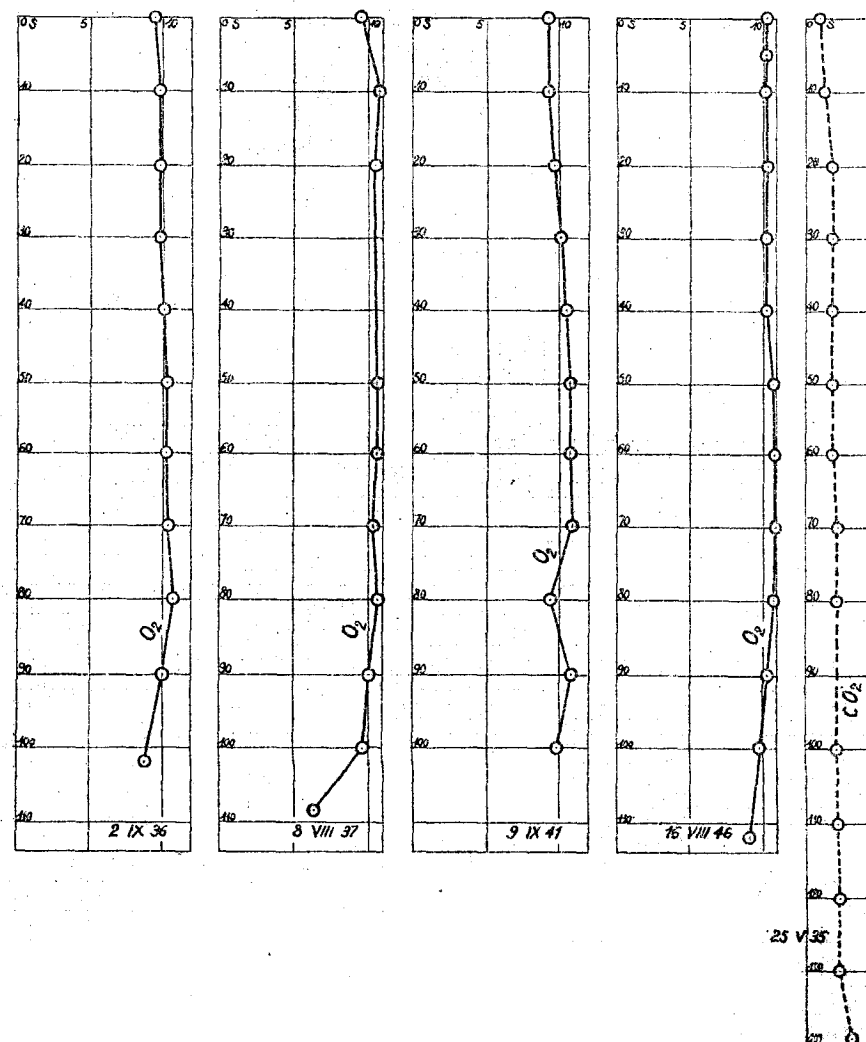
LAC DE LONGEMER Oxygène dissous



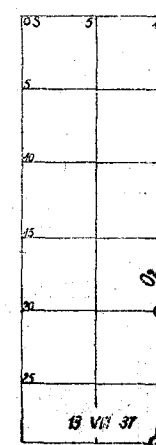
LAC DE RETOURNEMER Oxygène dissous



LAC DU BOURGET Oxygène dissous et CO<sub>2</sub> libre



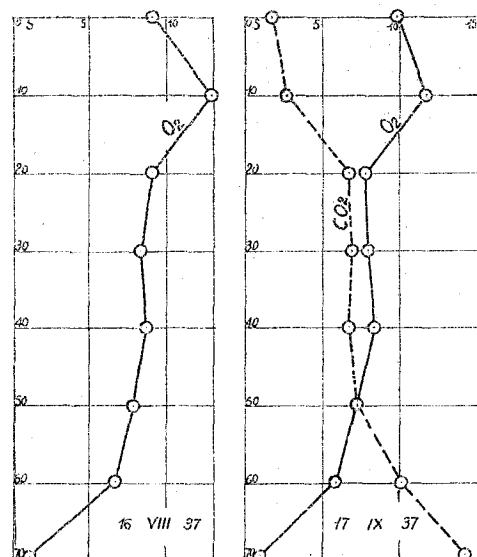
LAC D'AIGUEBELETTE (Suite) Bassin principal



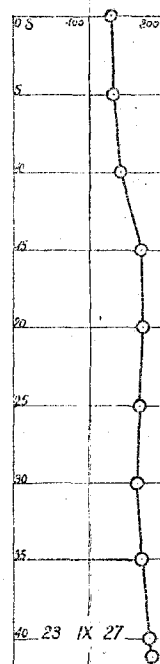
LAC DE TIGNES  
Oxygène dissous

PLANCHE V

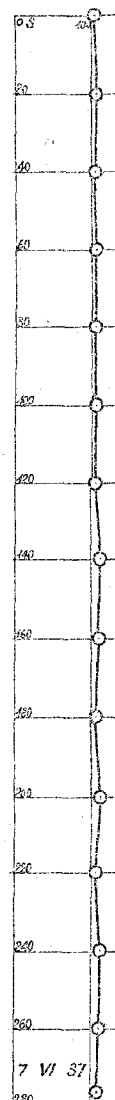
LAC D'AIGUEBELETTE (suite)  
Bassin principal, O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> dissous



