

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 14 (1875-1877)  
**Heft:** 75

**Artikel:** Matériaux pour servir à l'étude de la faune profonde du Lac Léman. Part  
2  
**Autor:** Forel, F.-A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-258465>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.04.2026

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

## MATÉRIAUX

POUR SERVIR A L'ÉTUDE DE LA

# FAUNE PROFONDE DU LAC LÉMAN

par le Dr **F.-A. Forel**

Professeur à l'Académie de Lausanne.

—  
2<sup>e</sup> Série.

—  
**AVANT - PROPOS.**

Dans l'avant-propos de la 1<sup>re</sup> série de ces matériaux, publiée en février 1874,<sup>(1)</sup> j'ai indiqué le plan d'études que j'ai cru devoir adopter. J'ai dit que, me trouvant en présence d'un champ immense de faits nouveaux, appartenant à toutes les branches de l'histoire naturelle, et ne me sentant pas la force de les étudier tous moi-même, j'ai été heureux de pouvoir m'appuyer sur l'aide et l'assistance que m'ont accordées divers naturalistes, mes maîtres et mes amis. Des spécialistes distingués ont bien voulu répondre à mon appel, et dévouant à ces études leurs lumières et leur expérience, se charger, chacun pour ce qui le regarde, d'un chapitre de ces recherches. Qu'ils

(<sup>1</sup>) Bull. Soc. vaud. sc. nat. t. XIII, p. 1 à 164. Lausanne 1874. Librairie Rouge et Dubois.

reçoivent ici l'expression de ma reconnaissance pour l'appui qu'ils m'ont si obligeamment accordé.

C'est ainsi que dans notre 1<sup>re</sup> série, 22 paragraphes différents dûs à la collaboration de 14 naturalistes nous ont permis d'étudier sous divers points de vue chimiques, physiques, zoologiques et botaniques l'existence et les conditions de la vie dans les profondeurs de notre lac.

Nous aurons souvent à citer dans cette seconde série les paragraphes déjà étudiés ; je crois donc devoir en rappeler ici les titres en regard de leurs numéros d'ordre.

*Forel.* Avant-propos.

§§ I — Topographie du Léman.

II — Nature du fond.

III *Risler et Walther.* Limon du fond du lac, analyses chimiques.

IV *Forel.* Méthode de dragage.

V — Recherche des animaux.

VI — Conditions de milieu.

VII — Recherches photographiques sur la transparence de l'eau.

VIII *H. Chatelanat.* Migrations des poissons du Léman.

IX *Forel.* Sondages thermométriques.

X *Forel et G. du Plessis.* Esquisse de la faune profonde du Léman.

XI *Forel.* Aperçus de géographie zoologique.

XII *D. Monnier.* Larves d'insectes.

XIII *H. Lebert.* Hydrachnides (*Campognatha Foreli*).

XIV *H. Vernet.* Entomostracés.

XV *A. Brot.* Mollusques (*Limnaeus abyssicola*).

XVI *G. du Plessis.* Turbellariés (*Vortex Lemani*).

XVII *J.-B. Schnetzler.* Algues.

XVIII *J. Kübler*. Diatomées.

XIX *Forel, C. Vogt, J.-B. Schnetzler*. Feutre organique.

XX *S. Clessin*. Pisidiums.

XXI *Forel*. Liste provisoire des espèces animales et végétales.

XXII — Dragages dans quelques lacs suisses.

Nous allons continuer ces recherches en publiant cette deuxième série de la même manière et dans les mêmes conditions et nous rappellerons seulement ici les deux principes qui nous ont guidés dans la liberté réservée à chaque collaborateur pour ses études.

Premièrement : chaque travail est publié sous le nom et sous la responsabilité de son auteur.

Deuxièmement : toutes les descriptions et études que nous publions dans ces rapports étant des comptes-rendus de travaux en voie d'exécution, doivent être au bénéfice de cette condition. Nous nous réservons le droit et la faculté de les modifier, de les corriger et de les compléter dans des rapports subséquents et pour chacun d'eux nous réservons les corrections, modifications et compléments que nous-mêmes y apporterons.

Quelques réflexions générales peuvent dès à présent résumer le point où ces études nous ont amenés.

Nous reconnaissons dans nos lacs d'eau douce l'existence de trois faunes bien distinctes et bien séparées, à savoir :

1<sup>o</sup> *La faune littorale* comprenant les animaux qui vivent près des rives, à la surface de l'eau ou à une profondeur ne dépassant pas 4 à 5 mètres. Les conditions de milieu peuvent se caractériser ainsi : Fond rocailleux ou vaseux,

exposé à la lumière, à des variations considérables de température, à l'agitation des vagues, pression faible, présence en été d'une riche végétation de plantes aquatiques, d'où nourriture abondante pour les animaux. C'est la faune lacustre classique, la seule connue jusqu'aux dix dernières années.

2<sup>o</sup> *La faune pélagique* comprenant les animaux qui vivent en plein lac, loin des rives, à la surface ou entre deux eaux. Les conditions de milieu sont : Pression variable<sup>(1)</sup>, lumière brillante, température variable, agitation de l'eau nulle (ou du moins possibilité d'échapper absolument à l'agitation de l'eau), flore nulle. Nourriture très pauvre.

3<sup>o</sup> *La faune profonde* comprenant les animaux qui vivent sur le fond, à des profondeurs supérieures à 25 ou 30 mètres<sup>(2)</sup>. Les conditions de milieu sont entr'autres les suivantes : Pression considérable, température basse et invariable, lumière nulle, agitation nulle, flore nulle, nourriture moyennement abondante.

De ces trois faunes, la première est la plus riche ; elle est composée d'une manière générale de tous les types lacustres connus jusqu'à présent. La faune profonde vient ensuite au point de vue de l'abondance des formes ; il y manque quelques types (insectes aquatiques, naïades, hirudinés limicoles, etc.), mais cependant la plupart des fa-

(1) La pression est variable parce que, comme nous le verrons plus loin, les animaux pélagiques font varier leur habitat aux différentes heures de la journée.

(2) Pour les profondeurs intermédiaires entre 5 et 30 mètres, j'établirai peut-être un jour l'existence aussi d'un groupe spécial d'animaux qui vivent loin de l'agitation des vagues de la rive, mais encore dans la région éclairée. Je n'ai pas encore assez de faits pour affirmer cette distinction.

milles d'animaux d'eau douce y sont représentées par un ou deux genres, peu riches en espèces, mais quelques-uns assez riches en individus. Quant à la faune pélagique elle ne comprend que 6 à 8 espèces d'entomostracés, mais chacune de ces formes est représentée par des myriades d'individus.

Ce qu'il y a de plus frappant à première vue quant aux types de ces trois faunes, c'est d'une part la similitude générale qui existe entre les faunes littorale et profonde, et d'une autre part le caractère tout à fait étrange et aberrant de quelques-unes des espèces de la faune pélagique.

Nous laisserons pour le moment de côté cette faune pélagique et nous ne nous occuperons que des rapports étroits qui unissent les deux autres faunes lacustres. Ces relations sont tellement évidentes que l'on doit avant tout se poser la question : existe-t-il réellement une faune profonde? Les animaux qui habitent dans les grands fonds du lac sont-ils assez différents, présentent-ils des caractères assez divergents de ceux des animaux côtiers pour qu'on doive les décrire sous le nom de faune spéciale?

A cette question, je répondrai de trois manières :

Je dirai d'abord que les conditions de milieu, telles que nous les avons étudiées dans mon Introduction, p. 2 <sup>(1)</sup> et dans le § VI de ma première série, ces conditions sont assez spéciales, assez différentes de celles des autres régions du lac pour justifier à ce point de vue la création d'une faune spéciale.

Je dirai ensuite que les formes de la faune profonde et celles de la faune littorale ne sont pas identiques. Une ou deux espèces seulement se retrouvent dans les deux ré-

(<sup>1</sup>) Bull. Soc. vaud. Sc. nat. t. X, p. 218.

gions sans modifications jusqu'à présent reconnues (larves d'insectes, *Vortex (Planaria) Lemani*; quelques formes sont assez modifiées pour mériter d'être décrites comme variétés: *Limnaeus stagnalis*, *Valvata obtusa*, *Dendrocoelum lacteum*, *Hydra rubra*. Mais le plus grand nombre des animaux sont assez différents pour nécessiter des noms et des descriptions spéciales. Il y a donc au point de vue morphologique spécialisation des deux faunes.

Je dirai enfin que les modifications qu'ont subies les espèces de la faune profonde sont assez semblables dans les différents types animaux pour que je puisse déterminer les caractères généraux de la faune profonde et les formuler ainsi :

1<sup>o</sup> Les animaux de la faune profonde sont remarquables par leur petitesse : *Limnaeus*, *Pisidium*, *Gammarus*, *Asellus*, *Campognatha*, *Lynceus*, *Hydra*.

2<sup>o</sup> Ils présentent en général une coloration terne. Quelques-uns sont d'un blanc plus ou moins mat : *Gammarus*, *Asellus*, *Vortex*. D'autres sont colorés, mais plus pâles que les formes littorales : *Planaria*, *Hydra*.

3<sup>o</sup> Quelques-uns sont aveugles. Ce caractère n'est point général; je ne trouve que chez deux crustacés et chez quelques individus de deux espèces de Planaires ce signe de l'adaptation complète à un milieu absolument obscur; les autres espèces possèdent encore les yeux. Je constate à ce point de vue de la cécité ces mêmes faits inconciliables et inexplicables qui étonnent dans l'Océan austral les naturalistes du Challenger; à 30 mètres de profondeur, dans une région où certainement la lumière pénètre encore, je trouve, dans le Léman, des animaux aveugles; d'un autre côté, dans des fonds où probablement jamais la lumière n'arrive, par 300 mètres de profondeur, je

trouve d'autres crustacés, des mollusques, des arachnides, etc., avec des yeux très normalement développés, des animaux voyant, ou du moins munis des organes de la vision. Quoiqu'il en soit de l'interprétation de ces faits en apparence inconciliables, la cécité plus ou moins absolue peut être donnée comme étant un caractère offert par quelques espèces de la faune profonde.

4<sup>o</sup> Le peu de mobilité des espèces non fixées. Les animaux normalement nageurs nagent peu ou nagent mal. Les cyclops, les lyncées ne s'élèvent pas dans l'eau; placés dans un aquarium, ils sautent, ils marchent, ils ne s'élèvent pas entre deux eaux; la Campognathe n'est pas capable de s'élever en nageant.

5<sup>o</sup> L'absence d'organes fixateurs. Ces animaux vivant dans un repos absolu; le milieu toujours calme dans lequel ils sont appelés à se mouvoir, leur rend inutiles tous les moyens de fixation beaucoup mieux développés chez les espèces côtières. La *Piscicola* fait seule exception par ses ventouses terminales, mais le mode de vie parasite de cet animal explique suffisamment la présence d'organes qui lui permettent d'adhérer au corps des poissons.