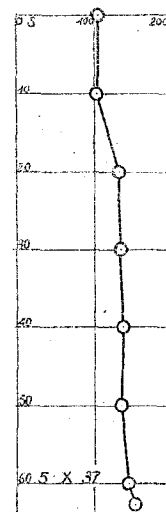
LAC DE NANTUA  
C O<sub>2</sub> semicombiné



LAC LEMAN  
C O<sub>2</sub> semicombiné

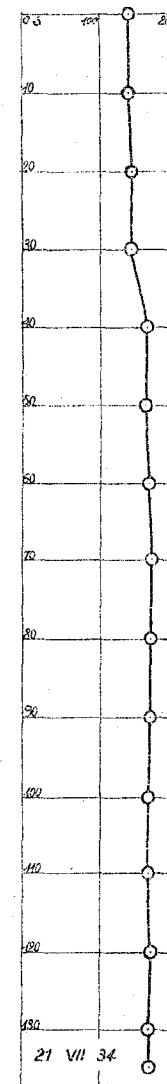


LAC D'ANNEY  
C O<sub>2</sub> semicombiné

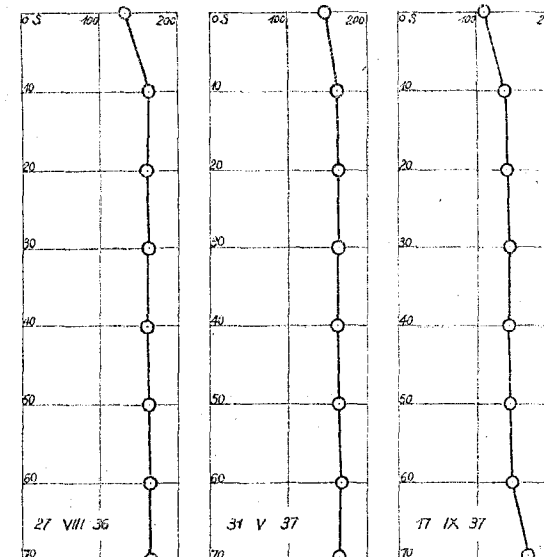


Grand lac

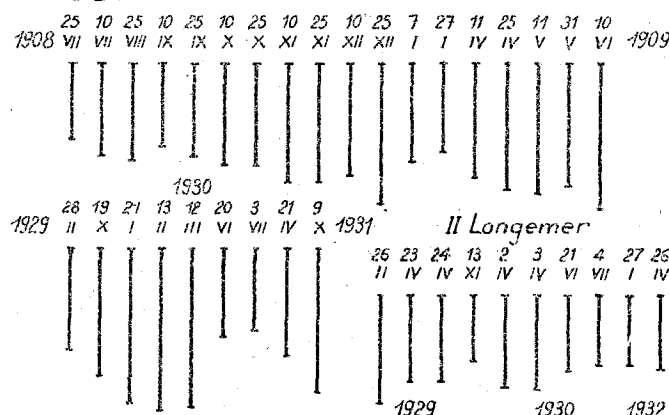
LAC DU BOURGET  
Alcalinité totale



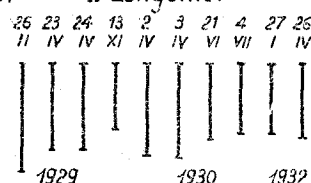
LAC D'AIGUEBELETTE, Bassin principal  
C O<sub>2</sub> semicombiné



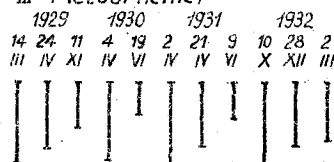
Transparence des eaux au disque de Secchi.  
I Gérardmer



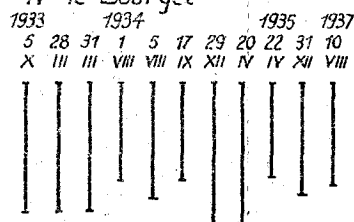
II Longemer



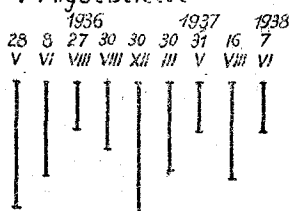
III Retournemer



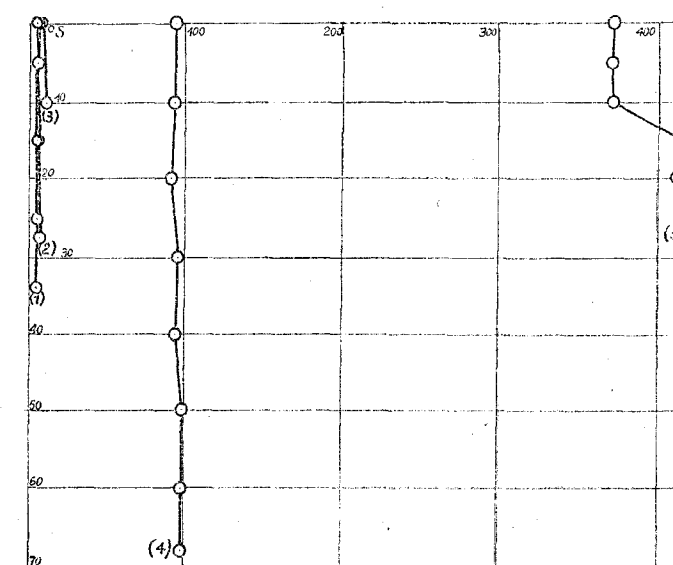
IV le Bourget



V Aiguebelette

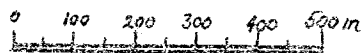


Comparaison des quantités totales de substances dissoutes  
au moyen des degrés interférométriques dans certains des  
lacs étudiés