6<sup>o</sup> Un bryzoaire du genre *Fredericelle*, dont la forme littorale parallèle se fixe sur les pierres et les plantes aquatiques, ne trouvant, dans le limon des grands fonds, aucun appui solide, étend librement son polypier arborescent en prenant insertion dans la vase molle.

Ces caractères sont assez particuliers et distincts pour justifier notre appellation de faune spéciale pour les animaux qui habitent les grandes profondeurs du lac.

Mais si ces animaux sont assez modifiés par leur habitat dans le milieu spécial des grands fonds pour que nous

les distinguons facilement des habitants des bords du lac, cependant ils leur ressemblent d'une manière générale et ils ne présentent pas des types tellement disparates et tellement anormaux que nous ayons à chercher ailleurs l'origine de notre faune profonde. C'est par différenciation des formes superficielles que les formes profondes ont été produites. Comment et de quelle manière a pu se produire cette descendance et cette différenciation, c'est ce qu'il nous reste à examiner.

J'ai dit dans l'avant-propos de ma 1<sup>re</sup> série comment nos faunes lacustres modernes descendent toutes d'émigrés qui sont entrés en Suisse après la fonte des glaciers de la grande période glaciaire.

Cherchons à comprendre et à nous représenter cette immigration des formes aquatiques qui nous occupent actuellement? Des individus isolés des espèces aquatiques qui habitaient les ruisseaux et fleuves des plaines basses de la France, de l'Allemagne, de l'Autriche et de l'Italie, ont pu remonter les fleuves et rivières ayant leur source en Suisse et d'un affluent à l'autre, d'un étang à l'autre, d'un lac à l'autre, progressivement et successivement venir repeupler toutes ces eaux pendant si longtemps mortes et glacées. Mais s'il nous est possible de comprendre ce mode de migration pour les espèces de rivière, si nous pouvons nous expliquer comment une forme animale adaptée à la lutte contre le courant peut remonter le cours d'un fleuve et repeupler des eaux supérieures, l'explication devient fort difficile du moment qu'il s'agit d'espèces lacustres. Ces dernières, en effet, sont adaptées à l'habitat dans une eau calme et tranquille, agitée peut-être de temps en temps par les vagues du vent, mais ne présentant jamais des courants continus d'une certaine

intensité. Encore s'il s'agissait de peupler les eaux en descendant le courant, si l'on avait à expliquer comment un lac supérieur envoie des colonies dans un lac inférieur, il n'y aurait aucune difficulté; un individu ou un œuf fécondé peuvent en effet être entraînés par le courant. Mais en remontant le cours de l'eau, la chose semble presque impossible.

Si je n'exagère pas ces obstacles, si mon raisonnement est exact, il n'y a d'autre possibilité pour expliquer l'origine de nos faunes lacustres que la marche suivante : Les espèces fluviatiles capables de lutter contre le courant, en nageant, en rampant, en marchant sur le fond ont remonté jusque dans les lacs; là elles se sont modifiées et transformées pour se prêter aux nouvelles conditions de milieu. Les unes sont restées près de la côte et armées d'organes fixateurs pour n'être pas arrachées par les vagues et brisées contre la grève, elles sont devenues la faune littorale; les autres ont été entraînées en plein lac et ont développé leurs organes natateurs pour devenir capables de flotter dans l'eau sans jamais se reposer<sup>(1)</sup>; les autres enfin pénétrant dans les grands fonds dans un milieu calme et pauvre, sans mouvement, sans chaleur, sans lumière, y sont devenues les espèces petites, ternes et paresseuses de notre faune profonde.

Les faunes ont donc dû se différencier dans nos lacs pour s'adapter aux nouvelles conditions du milieu.

Mais, et c'est là un point important et capital, cette différenciation a dû se faire isolément dans chaque lac.

(<sup>1</sup>) Nous verrons plus loin comment quelques espèces de la faune pélagique, si ce n'est toutes, ont été transportées dans nos lacs, déjà différenciées; comment, par conséquent, cette différenciation s'est faite bien loin de chez nous.

Les lacs ne sont pas en communication directe les uns avec les autres ; même ceux qui sont alimentés par les mêmes eaux et qui sont sur le cours de la même rivière sont séparés au point de vue qui nous occupe par des eaux courantes ; à plus forte raison les lacs qui sont dans deux vallées distinctes et nourris par deux fleuves différents. Il n'y a pas de communication lacustre entre le Léman et les lacs de Neuchâtel, de Thoune et de Constance. Si donc il y a eu différenciation des formes animales dans les lacs, cette différenciation se sera faite dans chaque lac d'une manière isolée ; chaque bassin a dû être un centre spécial de différenciation.

Voici comment nous comprendrions l'action opposée des deux grands facteurs qui président à cette différenciation.

D'une part les actions modificatrices sont très sensiblement les mêmes d'un lac à l'autre ; les conditions de pression, de température, de lumière, de repos varient peu dans les différents bassins. Il en résulte que les modifications produites par l'action du milieu doivent partout être assez analogues ; les causes étant à peu près identiques, les effets seront assez semblables. Et dans le fait les caractères généraux des faunes profondes des divers lacs sont partout les mêmes : petitesse, couleur terne, etc.

D'une autre part la différenciation s'est faite dans chaque lac d'une manière isolée. Les lacs ne communiquent pas entre eux par leurs eaux profondes ; il ne peut donc pas y avoir de croisements, de rapports, de mélange entre les espèces en voie de modification dans les profondeurs. En restant donc sous les mêmes influences générales qui les auront fait varier d'une manière plus ou moins analogue, les détails pourront différer.

En combinant ces deux conclusions, nous formulerons comme suit la manière dont nous comprenons l'action de différenciation des faunes : La même espèce des faunes fluviatile ou littorale donnera naissance à une série de variétés de la faune profonde, distinctes dans chaque lac, toutes ces variétés appartenant au même groupe dans l'espèce primitive.

Cette manière de faire la part des deux facteurs de l'action différenciatrice est simple; elle est facilement admissible. Elle rend bien compte des faits généraux, elle s'accommode bien aux conditions de développement et correspond assez bien aux faits observés. Puis-je la donner comme étant un point définitivement acquis ? Le raisonnement m'y conduit; quelques-uns des faits observés jusqu'à présent tendent à confirmer ces vues : par exemple entre autres, les variétés profondes des Limnées, Valvées, Pisidiums, Fredericelle, Dendrocoelums, Vortex, Hydre, etc., semblent être des modifications des formes littorales analogues. Mais d'un autre côté nous devons reconnaître que certains faits semblent être encore inexplicables et l'on ne peut se rendre compte de l'origine de certaines espèces, dans l'état actuel de nos connaissances sur les faunes superficielles, par de simples variations locales. Ainsi : l'Hydrachnide dont M. Lebert a été conduit à faire le type d'un genre nouveau, *Campognatha* (Voy. § XIII) ne trouvant point d'analogue dans les formes déjà connues <sup>(1)</sup>. Ainsi le *Gammarus* aveugle dont M. A. Humbert formule comme suit les relations : « Indé-

(<sup>1</sup>) M. du Plessis a découvert une seconde espèce de ce même genre dans la Méditerranée, à Villefranche et à Saint-Tropez.

pendamment de la question de cécité ce *Gammarus* ressemble plus aux *Gammarus* aveugles des puits et des cavernes de l'Allemagne, de l'Angleterre, etc., qu'à aucune des autres espèces connues dans notre pays.» Ainsi encore le *Lynceus lamellatus* qui a échappé à la recherche attentive de Jurine, et dont on peut par conséquent affirmer l'absence dans les mares, rivières et autres eaux superficielles de notre pays. Mais quel que doive être leur sort, comme ces théories sur la genèse des formes seront en définitive la conclusion générale à laquelle doit nous conduire l'étude complète des faunes lacustres de notre Suisse, ces faits demandent à être soigneusement constatés, établis et comparés.

Telle est l'étude à laquelle j'ai convié mes collaborateurs dans ces recherches, telle est la voie dans laquelle je suis heureux de pouvoir m'avancer en m'appuyant sur leur expérience et leur amitié.

Morges, octobre 1875.

Dr F.-A. F.

---

### § XXIII. **Topographie du Léman.**

Nous possédons actuellement trois cartes hydrographiques du lac Léman, l'une générale et donnant des sondages de tout le bassin, mais peu détaillée, les deux autres très exactes, très précises et très détaillées, mais ne figurant chacune qu'un petit district du lac. Ce sont :

1<sup>o</sup> La carte des sondes de l'anglais H. T. de la Bèche (<sup>1</sup>) qui, du 15 septembre au 1<sup>er</sup> octobre 1819, fit sur tout le lac un voyage de sondages bathymétriques et thermométriques. Il donna une cinquantaine de coups de sonde dans le petit lac et autant dans le grand lac. La carte qu'il a publiée permet de suivre le chemin qu'il a parcouru sur le lac, et indique ainsi les profils qu'il a mesurés. Je ne citerai que ce qui se rapporte au grand lac, en désignant les escales qu'il a faites successivement.

De Nyon à Thonon, à Morges, à Ouchy, à Meillerie, à Saint-Gingolph, à Vevey, à Chillon. Puis de Vevey à Rolle en suivant l'axe longitudinal du lac, et de Rolle à Yvoire.

2<sup>o</sup> La carte de M. Ph. Gosset levée en 1873 (<sup>2</sup>). Ingénieur au bureau topographique de l'état-major fédéral suisse, M. Gosset fut chargé de l'établissement des courbes de niveau sur les quatre feuilles de l'atlas des minutes de la carte de Suisse qui comprennent le lac Léman, de Saint-Sulpice à Saint-Saphorin sur la côte suisse et d'Evian à Saint-Gingolph sur la côte de Savoie. La surface ainsi levée occupe environ 200 kilomètres carrés; il y a été donné 1450 coups de sonde. La carte est au 25000<sup>e</sup> et les courbes horizontales qui figurent le relief sont séparées par une hauteur de 10 mètres.

3<sup>o</sup> La carte du petit lac, soit lac de Genève, établie en

(<sup>1</sup>) On the Depth an temperature, etc. Sur la profondeur et la température du lac de Genève. Lettre adressée au prof<sup>r</sup> Pictet par M. H.-T. de la Bèche. Bibl. univ. sc. et arts., t. XII, p. 118 sq. Genève 1819.

(<sup>2</sup>) Topographischer Atlas der Schweiz, in Maastab der Original-Aufnahmen. Feuilles 438 bis, 438 ter., 440 et 440 bis. Berne 1874.

F.-A. Forel. Carte hydrographique du lac Léman. Arch. des sc. ph. et nat. Genève, janvier 1875.

1874 et 1875 par M. le major Ed. Pictet de Genève (1). Cette carte très détaillée ne comprendra pour le moment que la partie du lac qui s'étend de Coppet et Hermance jusqu'à la sortie du Rhône à Genève; elle sera publiée au 12500<sup>e</sup> et les courbes équidistantes seront séparées par une hauteur de 5 mètres seulement.

C'est en utilisant ces trois cartes que j'essaierai de donner une idée du relief du bassin du lac. Une partie de cette description sera aussi certaine que peut l'être un travail de cette nature; c'est celle qui se base sur les cartes de MM. Gosset et Pictet; l'autre sera beaucoup plus hypothétique et conjecturale.

La plaine d'alluvion qui remplit la cluse du Rhône depuis St-Maurice au lac est coupée à angle droit de Villeneuve au Bouveret par la rive du Léman, sur laquelle le delta du Rhône fait une saillie d'un demi-kilomètre à peine. Cette grève est bordée par un blanc-fond (beine) (2), et un talus assez incliné conduit bientôt la sonde sur le fond même du lac; ce fond est de 70 à 80 mètres sur toute la largeur de la vallée.

A partir du pied de ce Mont, si nous suivons la largeur du lac, nous constatons l'existence d'une grande et large vallée, très faiblement inclinée, qui descend sans ac-

(1) Note sur la carte du lac de Genève, par M. Ed. Pictet. Arch. des sc. ph. et nat. Genève, janvier 1875. — Cette carte qui sera publiée prochainement, m'a été très obligeamment communiquée à l'état de minutes par son auteur.

(2) Les détails de cette *beine* sont très curieux et intéressants à étudier de Villeneuve aux bouches du Rhône. Le blanc-fond forme une série de caps sous-lacustres inclinés dans la direction de Chillon, et séparés par de l'eau bleue, le dernier de ces promontoires portant l'île de Peilz. Il y a là tendance évidente à la formation de *flèches* côtières.

cidents et sans détails jusqu'à la ligne de plus grande profondeur entre Ouchy et Evian. Cette vallée est remarquablement régulière.

Elle est bordée par deux talus plus ou moins inclinés suivant les localités. Les points de maximum de pente sont devant Rivaz au pied des Monts de Chexbres, sur la côte vaudoise et devant le Leucon entre Meillerie et St-Gingolph, où, à 500 mètres du rivage, la sonde donne 245 mètres de profondeur (4). Devant Evian et devant Ouchy à 3 kilomètres du rivage l'on atteint la profondeur de 315 mètres. Devant St-Sulpice pour arriver à ce fond il faut s'avancer de 5 kilomètres. Les talus ont donc une pente variant de 50 à 10 à 6 1/2 pour cent ; ils sont du reste très régulièrement inclinés et présentent en somme beaucoup moins de sinuosités et de reliefs que la terre ferme avoisinante.

La largeur de cette vallée est de 6 kilomètres environ ; son fond est très plat et les accidents qu'elle présente ne dépassent jamais 10 mètres dans une section transversale du lac ; des profils établis perpendiculairement à l'axe du lac sont presque tous maintenus entre deux courbes horizontales de 10 mètres de hauteur.

Considérée dans le sens longitudinal, la grande vallée qui forme le plancher du lac va régulièrement en s'affaissant de l'est à l'ouest ; cette inclinaison est peu forte. D'après les sondes de Gosset, devant St-Gingolph on trouve 225 mètres de fond, devant Evian 330 ; sur une

(4) Sous les murs de Chillon j'ai mesuré à 18 mètres du roc un fond de 37 mètres, et à 23 mètres, 41 mètres de fond. La pente est donc plus forte ; mais il y a ici les parois rocheuses verticales du rocher de Chillon, nous ne pouvons plus parler de talus.

longueur de 16 kilomètres le plancher du lac s'est affaissé de 105 mètres, ce qui représente une pente de 7 pour mille environ. Si cependant nous donnons attention au fait que la pente va en mourant à mesure que l'on s'approche du maximum de profondeur, nous reconnaitrons que l'inclinaison est dans sa partie la plus régulière et la mieux dessinée devant Cully et devant Rivaz de 10 pour mille environ. Si nous continuons cette pente en dehors des limites de la carte Gosset en remontant jusqu'à l'extrémité orientale du lac, nous trouverions une profondeur de 100 mètres environ pour la section correspondante à la hauteur de Chillon. Or ce chiffre se rapproche assez de ceux que m'ont donnés des sondages directs : devant Villeneuve 60 mètres, devant Chillon 80 mètres, devant Montreux 100 mètres. Nous pouvons donc prévoir que lorsque les sondages exacts auront été poursuivis jusqu'à l'extrémité du haut lac, nous verrons se continuer jusqu'au pied du talus du delta du Rhône cette pente régulière et douce de 10 pour mille environ.

La partie la plus profonde du lac forme une grande plaine triangulaire dont le grand côté de 8 kilomètres de long regarde la Savoie, et les deux autres côtés de 6 kilomètres chacun, regardent Morges et Vevey ; cette plaine a 315 mètres de profondeur ; elle présente deux points de profondeur maximale, l'un le plus profond situé sur la ligne qui joint Evian à Ouchy, à  $\frac{2}{3}$  de la largeur du lac à partir d'Ouchy, a 334 mètres de profondeur, soit 41 mètres au-dessus de la mer ; l'autre situé devant Ouchy à 3 kilomètres du rivage n'a que 324 mètres de profondeur.

A partir de ces points de plus grande profondeur, le plancher du lac se relève très lentement dans la direction

de l'ouest jusqu'à la barre qui le sépare du petit lac. D'après une sonde de la Bèche qui donne 217 mètres pour un point entre Rolle et Thonon, cette contrepenne fait remonter le fond du lac avec une inclinaison de 8 pour mille sur une longueur de 15 kilomètres. La profondeur reste ainsi relativement très considérable dans toute la partie occidentale du grand lac. Mais entre la pointe de Promenthoux et celle d'Yvoire, le fond du lac se relève par un talus probablement assez incliné, pour former une barre transversale qui ferme le grand lac. Un profil de sondages établi par la Bèche sur cette ligne donne pour profondeur maximale 66 mètres seulement ; nous retrouverons dans le petit lac des profondeurs plus considérables, nous sommes donc fondés à décrire ce haut fond comme étant une véritable barre et nous le désignerons sous le nom de barre de Promenthoux.

Quant aux talus du grand lac dans la partie qui s'étend de la ligne Ouchy-Evian à la barre de Promenthoux nous savons peu de détails sur eux, si ce n'est qu'ils sont beaucoup plus inclinés sur la côte de Savoie, d'Evian à Thonon, et spécialement devant le delta de la Dranse que sur la côte suisse et au fond du golfe de Coudré, où leur pente est relativement moins rapide.

Le petit lac qui s'étend de la barre de Promenthoux jusqu'à Genève a une profondeur moins considérable ; le point le plus profond signalé sur la carte de la Bèche mesure 73 mètres devant Nyon ; dans la partie qu'il a étudiée, Pictet a trouvé comme profondeur maximale 71 mètres. J'évalue à environ 50 mètres la profondeur moyenne du petit lac, considéré dans son ensemble. Quant au relief du fond il est relativement beaucoup plus

accidenté que celui du grand lac. On peut d'abord y reconnaître l'existence d'une série de barres plus ou moins distinctes, (entre Promenthoux et Yvoire, entre Coppet et Hermance, entre Genthod et la pointe de Bellerive et enfin le ou les Bancs du Travers) qui séparent des cuvettes plus ou moins approfondies. M. Pictet a dessiné sur la carte un îlot sous-lacustre connu sous le nom des *Hauts-Monts*, situé au nord de la pointe de Bellerive et qui élève son sommet jusqu'à 8 mètres au-dessous de la surface de l'eau ; la présence de quelques blocs erratiques sur les Hauts-Monts prouve que c'est en partie du moins un reste d'une ancienne moraine. Enfin tandis que le grand lac forme dans ses grands fonds une plaine ou vallée parfaitement plane suivant ses profils transverses (<sup>1</sup>), le petit lac, généralement aplati dans son plancher, présente cependant beaucoup plus de tendance à la formation d'un thalweg.

Si nous jetons maintenant un regard général sur l'ensemble du lac, nous constaterons que la distinction établie de tout temps par les riverains entre le Grand et le Petit lac, entre ce que l'on peut appeler le lac Léman proprement dit et le lac de Genève (<sup>2</sup>), que cette distinction est parfaitement justifiable et très réelle. Non-seulement le grand lac est plus large, plus considérable, plus grand dans ses proportions, dans ses paysages, dans ses phénomènes, mais encore au point de vue du relief sous-lacustre il y a une différence fondamentale et typique :

(<sup>1</sup>) Comme du reste les lacs de Thun et de Brienz.

(<sup>2</sup>) En analogie avec le lac d'Ueberlingen, partie du lac de Constance, ou dans le lac des Quatre-Cantons, les lacs de Lucerne, de Kussnacht, de Fluelen, de Stanzstadt, d'Alpnach.

Le fond du Grand lac est une large vallée à fond très plat, et bordée de talus très rapides, une plaine très doucement inclinée de ses deux extrémités vers une ligne médiane qui joint Evian et Ouchy. Sa profondeur qui est de 60 à 330 mètres peut être évaluée en moyenne à 200 mètres environ.

Le Petit lac forme une vallée beaucoup moins profonde, 50 mètres environ, à talus beaucoup moins inclinés, présentant au milieu une ligne de plus grande profondeur et non une plaine plate dans les profils en travers, mais surtout caractérisée par l'existence d'une série de cuvettes ou bassins plus profonds séparés par des barres transversales <sup>(1)</sup>, la dernière de ces barres qui s'étend de Promenthoux à Yvoire, formant la limite même du grand lac.

On le voit par cette description, le lac Léman est divisé en deux parties de types assez différents pour que nous les désignons par des appellations distinctes.

F.-A. F.

(<sup>1</sup>) Il n'y a de véritables cuvettes que derrière les barres de Promenthoux et de Coppet ; les autres barres supportent plutôt des espèces d'étages ou d'escaliers successifs dont la profondeur diminue à mesure qu'on s'approche de Genève.

Ces barres sont peut-être les restes d'anciennes moraines qui n'ont pas été recouvertes comme celles du grand lac par le tapis uniforme du limon des grandes profondeurs ; la raison de cette différence d'action peut être cherchée dans le fait que l'alluvion des grands affluents du lac, le Rhône et la Dranse, se répand dans les grands fonds et ne peut franchir la barre de Promenthoux.