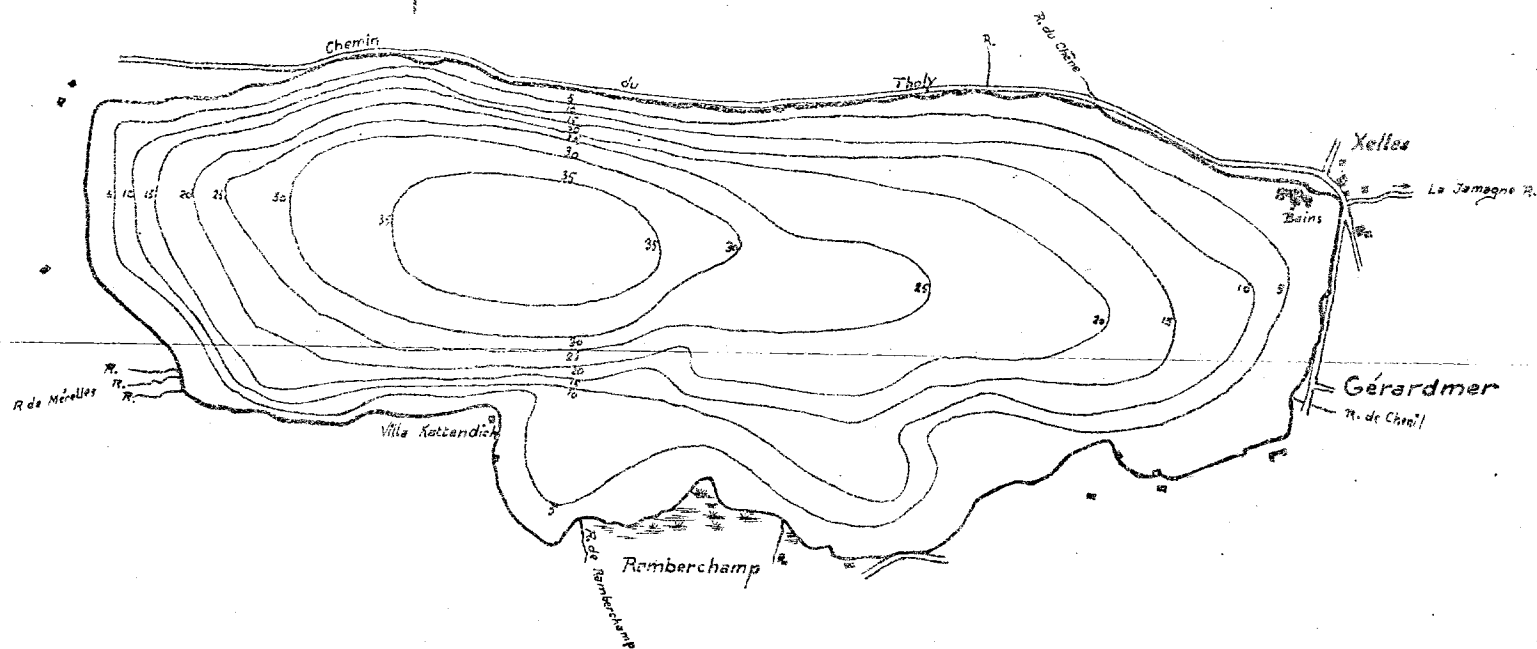


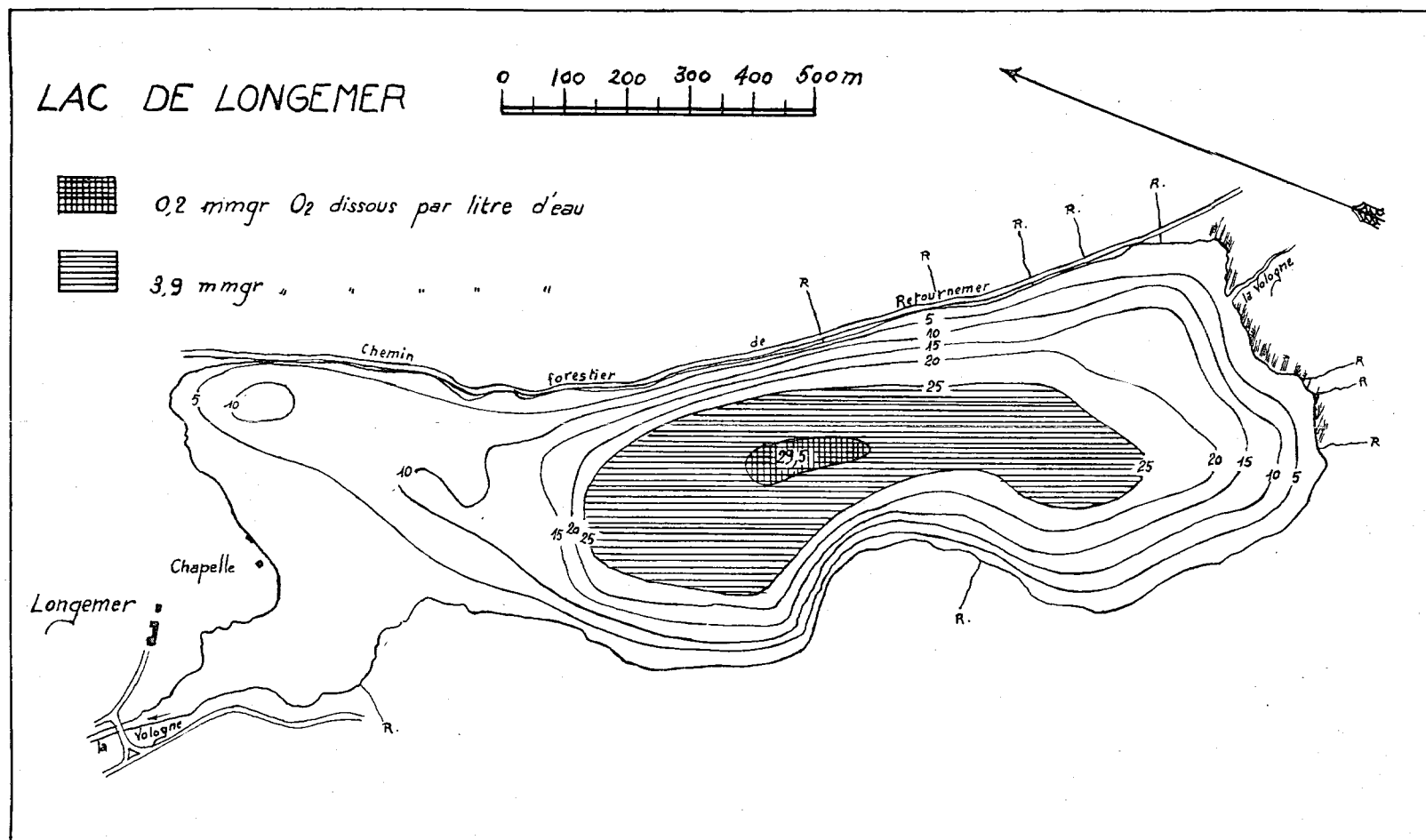
Les lacs des Vosges en terrains granitiques (1) Gérardmer,  
(2) Longemer, (3) Retournemer.  
Un lac en terrains calcaires: (4) Aiguebelette.  
Un lac en terrains gypseux (5) Tignes.