---

§ XXIV. **Cailloux du limon.**

Dans le § II de ma I<sup>re</sup> série j'ai signalé la grande rareté des pierres renfermées dans le limon du lac, et je les ai attribuées à la chute accidentelle hors de barques chargées de pierres et de graviers, au transport par des racines entraînées dans les eaux torrentueuses des affluents, au transport enfin par des glaçons qui fondent dans les eaux du lac. Cette question me semble présenter un intérêt général et mérite d'être reprise.

Dans notre lac les pierres et cailloux n'existent dans le limon que sur la rive, sur la beine, et à une faible distance des côtes ; en plein lac on n'en trouve plus. Et cependant, si nous remontons l'histoire géologique de notre vallée, le plancher du lac a été entièrement recouvert par le glacier du Rhône ; dans sa retraite, le glacier a laissé tomber sur le fond toutes les pierres et cailloux qu'il portait à sa surface ; le fond du lac présente certainement le même mélange de moraines et de boues glaciaires que nous connaissons sur nos coteaux du pied du Jura. Or, ce terrain erratique nous ne le retrouvons nulle part dans le grand lac, ailleurs que sur la rive, et encore là seulement où elle est rongée par les érosions et où l'alluvion des rivières n'a pas recouvert les moraines (1). Dans le grand lac, du moment où nous nous éloignons de plus d'un kilomètre du rivage, nous ne trouvons plus rien de semblable ; jamais ma drague ne m'a rapporté un gravier ou un grain de sable, jamais la sonde de M. Gosset n'a frappé

(1) Par exemple la côte de Préverenges près de Morges.

sur un bloc erratique; et la carte hydrographique de cet ingénieur ne dessine sur le fond la trace d'aucune moraine analogue à celle qu'a reconnu M. Pictet, devant Bellerive, dans le petit lac. Tous ces débris que le glacier du Rhône des temps antiques a laissés au fond de notre vallée, tout ce terrain erratique est donc recouvert par une couche uniforme et monotone de limon. Quelle en est l'épaisseur, nous ne le savons pas, mais nous devons la supposer assez puissante, car elle a, dans son dépôt régulier et continu, réussi à recouvrir toutes les inégalités et irrégularités du fond, et à niveler la plaine plate et sans accidents que nous avons décrite dans le paragraphe précédent. Cette couche est due d'une part à l'alluvion du Rhône et des torrents, d'une autre part au dépôt des débris organiques des faunes pélagique et profonde.

Ce fond du lac, s'il était soulevé et mis à sec, montrerait donc des couches d'argile marneuse absolument privées de tout mélange étranger.

Mais si nous nous rapprochons du rivage, tout en restant cependant encore au pied du Mont, nous trouvons les preuves d'un transport assez énergique. Je vais d'abord en donner quelques exemples :

DRAGAGE I, devant Morges. 19<sup>m</sup> de fond. 550<sup>m</sup> du rivage.

Nature générale : argile très fine (1).

11 grains de sable . . . . .	0,30 gram.
1 fragment de brique ou terre cuite. . . . .	0,05 —
30 morceaux de scories de coke des fournaies des bateaux à vapeur . . . . .	7,50 —

(1) La quantité de limon que ramène ma drague est de un litre et demi.

DRAGAGE II, devant Morges. 22<sup>m</sup> de fond. 550<sup>m</sup> du rivage.

Nature générale : argile très fine.

1 caillou brisé, gneiss. . . . .	191	gram.
1 — — — . . . . .	17	—
1 — roulé, grès . . . . .	15	—
30 graviers, les uns cassés les autres roulés, de roches très différentes . . . . .	88	—
Petit gravier et sable . . . . .	136	—
6 morceaux de coke . . . . .	4	—

Je n'ai pas reconnu de stries sur aucun de ces cailloux.

DRAGAGE III, devant Morges, 30<sup>m</sup> de fond. 650<sup>m</sup> du rivage.

Masse générale : argile très fine.

1 caillou roulé calcaire jaune . . . . .	41	gram.
1 — — calcaire noir . . . . .	5	—
4 graviers ou gros sable roulé du lac . . . . .	1	—
9 morceaux de coke. . . . .	3	—

DRAGAGE IV, devant Morges, 44<sup>m</sup> de fond. 1150<sup>m</sup> du rivage.

Limon argileux sans cailloux, graviers ni sable.

DRAGAGE V, devant Ouchy, 275<sup>m</sup> de fond. 3000<sup>m</sup> du rivage

Argile très fine sans graviers ni sable.

Deux grains de scories de coke gros comme des grains de blé.

De ces quelques exemples je puis tirer les faits suivants :

1<sup>o</sup> Au delà d'un kilomètre du rivage, ces cailloux ou graviers sont tellement rares que je puis les dire absents ;

2<sup>o</sup> A moins d'un kilomètre de la rive, il y en a en assez grande abondance ;

3<sup>o</sup> Ces cailloux sont assez lourds (191 gram., Drag. n<sup>o</sup> II)

pour ne pas avoir été entraînés par les courants du lac <sup>(1)</sup>; ils se trouvent à une profondeur telle que l'action des vagues ne peut expliquer leur présence. Celle-ci est donc due à une action de transport par la surface du lac ;

4<sup>o</sup> Ce ne sont pas des cailloux glaciaires du sol primitif du lac qui aurait été dénudé ou n'aurait été recouvert que par une très faible couche d'alluvion. Le grain de terre cuite (Dragage n<sup>o</sup> I) est d'origine moderne ;

5<sup>o</sup> Les procédés de transport que j'ai indiqués plus haut sont les seuls admissibles, à savoir :

a) La chute hors des barques chargées de pierres qui circulent sur le lac ; cette origine est possible, mais peu fréquente et peu probable. Elle n'explique point la localisation de ces pierres sur une bande de un kilomètre de distance de la rive, et leur absence plus en avant ;

b) Le transport par les racines d'arbres doit être aussi peu important. En effet, les arbres arrachés à la grève par l'érosion des hautes eaux du lac ont leurs racines lavées par les vagues avant que l'arbre soit entraîné en plein lac ; d'une autre part, les arbres emmenés dans le lac par les eaux torrentielles sont peu nombreux, et leurs racines sont aussi lavées par les courants énergiques qui les charrient ;

c) Il ne reste comme moyen de transport un peu efficace que les glaçons <sup>(2)</sup> : glaces de rivages et glaces de rivières <sup>(3)</sup> ;

<sup>(1)</sup> Ces courants sont très faibles ; le plus rapide que j'ai constaté marchait à raison de 12 mètres par minute à la surface.

<sup>(2)</sup> Cf. Lyell, Principes de Géologie, II<sup>e</sup> partie, chap. III, du transport des matières solides par les glaces.

<sup>(3)</sup> Nous ne connaissons pas, dans le lac, la formation des glaces de fond.

6<sup>o</sup> Ce mode de transport ne peut pas être très énergique, ni charrier un grand nombre de cailloux. Mais, d'autre part, certains dragages (n<sup>o</sup> II, p. ex.) m'ont donné une quantité considérable de cailloux de transport. J'en conclus que le transport de ces cailloux ayant nécessité un nombre considérable d'années, il faut que l'alluvion qui tend à les ensevelir constamment sous une couche de limon <sup>(1)</sup> ait une valeur annuelle bien peu importante, dans la région du moins où nous l'étudions actuellement ;

7<sup>o</sup> Enfin, si nous considérons que les glaçons amenés dans le lac ne tardent pas à fondre dans les eaux plus chaudes <sup>(2)</sup> et ne peuvent, par conséquent, pas être entraînés très en avant dans le lac, nous aurons l'explication de la localisation près des côtes de ces cailloux isolés, égarés dans le limon de notre lac.

Poursuivrons-nous cette étude en l'étendant aux faits analogues de l'océan? Chercherons-nous à démontrer que ce transport par les glaces que nous voyons dans notre lac réservé à une bande littorale assez étroite, se poursuit dans l'océan Atlantique du nord <sup>(3)</sup> et dans le sud de l'océan

(1) On pourrait cependant faire entrer ici en ligne de compte l'action des courants qui sont certainement trop faibles pour causer une action de dénudation proprement dite ou d'érosion, mais qui peuvent sans aucun doute empêcher le dépôt de l'alluvion dans certaines places particulièrement balayées par eux.

(2) La température des eaux superficielles du lac ne descend jamais au-dessous de + 4<sup>o</sup>.

(3) Wyville Thomson. Les abîmes de la mer. Appendice C. Étude des échantillons recueillis pendant la première expédition du *Porcupine* en 1869, par David Forbes ; trad. Lortet, p. 439 sq. Paris 1875. Forbes attribue au transport par

Indien <sup>(1)</sup> jusqu'aux plus grandes profondeurs et à la plus grande distance des côtes ; que ce transport par les icebergs et glaces flottantes détachées des glaciers polaires amène les blocs, cailloux et sables, jusque dans des régions relativement tempérées ; que le terrain qui se dépose actuellement dans le fond de ces mers, au lieu d'être la boue (*ooze*), la craie, la marne ou l'argile absolument pures que l'on constate dans les mers tropicales, que ce terrain est mélangé de cailloux erratiques en assez grand nombre ? Cette discussion nous entraînerait trop loin de notre lac. Je veux seulement signaler ce fait qui pourrait présenter un certain intérêt si l'on voulait étudier les conditions climatiques de notre planète dans les âges géologiques écoulés. En effet, l'on peut démontrer que de la présence et de l'absence de cailloux erratiques dans les terrains sédimentaires marins, déposés dans une période géologique quelconque, l'on peut déduire des conclusions sur la température de notre planète à l'époque en question. Si à une latitude supérieure à celle où parviennent de nos jours des glaces flottantes, on constate l'absence de ces cailloux erratiques, l'on pourra conclure à un climat plus chaud <sup>(2)</sup>. La présence de ces cailloux erratiques dans le

les courants la présence de graviers pesant jusqu'à 28 grammes, trouvés par 2 à 3000 mètres de fond à 50 ou 75 lieues des côtes de l'Irlande. Il y a là, me semble-t-il, une erreur qui pourrait se prouver par le poids des échantillons comparé à la force des courants, par le mélange des roches, enfin par l'absence des graviers analogues dans les mers tropicales où l'on ne trouve plus que l'*ooze*, la boue des mers profondes.

(1) Cf. Naturforscher, VII, p. 488.

(2) Il faudrait cependant démontrer aussi que la mer où se déposait ce sédiment n'était pas une méditerranée et était en communication avec l'Océan polaire.

limon du fond des mers prouverait au contraire l'existence d'une période glaciaire, dans les régions polaires, analogue à celle qui y règne actuellement.

F.-A. F.

---

§ XXV. **Analyse chimique du limon du fond  
de quelques lacs suisses**

par *MM. E. Risler et Walther*, à Calève sur Nyon.

(Suite du § III.)

Voici les résultats de l'analyse de quelques échantillons de limon provenant de divers lacs, qui nous ont été remis par M. Forel.

Le fer a été dosé à l'état de peroxyde, mais il se trouve dans les limons à l'état de protoxyde ; le contact des matières organiques le maintient dans cet état ou le réduit. De là vient la couleur gris-bleue des limons ; la surface seule des échantillons se colore peu à peu en rouge, parce qu'elle s'oxyde dans les flacons où ils sont conservés.

Un fait à remarquer c'est que les limons des lacs de Neuchâtel, de Zurich, et de Constance, comme celui du lac de Genève, ne contiennent que des traces de potasse et de soude solubles dans l'acide chlorhydrique ; mais il est probable qu'il y en a une certaine quantité à l'état de silicates dans la partie inattaquable par les acides. Les masses d'eau, dans lesquelles le limon était en suspension avant de se déposer, ont dissous la potasse et la soude qui se trouvaient en combinaisons solubles, comme elles

ont dissous les sulfates. L'eau du lac Léman contient par litre 5 milligrammes de soude, 2 milligrammes de potasse et 34 milligrammes d'acide sulfurique à l'état de sulfate de chaux (1).

### Limon des lacs de

	Neuchâtel	Zurich	Constance	Zell	Léman	
	III	IV	V	VI	I	II
<i>Analyse chimique</i>						
<b>A. Partie attaquable par l'acide chlorhydrique</b>						
Fer (dosé à l'état d'oxyde)	2,11	2,477	1,937	1,264	5,20	3,36
Alumine . . . . .	0,68	1,327	1,202	0,926	2,30	1,80
Acide phosphorique. . .	traces	0,115	0,054	0,058	traces	0,12
Chaux . . . . .	34,28	29,524	26,646	32,667	10,50	12,39
Magnésie . . . . .	1,13	1,824	1,516	1,720	2,06	1,92
Potasse et soude . . .	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Acide carbonique . . .	29,46	26,650	23,790	28,450	9,20	9,80
Acide sulfurique . . .	traces	0	traces	3,709	0	0
Silice soluble. . . . .					0,12	
<b>B. Partie inattaquable par l'acide chlorhydrique</b>						
Silicates et silices . . .	29,17	33,910	41,403	27,527	63,75	66,68
Matières organiques . .	3,17	4,173	3,452	3,700	4,67	3,73
Humidité . . . . .					2,20	
	100,00	100,000	100,000	100,000	100,00	100,00
<i>Analyse physique</i>						
Sable. . . . .	25,26	17,42	31,37	49,23	10	—
Partie impalpable. . .	74,74	82,58	68,63	50,77	90	—
	100,00	100,00	100,00	100,00	100	

(1) Bull. Soc. vaud. Sc. nat. XII, p. 175.

Pour compléter ces analyses il aurait fallu décomposer la partie inattaquable par l'acide chlorhydrique, soit au moyen du bicarbonate de soude, soit par l'acide fluorhydrique ; elle est sans doute composée de particules très fines de silice et de silicates de toutes sortes.

Voici comment nous avons procédé pour l'analyse physique, c'est-à-dire pour la lévigation par laquelle nous avons séparé dans le limon de sable fin des particules impalpables. On en met une certaine quantité dans un verre à bec qu'on remplit d'eau et l'on agite avec une baguette de verre. Cinq minutes après chaque agitation on vide le verre et l'on recommence l'opération jusqu'à 38 ou 40 fois de suite, jusqu'à ce que l'eau ne se trouble plus.

E. R. et W.

Quelques indications plus précises sont nécessaires ici, sur l'origine et la provenance des échantillons de limon que M. Risler a analysés.

Les analyses I et II de limon du Léman ont été déjà décrites au § III (1<sup>re</sup> série) ; les échantillons provenaient de 216 mètres et de 35 mètres de fond.

L'analyse n<sup>o</sup> III est du limon du lac de Neuchâtel pris devant la ville de Neuchâtel par 65 mètres de fond, le 12 août 1873 (1). Ce limon avait été tamisé (2) et privé ainsi de tous les animaux vivants ou morts qu'il pouvait contenir.

(1) Cf. § XXII. Dragage n<sup>o</sup> II.

(2) Le tamisage n'a du reste enlevé que des débris orga-

L'analyse n° IV a été faite sur du limon du lac de Zurich pris par 50 mètres de fond devant Neumünster, le 17 août 1873 (1), ce limon n'avait pas été tamisé, ce qui explique peut-être la proportion plus considérable de matières organiques.

L'analyse n° V, a été faite sur du limon du lac de Constance supérieur (Bodensee), récolté à une demi-lieue environ de la ville de Constance par 25 mètres de fond, le 21 août 1873 (2). Ce limon a été tamisé.

Le limon de l'analyse n° VI, vient du lac de Constance inférieur, ou lac de Zell (Untersee, Zellersee), devant Ermatingen par 20 mètres environ de fond (3); ce limon a été tamisé.

Si maintenant, sans entrer dans le détail des analyses, nous comparons les chiffres du tableau de M. Risler, nous remarquons au premier coup d'œil quelques faits intéressants.

Tout d'abord nous sommes frappés de la richesse relative en silice et en silicates du limon du Léman qui en contient de 66 à 67 pour cent, tandis que le lac de Constance n'en renferme que 41, celui de Zurich 33, celui de Neuchâtel 29 et enfin le lac de Zell 27 pour 100 seulement. La pauvreté du lac de Zurich et du lac de Zell s'explique en partie parce que ces lacs ne reçoivent

de matières organiques animales et végétales; il n'y avait dans aucun de ces échantillons ni cailloux ni sable grossier, et le tamisage n'a pu avoir aucune action sur l'analyse physique que M. Risler donne dans son tableau.

(1) Cf. § XXII. Dragage n° III.

(2) Cf. *ibid.* — n° V.

(3) Cf. *ibid.* — n° VII.

vent pas d'affluents alpins qui puissent leur amener directement de l'alluvion des montagnes primitives ; la pauvreté en silice du lac de Neuchâtel s'explique par l'origine jurassique, c'est-à-dire purement calcaire, de la plupart de ses affluents. Mais la petite quantité de silice et de silicates du limon du lac de Constance, nourri, comme notre Léman, directement par un fleuve alpin ne s'explique pas immédiatement ; elle provient peut-être de la localité même où j'ai fait mon dragage, localité située près de la sortie du Rhin hors du lac, loin par conséquent des lieux où l'alluvion alpine du fleuve se dépose. Quoiqu'il en soit la première conclusion que l'on peut tirer de ces chiffres, c'est la plus grande richesse en silice et en silicates de l'alluvion de la vallée du Rhône, comparée à celle de la vallée du Rhin ou à celle de la Limmat.

Quant à la quantité de chaux contenue dans ces limons, elle est à peu près directement inverse de la quantité des silicates. L'on n'a pas à s'étonner beaucoup de voir le limon du lac de Neuchâtel, avec son apparence crayeuse, être de beaucoup le plus calcaire parmi ceux de cette série ; une seule chose pourrait être notée, c'est plutôt la grande proportion relative de silicates que l'on y retrouve encore. Mais cela s'explique suffisamment par l'abondance du terrain erratique provenant de la vallée du Rhône et par les terrains molassiques miocènes qui bordent les rives de ce lac.

Une preuve à l'appui de ce que je viens de dire de la richesse en silicates des alluvions de la vallée du Rhône, m'est fournie par les chiffres suivants tirés d'analyses de M. E. Risler<sup>(1)</sup>. Le limon d'alluvion de trois rivières torren-

(<sup>1</sup>) *Journal de la Société d'Agriculture de la Suisse romande*, XVI<sup>e</sup> année, 1875, p. 75.

tueuses des environs de Sion en Valais lui a donné, entr'autres, les valeurs centésimales suivantes :

	Chaux	Ac. carbonique	Silice et silicates	Autres matières <sup>(1)</sup>
Limon de la Morge (de Conthey)	22,8	11,0	48,5	17,7
» de la Sionne	21,7	17,7	49,4	11,2
» de la Borgne	2,3	1,7	88,1	7,9

La Morge et la Sionne viennent du nord, de la chaîne des Alpes Bernoises : leur alluvion est relativement beaucoup plus riche en chaux. La Borgne dont le limon est presque uniquement siliceux amène les eaux des vallées d'Hérens et d'Héremence, soit de la grande chaîne des Alpes valaisannes ou chaîne du Mont-Rose. Or comme la plupart des grands affluents du Rhône, la Viège, la Navisance, la Borgne, la Dranse viennent de cette chaîne du sud, la Massa qui vient du glacier d'Aletsch étant le seul affluent important de la chaîne bernoise, le limon de la Borgne représente mieux que celui des autres rivières le type de l'alluvion du Rhône. Sa richesse en silice donne donc en partie l'explication de l'abondance de cette substance dans le limon du fond du lac Léman.

Quant à la proportion des matières organiques dans le limon des lacs elle est partout très faible, et, connaissant la richesse de la faune profonde, j'aurais attendu une quantité relative plus considérable de ces substances ; il faut cependant donner attention que la densité de ces matériaux organiques est beaucoup moindre que celle

( ) Dans cette colonne j'ai fait la somme des chiffres donnés par l'analyse pour l'acide phosphorique, la potasse, la soude, la magnésie, le sesquioxide de fer, l'alumine, les matières organiques et l'eau.

des matières inorganiques, et que sous un aussi faible poids relatif, leur volume est proportionnellement beaucoup plus considérable.

F.-A. F.

---

### § XXVI. **Appareils pour l'exploration du lac.**

J'ai dans le § IV, 1<sup>re</sup> série, exposé la méthode de dragage qui pendant plusieurs années m'a seule servi à collecter les animaux de la faune profonde. J'ai apporté quelques perfectionnements à ces recherches et je veux décrire ici mes nouveaux instruments.

1<sup>o</sup> *Râteau à filet.* J'attache au plomb de la sonde (2 à 3 kilogr.) par une ficelle de 3 ou 4 mètres de long l'appareil suivant que je traîne sur le sol. C'est un râteau en fer, le vulgaire râteau des jardiniers, de 20 centimètres de largeur, muni de 8 dents de 6 centimètres de longueur. Sur le râteau s'élève dans un plan vertical et perpendiculaire à l'axe du manche le cercle d'un filet de mousseline ; ce filet recueille les animaux que le râteau, son manche et le plomb de la sonde dérangent et font sortir du limon. Au lieu du manche de bois du râteau je fixe un manche en gros fil de fer, de 25 centimètres de longueur, et je lui donne, après quelques essais, une inclinaison convenable, de telle manière que les dents du râteau frottent et grattent le sol, sans entrer trop profondément dans le limon. C'est à ce manche qu'est attachée la ficelle qui le relie au plomb de la sonde.