LAC DE GÉRARDMER

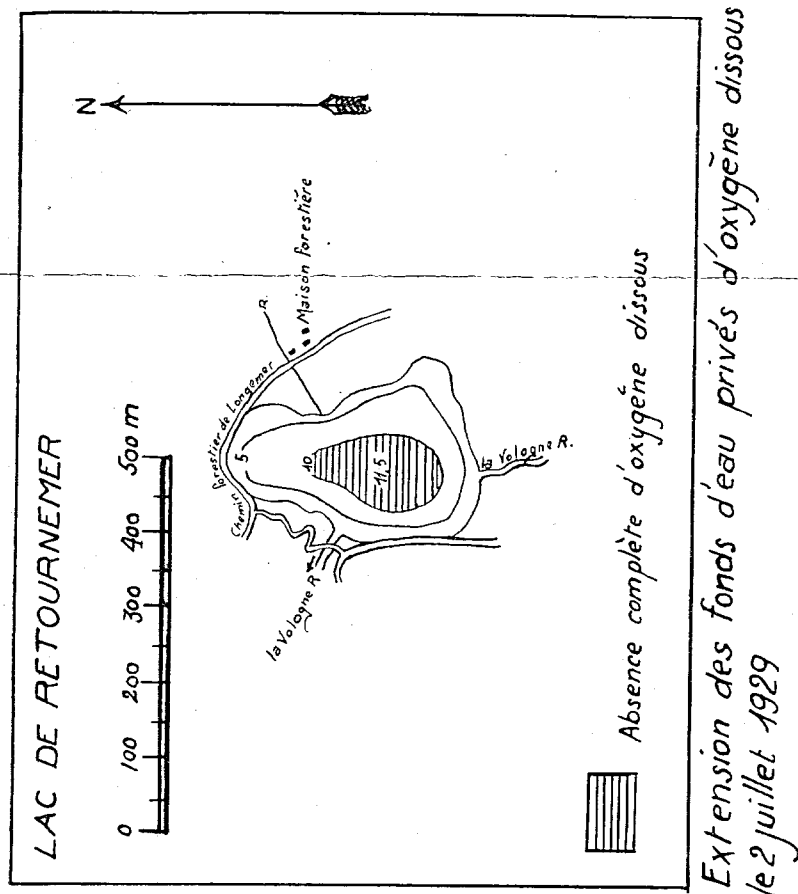


N

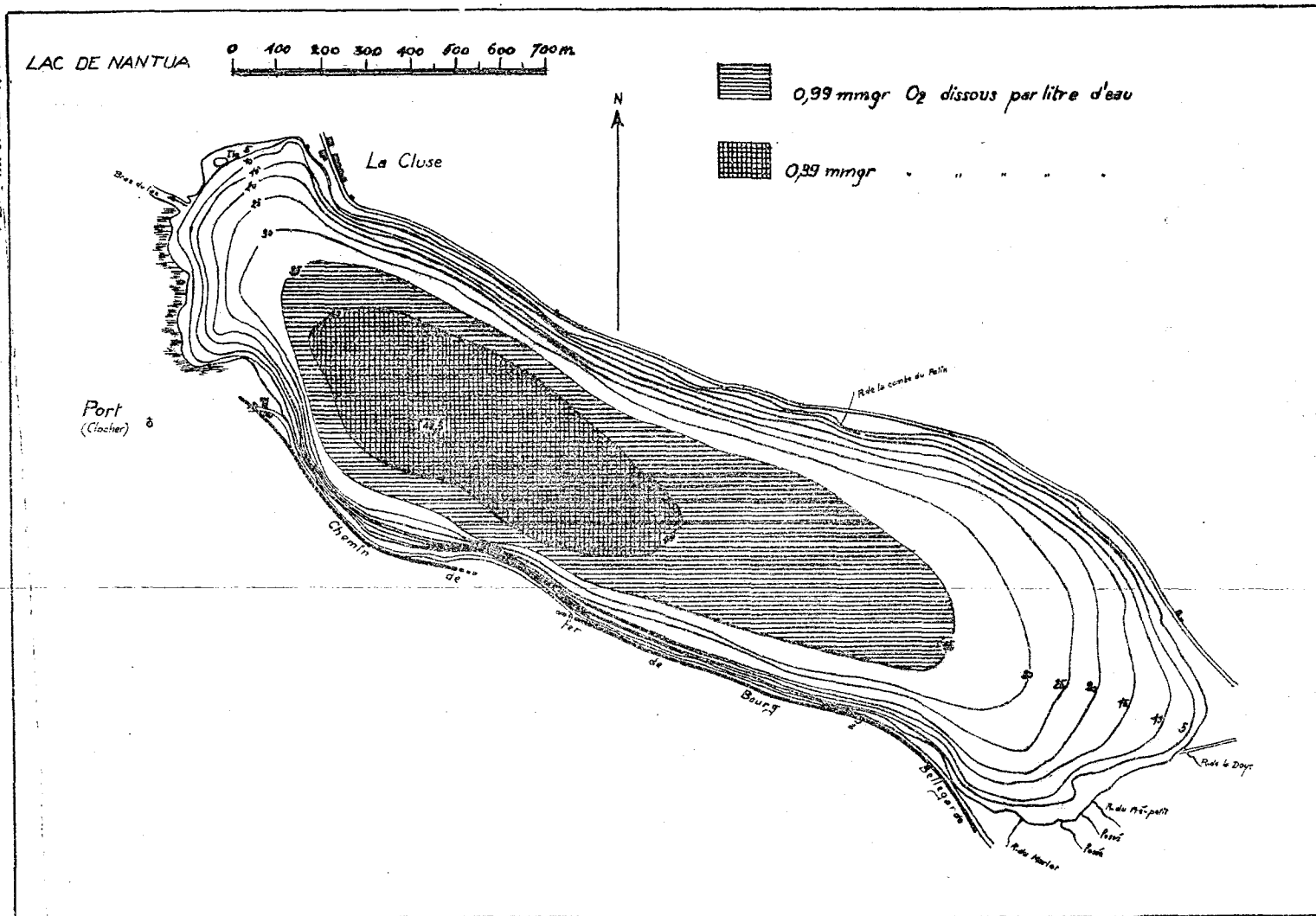




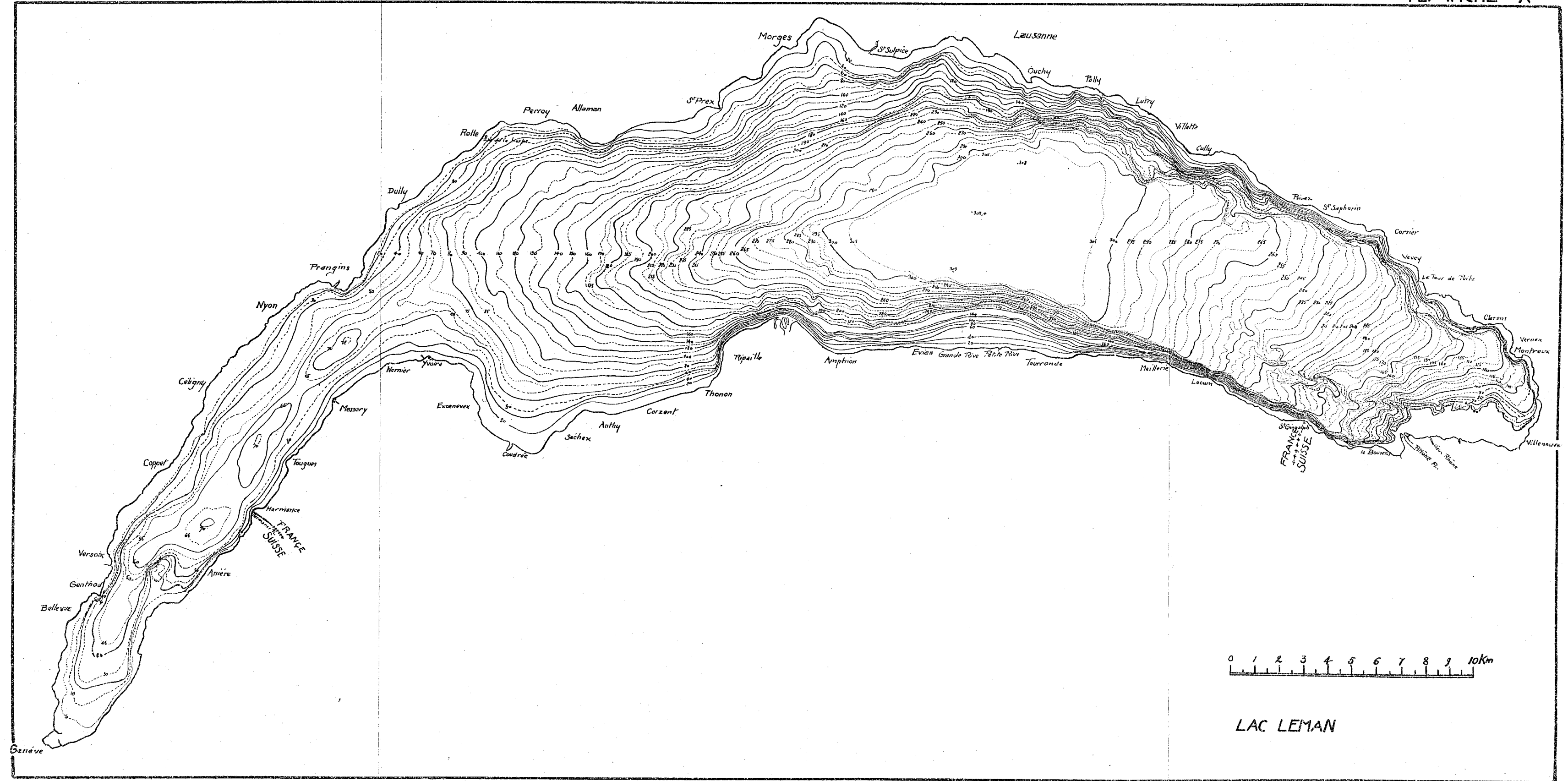
Extension schématique des fonds d'eau pauvres en  $O_2$  dissous le 13 novembre 1929