Quelques coups de rame me permettent de traîner cet appareil sur le fond du lac, et je retire bientôt, rempli d'une poussière légère, le filet que je renverse dans un baquet d'eau. Je recueille par ce procédé tous les animaux qui vivent à la surface du limon, et même ceux qui vivent dans le limon ; je recueille ainsi même des pisidiums, des nématoïdes, des chétopodes qui vivent enfouis dans la vase. Quelques animaux pélagiques se trouvent mêlés à cette récolte, ayant été capturés pendant la descente et la montée de l'appareil.

Cet instrument me donne de si bons résultats que je l'emploie actuellement à peu près seul pour mes sondages dans les profondeurs inférieures à 100 mètres.

Afin de mieux remuer la surface du limon et d'en faire mieux sortir les animaux qui l'habitent, j'ai, tout dernièrement perfectionné cet appareil de la manière suivante : J'attache à la corde reliant au plomb de la sonde le râteau à filet, un corps anguleux, lourd et dur qui puisse racler le sol pendant que je traîne tout le système sur le fond ; pour cela j'ai employé avec un égal succès un paquet de fil de fer, un peu embrouillé et un peu hérissé, ou bien un second râteau de fer, analogue à celui que je viens de décrire mais ne portant pas de filet.

2<sup>o</sup> *Filet pour la faune pélagique.* C'est un simple filet de mousseline dont le cercle est attaché par trois ficelles de même longueur au plomb de la sonde (2 à 3 kilogrammes). Je fais descendre ce plomb à la profondeur où je veux pêcher, et je rame en laissant filer assez de corde pour que, malgré l'inclinaison du fil, le plomb reste bien dans la région que je veux explorer. Je renverse

ensuite le filet dans un baquet d'eau et je trie les diverses espèces sur des tamis à mailles plus ou moins serrées.

3<sup>o</sup> *Pompe*. J'appelle ainsi, du nom que lui avait déjà donné H.-B. de Saussure <sup>(1)</sup>, un appareil destiné à aller chercher de l'eau à une profondeur déterminée. La pompe de Saussure lui servait à protéger un thermomètre qu'il descendait dans les grands fonds et à le ramener garanti ainsi par une couche invariable d'eau des grandes profondeurs ; les dimensions que j'ai données à mon instrument sont mieux appropriées au but pour lequel je l'ai employé. Ma pompe consiste en une boîte en zinc de 50 centimètres de hauteur, sur une base carrée de 15 centimètres de côté, ce qui représente un cube de plus de 12 litres. Les deux extrémités de cette boîte sont fermées par deux soupapes, en feuille de zinc aussi, ouvrant librement de bas en haut. Deux anses sont fixées à la boîte, l'une supérieure permet d'attacher l'appareil à la ligne de sonde, l'autre inférieure sert à y fixer des poids suffisants pour faire descendre rapidement la pompe à de grandes profondeurs.

Quand l'appareil descend dans l'eau, les deux soupapes se soulèvent et un courant d'eau fraîche et sans cesse renouvelée le traverse constamment. Quand l'appareil remonte les soupapes se ferment et l'eau extérieure ne peut entrer.

Cette pompe a très bien fonctionné, soit lorsque j'ai été chercher de l'eau pour l'analyse chimique qu'a faite M. Brandenburg, soit dans mes études sur l'habitat de la faune pélagique pendant la journée. Il faut seulement

(1) Voyages dans les Alpes, § 41.

donner attention pendant l'opération de la remontée à ne pas laisser retomber l'appareil qui alors se remplirait d'eau prise non plus à la couche profonde où on voulait l'aller chercher, mais dans une couche intermédiaire. Cette pompe du reste ne fonctionne bien que par un jour calme et ne vaudrait rien par un temps de fortes vagues, les soupapes s'ouvrant presque nécessairement à chaque secousse un peu forte du bateau. F.-A. F.

---

### § XXVII. **Conditions de milieu.**

Soit dans mon introduction, soit dans le § VI de ma 1<sup>re</sup> série, j'ai essayé de caractériser les conditions de milieu auxquelles sont soumis les animaux vivant à de grandes profondeurs. Ces conditions sont les suivantes :

1<sup>o</sup> La pression est considérable, augmentant d'une atmosphère par chaque 10 mètres de profondeur d'eau.

2<sup>o</sup> La température est constante. (Voy. § IX.)

3<sup>o</sup> La température est très basse.

4<sup>o</sup> L'eau est dans un repos presque absolu.

5<sup>o</sup> La lumière est nulle ou considérablement atténuée. (Voy. §§ VII et XXIX.)

6<sup>o</sup> La flore est presque entièrement annulée. (Voy. §§ XVII, XVIII, XIX.)

Dans le § XIX j'ai donné trop d'importance, au point de vue de l'équilibre des gaz dissous dans l'eau, à la couche de Palmellacées et de Diatomées, que j'ai décrite sous

le nom de feutre organique. Ayant reconnu, dans cette couche brunâtre d'Algues très actives et très vivantes, la faculté de réduire l'acide carbonique dissous dans l'eau et de dégager de l'oxygène, j'avais cru trouver là l'antagoniste nécessaire à la respiration animale de la faune profonde. Mais de nouvelles recherches m'ont montré que ce feutre organique avait un développement beaucoup moins considérable que je ne le supposais ; au lieu de tapisser comme je le croyais toute la surface des grands fonds du lac, cette couche de feutre organique est localisée sur les bords, et ne dépasse pas les couches éclairées ; son développement varie avec la transparence de l'eau (Cf. § XXIX) ; je l'ai constaté en hiver jusqu'à 60 et 80 mètres de fond, tandis qu'en été il est à peine visible dans les eaux louches et peu transparentes que nous allons avoir à décrire. L'extension du feutre organique est donc beaucoup moins considérable que je ne l'avais supposée, et si son action réductrice est incontestable, son influence sur les gaz dissous dans l'eau doit être relativement peu importante, en été surtout.

7<sup>o</sup> Les animaux ne peuvent venir respirer l'air en nature.

8<sup>o</sup> L'eau doit être le plus souvent louche et salie par le limon d'alluvion des eaux glaciaires et torrentueuses (<sup>1</sup>).

(<sup>1</sup>) Comparez avec ce que dit M. W. Lant Carpenter au sujet de l'eau de l'Océan, étudiée pendant les croisières du *Porcupine*. « L'eau puisée à une profondeur qui dépassait 900 mètres était presque toujours chargée d'un limon très fin qui, tenu en suspension, la rendait complètement trouble. Il fallait plusieurs heures d'immobilité pour faire déposer ce limon, mais il était facilement séparé de l'eau par la filtration. » W. Thomson, *Les abîmes de la mer*. Trad. Lortet, p. 427, Paris 1875.

J'ai pendant l'été dernier cherché si je pouvais reconnaître dans les grands fonds du lac, devant Morges, l'eau trouble du Rhône, qui doit, d'après les conditions de sa température comparée à celle du lac, se répandre dans une nappe horizontale à environ 30 à 50 mètres de profondeur. A l'aide de la pompe que j'ai décrite au paragraphe précédent j'ai été chercher des échantillons d'eau profonde aux dates suivantes :

Devant Morges le	11 juin	1874	à	55 mètres.
»	29	»	»	60 »
»	1 juillet	»	»	85 »
»	22	»	»	60 »
»	2 sept.	»	»	100 »
Devant Ouchy le	26 juin	1875	à	250 »
»	23 oct.	»	»	250 »

J'ai dans toutes ces expériences trouvé de l'eau claire, transparente, ne présentant en rien les caractères des eaux glaciaires. Comme j'ai dépassé la couche où les eaux du Rhône doivent stationner, je puis affirmer que l'eau glaciaire avait déposé le limon dont elle est chargée avant d'arriver au point où je la puisais, et par conséquent, dans ces années 1874 à 1875 du moins, l'eau trouble du Rhône s'était clarifiée avant d'arriver à Morges à une distance de 30 kilomètres des bouches du fleuve, à Ouchy même à 20 kilomètres à peine.

A ces conditions de milieu déjà développées précédemment j'ajouterai les suivantes :

9° Le limon ne renferme pas de cailloux ni de corps solides. (Voy. § XXIV) Cela entraîne une modification importante dans les allures des Bryozoaires de la faune profonde, qui au lieu de s'attacher à des corps solides, doivent im-

planter la base de leur polypier dans un limon mou et léger.

10° Le limon varie dans sa composition chimique d'un lac à l'autre. (Cf. § XXV.)

11° La composition chimique de l'eau ne varie pas de la surface aux grandes profondeurs (Cf. § XXIX). Ce fait rend possible les migrations annuelles des poissons qui, suivant les saisons, habitent des couches fort diverses de l'eau (§ VII) et les migrations diurnes des entomostracés pélagiques qui suivant les heures du jour ou de la nuit habitent la surface ou les couches profondes du lac. (§ XXXII.)

12° La quantité de gaz dissous dans l'eau est sensiblement la même à la surface et dans les grands fonds. Ce fait sur lequel nous allons revenir (§ XXX) est aussi une condition *sine qua non* des migrations et des changements de niveau des animaux. F.-A. F.

### § XXVIII **Transparence de l'eau du lac.**

(Suite du § VI.)

L'impression de ma 1<sup>re</sup> série de matériaux m'a interrompu au milieu des expériences photographiques que j'ai décrites dans le § VI. J'ai à terminer ce sujet.

Je rappellerai que, pour mesurer la pénétration des rayons solaires dans les couches profondes du lac, j'utilise l'action des rayons chimiques qui noircissent un papier photographique au chlorure d'argent. Je dépose de

nuit ce papier dans un appareil convenable, je le laisse exposé au fond du lac pendant une ou plusieurs fois 24 heures, et je vais le retirer de même de nuit.

Dans mes expériences précédentes j'avais trouvé que la limite d'obscurité absolue est beaucoup moins loin de la surface en été qu'en hiver, et le point le plus profond où j'avais constaté l'action chimique des rayons solaires était dans mon expérience A-IX par 80 mètres de fond.

*Expérience A — XI*      8 mars 1874.      93 mètres de fond.

Devant Morges. Quatre jours d'exposition.

9 mars. Vent du midi. Ciel nuageux le matin, clair dans  
[l'après-midi.  
10 mars. Vent du midi. Ciel nuageux le matin, id.  
11 —                    neige.      Ciel couvert.  
12 —                    Ciel clair.

Effet photographique sensible, mais extrêmement faible ; plus faible encore que dans l'exp. IX, inférieur par conséquent à l'effet de l'exposition à l'air en plein soleil pendant 5 secondes.

Cette dernière expérience, faite à la fin de la période de la plus grande transparence du lac, au moment où l'eau étant encore claire, le soleil était le plus élevé sur l'horizon, me permet d'établir à 95 mètres, disons plutôt 100 mètres, la limite d'obscurité absolue <sup>(1)</sup> définitive dans les eaux du lac Léman.