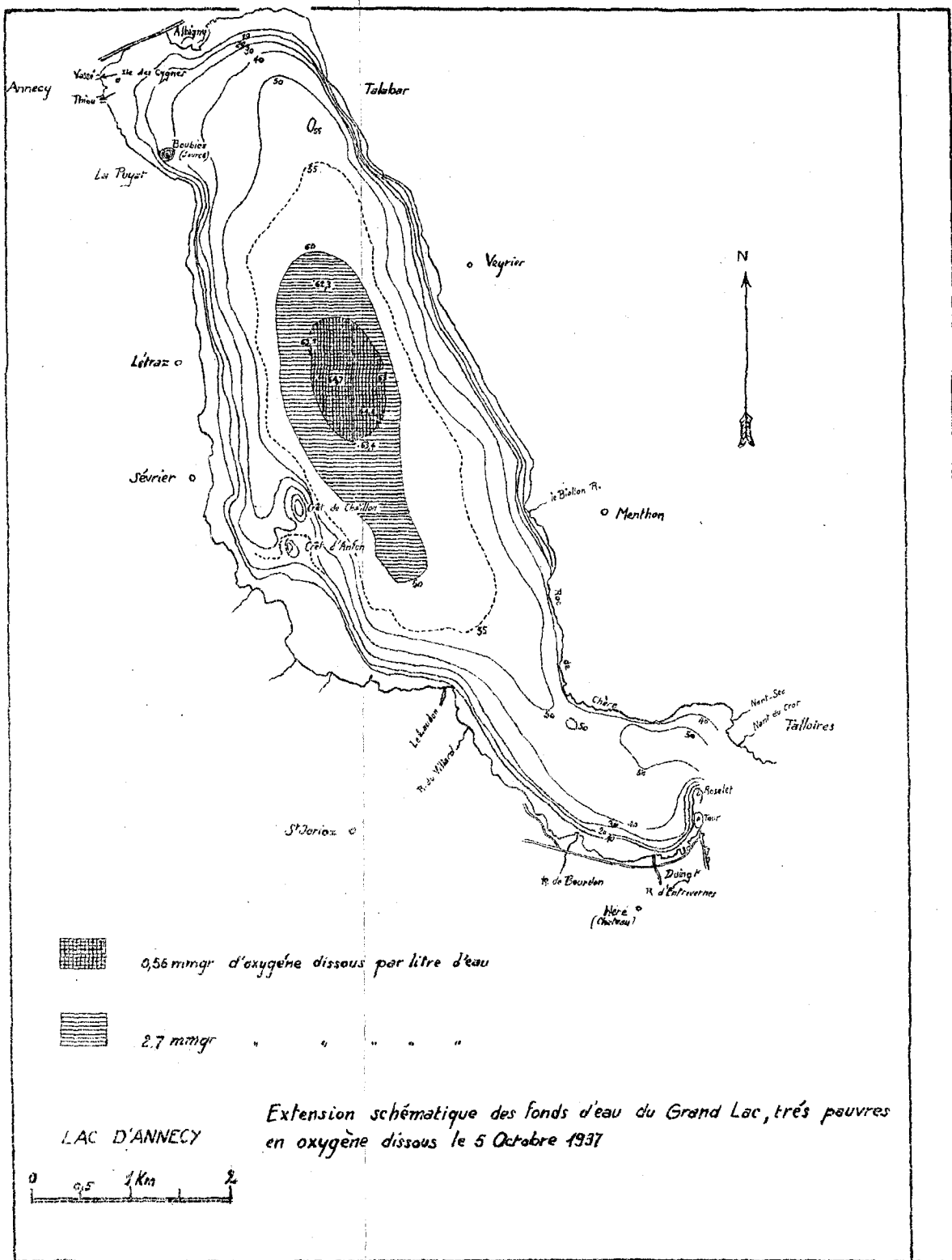
Extension des fonds d'eau privés d'oxygène dissous le 2 juillet 1929



Extension schématique des fonds d'eau pauvres en oxygène dissous le 23 septembre 1997