Essayons de résumer dans un tableau les résultats de ces 11 expériences.

(1) entendue, comme je l'ai définie dans le § VI, la profondeur où les rayons chimiques solaires cessent d'agir sur la chlorure d'argent.

	N <sup>o</sup>	Date	Etat du ciel	Nombre de jours d'exposition	Profondeur mètres	Effet photographique N <sup>o</sup> de l'échelle(1)
Été	I	23 juillet 1873	clair	1	2	100
	II	30 juin »	nuageux	2	27	1,5
	III	11 juillet »	variable	3	40	1
	IV	21 » »	clair	1	50	0
	V	25 juin »	clair	2	60	0
Hiver	VI	22 déc. »	variable	1	40	5
	VII	23 » »	variable	2	50	7
	VIII	25 févr. 1874	clair	1	50	20
	IX	20 janv. »	variable	1	68	0,6
	X	15 févr. »	variable	1	80	0,4
	XI	8 mars »	variable	4	93	0,2

Ce tableau nous montre :

1<sup>o</sup> Que la limite d'obscurité absolue est en été entre 40 et 50 mètres (exp. III et IV).

2<sup>o</sup> Qu'elle est en hiver entre 90 et 100 mètres (exp. XI).

3<sup>o</sup> Que la pénétration des rayons lumineux va en augmentant d'intensité de décembre en mars (exp. VI, VII et VIII). Ce dernier fait est-il dû à une plus grande transparence de l'eau, ou bien à ce que la hauteur du soleil est plus considérable, c'est ce que nous étudierons plus loin.

(1) Je rappelle que, pour comparer les résultats de ces diverses expériences, j'ai établi une échelle de numéros de la manière suivante. J'ai par un beau jour d'été exposé à l'air en plein soleil mon papier photographique, en laissant au soleil la 1<sup>re</sup> bande, donnant le 1<sup>er</sup> N<sup>o</sup>, pendant 5 secondes.

2 <sup>e</sup>	»	2 <sup>e</sup>	»	10
3 <sup>e</sup>	»	3 <sup>e</sup>	»	15

et ainsi de suite.

Les mêmes faits qui m'ont engagé à entreprendre l'étude que je viens de résumer existent dans l'Océan comme dans nos lacs ; les dragages profonds du Porcupine et du Challenger ont rencontré ce même mélange bizarre et difficilement explicable d'animaux munis d'yeux et voyant, à côté d'animaux aveugles (1). Il y aurait donc intérêt à étendre à l'Océan les notions que nous avons gagnées dans notre lac. En attendant que W. Thomson nous donne les expériences photographiques qu'il nous promet (2), j'ai essayé d'employer un chemin indirect, en utilisant les faits jusqu'à présent connus sur la transparence de l'Océan.

Le P. Secchi a étudié en 1865 (3) la transparence de l'eau de la Méditerranée par la méthode suivante : Il descendait dans la mer un disque peint en blanc et cherchait à quelle profondeur il cessait de le voir : appelons cette profondeur la *limite de la visibilité*. Dans ses expériences sur lesquelles nous allons revenir, la limite de visibilité fut déterminée au maximum à 43 mètres.

M. F. de Pourtalès, dans l'Océan atlantique, usant du même procédé, vit une assiette blanche jusqu'à 49,5 mètres (4).

(1) Cf. Wyville Thomson. Les abîmes de la mer, trad. Lortet. Paris 1875, p. 146 — Willemoes Suhm. Von der Challenger Expedition, Briefe an C. Th. v. Siebold. Zeitschrift für wiss. Zoologie, XXIII. 2. XXIV. 3 — Nature, Naturforscher et la Nature. (Passim).

(2) Loc. cit. p. 37. Voir plus loin p. 220 note.

(3) P. Secchi. Relazione delle esperienze fatte a bordo della pontificia Pirocorvetta l'Immacolata Concezione per determinare la trasparenza del Mare : in A. Cialdi. Sul moto ondoso del Mare, Roma 1866, p. 238 sq.

(4) Communication personnelle de l'observateur.

M. E. Reclus a vu disparaître à 27 mètres de profondeur une plaque blanche qu'il descendait dans la mer dans les parages de Haïti (1).

Tels sont les faits dont j'ai connaissance dans l'Océan (2). Faisons les mêmes recherches dans notre lac pour que la comparaison soit possible.

Pour étudier la profondeur limite de visibilité dans le lac Léman j'emploie le procédé suivant :

J'attache à un fil de sonde une plaque de tôle circulaire, peinte en blanc, de 25 centimètres de diamètre, et je la descend dans l'eau en observant le moment où elle disparaît à mes regards. Je note la profondeur à laquelle je cesse de l'apercevoir, puis après avoir dépassé ce point je retire lentement ma sonde. La profondeur à laquelle j'aperçois de nouveau la plaque blanche doit être la même que celle à laquelle j'ai cessé de la voir ; s'il y a une différence entre les deux lectures je prends la moyenne ; avec un peu d'habitude je suis arrivé à ne pas faire une erreur de 20 centimètres ; c'est là du moins l'approximation que je puis donner à mes dernières observations.

Mais il est plusieurs points qui doivent être considérés dans ces expériences, et étudiés à part.

1<sup>o</sup> Les dimensions de la plaque. Le P. Secchi a donné plus d'attention que moi à ce facteur. Il a comparé la limite de visibilité, dans des conditions analogues :

(1) Communication personnelle de l'observateur.

(2) Scoresby dit avoir vu le fond sous 130 mètres d'eau dans les mers polaires. Mais ce chiffre me semble être exagéré et erroné. Cité par Arago. Œuvres complètes, t. IX p. 319. Paris 1857.

a. d'une assiette de faïence blanche de 43 centimètres de diamètre.

b. d'un disque en toile à voiles, tendu sur un cercle de 2<sup>m</sup>37 de diamètre, et peint en blanc.

Le petit disque disparaissait à 29<sup>m</sup>5, le grand disque à 35<sup>m</sup>5 ; différence 6 mètres, soit environ le  $\frac{1}{5}$  de la profondeur, différence par conséquent très notable qui ne devrait pas être négligée.

La plaque de tôle avec laquelle j'ai opéré étant beaucoup plus petite que le plus petit de ses disques, les chiffres que j'ai trouvés doivent être augmentés <sup>(1)</sup>, pour être comparables à ceux du P. Secchi.

2<sup>o</sup> L'agitation de la surface. Son importance au point de vue de l'observation peut être énorme ; s'il fait des vagues, ou simplement si le lac est ridé par les petites vaguelettes d'une brise, les rayons lumineux sont tellement brisés, que l'on ne voit pas ou presque pas l'objet qu'il s'agit de suivre sous l'eau. Pour parer à cet inconvénient j'emploie le baquet de zinc à fond de verre que nous utilisons pour la pêche des antiquités lacustres <sup>(2)</sup> ; il

(1) d'une certaine quantité que je ne puis, à mon grand déplaisir, apprécier en chiffres.

(2) Je profite de cette occasion pour recommander vivement aux naturalistes qui ont à voir quelque chose au fond du lac ou de la mer d'utiliser ce procédé aussi simple que commode. Ils seront étonnés, je puis les en assurer, de l'effet prodigieux produit par ce petit appareil. Pour nos pêches lacustres nous nous servons d'un bassin circulaire en zinc, de 45 centimètres de diamètre, dont les bords sont hauts de 10 centimètres, et le fond formé par une feuille de verre à vitre ; nous le posons simplement sur l'eau et il flotte à côté du pêcheur. Pour la mer où les vagues sont plus fortes et risqueraient de rejaillir dans le bassin il y aurait lieu

éteint absolument l'effet des vagues et permet de suivre avec la plus grande précision l'instant où la plaque blanche disparaît de la vue. Pour faciliter encore l'observation j'entoure ma tête d'un voile noir en imitation des photographes quand ils regardent dans leur chambre obscure.

La plaque de verre de mon baquet absorbe une certaine quantité de lumière, et j'évalue à environ 30 centimètres la différence de la profondeur de visibilité quand j'observe avec ou sans mon baquet. Ce serait là la valeur que je devrais ajouter à mes chiffres maximaux pour les rendre comparables à ceux du P. Secchi, qui n'utilisait pas cet artifice.

3<sup>o</sup> L'agitation de la surface peut avoir de l'influence sur la profondeur de visibilité des objets, suivant la grandeur, la forme et surtout la direction des vagues ; celles-ci modifient en effet d'une manière très évidente la quantité relative des rayons réfléchis ou réfractés par la surface de l'eau. J'ai donc, autant que possible, fait mes expériences par des états comparables du lac, en choisissant des lacs calmes, ou agités seulement par de très faibles brises. J'ai noté dans mes observations, l'état de la surface du lac.

4<sup>o</sup> La hauteur du soleil au-dessus de l'horizon ; suivant le jour de l'année, et suivant l'heure de la journée, le soleil est haut ou bas sur l'horizon ; à notre latitude de

d'en faire les bords notablement plus élevés, 50 centimètres peut être de hauteur ; l'on pourrait aussi, et c'est ce que je proposerai, faire une lunette conique à tube de zinc et à verres supérieur et inférieur formés simplement de verre à vitres, bien luté sur les bords. Les diamètres des deux verres me semblent pouvoir être établis à 30 centimètres pour le verre inférieur, à 15 centimètres pour le verre supérieur.

46° 27' le maximum de hauteur, le 22 juin, est de 67° environ. Or suivant l'angle d'incidence des rayons sur la surface du lac supposée plane, une plus ou moins grande quantité de ces rayons sont réfractés, une plus ou moins grande quantité sont réfléchis. Si le soleil était à l'horizon, aucun rayon direct ne pourrait pénétrer dans la surface à laquelle il serait tangent, si le soleil était au zénith tous les rayons ou peu s'en faut pénétreraient dans la masse de l'eau à laquelle ils seraient normaux ; dans les positions intermédiaires que le soleil occupe, il y a d'autant moins de rayons réfléchis, et par conséquent d'autant plus de rayons qui pénètrent dans la masse de l'eau, que le soleil est plus élevé sur l'horizon.

Il en résulte que les objets éclairés, situés dans l'eau, doivent être d'autant plus brillamment illuminés que le soleil est plus haut sur l'horizon, et l'on peut admettre comme probable que la hauteur du soleil aura une influence très notable sur la profondeur limite de visibilité de notre plaque blanche.

C'est ce qu'ont très bien montré les expériences du P. Secchi dans la Méditerranée ; j'en citerai un exemple indiquant la limite de visibilité du grand disque de 2<sup>m</sup>,4 de diamètre.

*Exp. II.* (1) Méditerranée. 21 avril 1865.

Hauteur du soleil.	Limite de visibilité.
25°, 43'	<sup>m</sup> 24,5
45, 24	33,9
59, 52	36,7

(1) P. Secchi, loc. cit. p. 278.