# PLANCHE XI



# PLANCHE XII

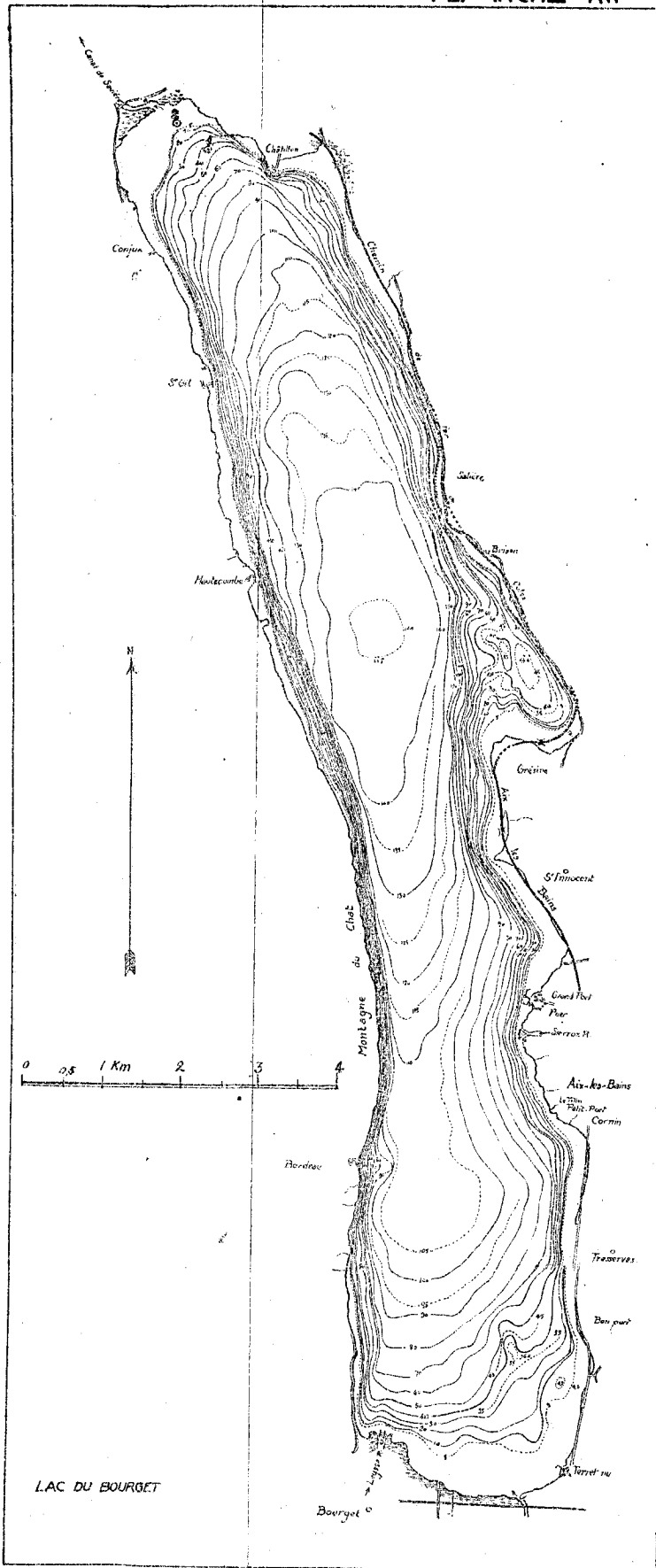








Fig. 1.

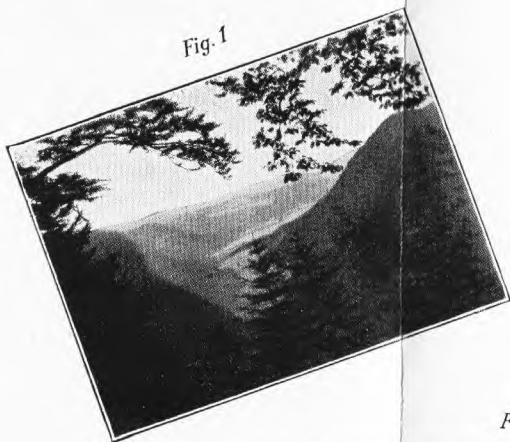


Fig. 2.



PLANCHE XVI.

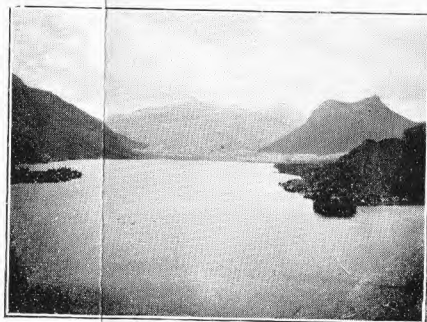
*Fig. 1*



*Fig. 2*



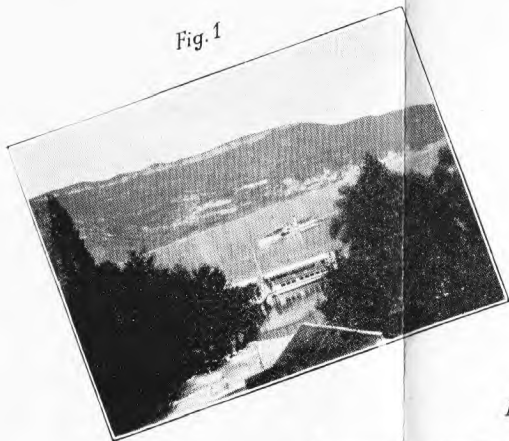
*Fig. 3*



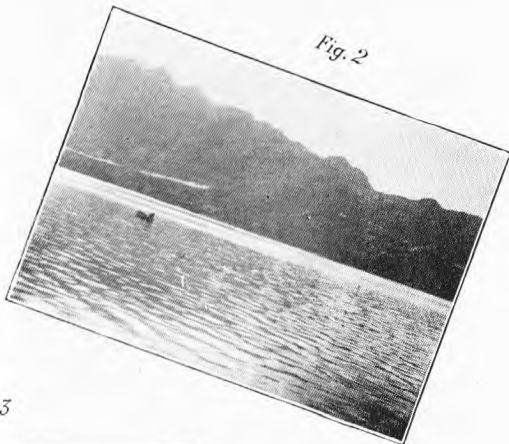
*Fig. 4*



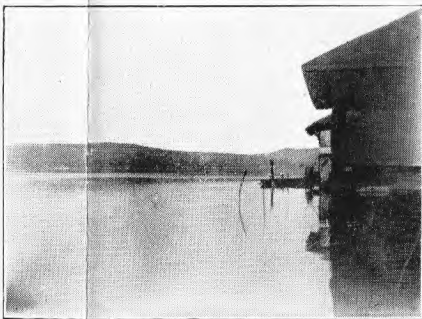
*Fig. 1*



*Fig. 2*



*Fig. 3*



*Fig. 4*