Le raisonnement et l'expérience attribuant ainsi une grande influence à la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, j'ai été fort surpris des résultats suivants que j'ai obtenus dans le lac Léman ; pendant très longtemps j'ai été absolument incapable de constater cette influence de la hauteur du soleil, c'est ce que montrent les expériences suivantes.

<i>Exp. D — I</i>		Lac Léman	3 juillet 1874.
Heure.	Hauteur du soleil (1).		Limite de visibilité.
8 h. 10 m.	37° 14'		m 7,3
midi.	66, 26		7,6
5 h. 30 s.	22, 50		7,5
6 h. 30 —	12, 52		7,5
7 h. 00 —	8, 6		7,5

La différence de 7<sup>m</sup>,3 et 7, 6 ne dépasse pas la limite des erreurs d'observations et l'influence de la place où se fait l'expérience (V. infra).

<i>Exp. D — II</i>		Lac Léman	28 octobre 1874.
Heure.	Hauteur du soleil.		Limite de visibilité
midi.	30° 21'		m 11,4
3 h. 20	13, 50		10,8
4 h. 20	5, 1		11,0

Même remarque que pour l'expérience précédente.

L'expérience suivante continuée jusqu'après le coucher apparent du soleil est encore plus concluante.

<i>Exp. D — III</i>		Lac Léman	26 octobre 1874.
Heure.	Hauteur du soleil.		Limite de visibilité
4 h. 36	2° 59'		m 11,2
4 h. 41	2, 11		11,2
4 h. 45	coucher apparent du soleil		
4 h. 47	1,12		11,2
4 h. 55	— 0,6		11,2

(1) Dans les expériences I-III la hauteur du soleil a été calculée d'après l'heure de l'observation ; je dois ces calculs à l'obligeance de M. Ch. Dufour.

Ces expériences ne coïncident donc point avec la théorie non plus qu'avec les observations du P. Secchi. Comment les expliquer ?

Dans une eau physiquement pure la cause de la disparition d'un objet éclairé serait l'absorption des rayons lumineux par l'eau elle-même, absorption des rayons directs du soleil qui éclairent les corps blancs, absorption des rayons réfléchis qui reviennent à l'œil ; dans ce cas là, il est évident que l'intensité de l'éclairage aurait une grande influence sur la profondeur limite de visibilité.

Dans une eau tenant en suspension des poussières, les conditions sont tout autres. La plaque blanche que nous faisons descendre dans cette eau opaline, nous la faisons pénétrer dans un nuage, dans un brouillard, dont les particules sont les poussières en suspension dans l'eau. Or l'éclairage ou l'éclat d'un objet que l'on observe à travers un brouillard n'est pour rien dans la distance à laquelle il disparaît à nos yeux ; le seul facteur qui soit à considérer, dans ce cas, c'est la grosseur et le nombre des vésicules du brouillard. Lorsque ces petites sphères opaques sont en nombre suffisant pour que, en se superposant couche par couche, elles forment un écran complet, alors l'objet quelque brillant qu'il soit, le soleil, un phare électrique, n'est plus visible ; tant qu'elles laissent encore passer entr'elles quelques rayons lumineux, un corps, quelque sombre, quelque obscur qu'il soit, est encore apparent.

Cette différence d'effet des deux espèces d'obstacles à la visibilité, l'absorption par l'eau elle-même, et l'écran formé par les poussières de l'eau, nous expliquera l'anomalie qui nous arrête ; elle nous montrera en même temps la nature du trouble de nos eaux lacustres, nous

expliquera pourquoi l'eau du lac Léman est moins pure que celle de la Méditerranée.

L'eau de la Méditerranée dans laquelle opérait le P. Secchi est de l'eau presque pure physiquement <sup>(1)</sup>, l'influence de l'éclairage est énorme.

L'eau du lac Léman dans laquelle j'ai fait mes expériences, D-I à III est de l'eau salie par des nuages de poussières en suspension dans l'eau <sup>(2)</sup>.

Si au lieu de m'adresser à de l'eau opaline et louche comme l'est l'eau de l'été, j'avais fait mes expériences dans l'eau presque pure de l'hiver, j'aurais eu un résultat presque aussi évident que ceux du P. Secchi; c'est ce que prouvent les expériences suivantes :

<i>Exp.</i> D — V	Lac Léman	15 mars 1875.
Heure.	Hauteur du soleil.	Limite de visibilité
5 h. 20 s.	7° 25'	m 10,8
4 h. 05 s.	19,28	12,2
0 h. 50 s.	40,27	12,6
<i>Exp.</i> D — VI	Lac Léman	27 mars 1875.
Heure.	Hauteur du soleil.	Limite de visibilité
8 h. 55 m.	29,10	m 15,0
11 h. 55 m.	45,58	16,8
<i>Exp.</i> D — IV	Lac Léman	10 mars 1875.
Heure.	Hauteur du soleil <sup>(3)</sup> .	Limite de visibilité
2 h. 35 s.	30° 30'	m 16,2
10 h. 30 m.	34, 05	16,5
0 h. 10 s.	39, 10	17,0

<sup>(1)</sup> Cf. Soret. Arch. des Sc. ph. et nat. t. 5<sup>e</sup> sér. t. XXXIX, p. 361.

<sup>(2)</sup> Cf. F.-A Forel. Une variété nouvelle ou peu connue de Gloire étudiée sur le lac Léman. Bull. Soc. Vaud. Sc. nat., XIII, p. 357. Lausanne 1874.

<sup>(3)</sup> Dans ces expériences la hauteur du soleil a été mesurée directement avec un sextant au-dessus de l'horizon réel donné par la surface du lac.

L'effet de la hauteur du soleil est très évident dans ces trois expériences; la seule différence importante qui les sépare des conditions générales des expériences D-I à III, étant la différence dans la limpidité de l'eau, je dois attribuer à la plus grande transparence des eaux de l'hiver l'effet sensible de la hauteur du soleil sur la limite de visibilité. Je dois par conséquent attribuer l'absence d'effet de la hauteur du soleil sur la limite de visibilité, dans les eaux opalines de l'été, au trouble même de ces eaux. Ce défaut de transparence est donc dû à des corps opaques tenus en suspension dans l'eau.

5<sup>o</sup> Les différences dans l'intensité de l'éclairage qui sont provoquées par d'autres causes, ont le même effet variable que celles dues à la hauteur du soleil. Pendant l'été lorsque les eaux sont louches et salies par les poussières, ces différences d'éclairage sont sans effet sur la profondeur limite de visibilité; elles ont au contraire un effet très sensible en hiver.

C'est ce que prouvent les expériences suivantes. Les deux premières se rapportent à des jours d'été :

*Exp. D — VII*                      Lac Léman                      23 juillet 1873.

Le ciel était parcouru par des nuages entraînés par une bise assez fraîche; la surface du lac était relativement calme. J'ai déterminé la limite de visibilité successivement en plein soleil et à l'ombre des nuages :

Heure.		Limite de visibilité
6 h. 45 m.	en plein soleil	<sup>m</sup> 4,2
7 h. 15 —	à l'ombre d'un nuage	4,2
7 h. 20 —	en plein soleil	4,2

*Exp. D — VIII*                      Lac Léman                      27 et 28 juillet 1874.

Le 27 juillet par un beau soleil limite de visibilité <sup>m</sup> 5,0  
 Le 28 juillet, ciel noir, pluie battante                      5,2

D'un jour à l'autre la transparence ne se modifie pas beaucoup, et dans cette observation elle semble s'être développée en faveur du jour de pluie.

Voici en revanche une expérience analogue faite en hiver, montrant l'influence de l'éclairage dans des eaux transparentes et claires.

<i>Exp. D — IX</i>	Lac Léman	27 mars 1875.
Heure.	Hauteur du soleil.	Limite de visibilité
8 h. 53 beau soleil,	29° 10'	<sup>m</sup> 15,0
midi. id.	45, 58	16,8
4 h. 20 ciel gris	21, 36	13,7

La différence de 1,<sup>m</sup> 3 dans la limite de visibilité entre 4 h. 20 du soir et 8 h. 53 du matin est plus grande que celle que je puis attribuer à l'effet seul de la hauteur du soleil; la différence d'éclairage doit évidemment entrer ici en ligne de compte.

6<sup>o</sup> Il est enfin un dernier point qui a une certaine importance dans des expériences comparatives faites sur le même lac, c'est la localité, la place où se fait l'observation. C'est ce que montreront les expériences suivantes dans lesquelles la distance relative du rivage est indiquée par la profondeur de l'eau.

<i>Exp. D — X</i>	Lac Léman	1 <sup>er</sup> juillet 1873.
Heure.	Profondeur de l'eau.	Limite de visibilité
8 h. 10 m.	25 m.	<sup>m</sup> 6,0
10 h. 00 —	90	7,5
10 h. 30 —	25	6,0

<i>Exp. D — XI</i>	Lac Léman	22 juillet 1873
Heure.	Profondeur de l'eau.	Limite de visibilité
8 h. 00 m.	25 m.	<sup>m</sup> 4,0
11 h. 50 —	60	5,5

<i>Exp. D — XII</i>	Lac Léman	2 septembre 1873.
Heure.	Profondeur de l'eau.	Limite de visibilité
9 h. 30 m.	45 m.	<sup>m</sup> 8,2
10 h. 15 —	90	9,2
11 h. 00 —	25	7,8

Ces expériences montrent l'influence de la place où se fait l'observation. Plus l'on s'éloigne des côtes <sup>(1)</sup> plus la limite de visibilité augmente de profondeur; près de la rive la transparence de l'eau va en diminuant rapidement, en été du moins, lorsque l'eau est opaline, car en hiver je n'ai pas observé de différence dans la transparence sur les bords et au milieu du lac.

J'ai eu soin de faire toutes les expériences dont je vais donner les résultats au même endroit, situé au pied du Mont, par 25 mètres de profondeur à environ 500 mètres du rivage, devant Morges.

En résumé j'estime comparables toutes les observations faites dans la même place, avec le même état d'agitation du lac, dans les mêmes conditions d'éclairage, et de hauteur du soleil; l'effet de l'agitation de la surface peut être en partie annulé au moyen du bassin à fond de verre que j'ai décrit; l'influence de l'éclairage et de la hauteur du soleil n'est sensible que lorsque l'eau est suffisamment transparente, en hiver, dans notre lac; sitôt que l'eau est un peu louche, cette influence est nulle <sup>(2)</sup>.

Ces remarques développées, je vais résumer en un tableau les observations que j'ai faites, à différents jours

<sup>(1)</sup> Je pourrais ajouter que sur la rive même il y a de grandes différences dans l'opacité des eaux d'été. L'eau est le plus claire le long des caps, pointes et promontoires, loin des embouchures de rivières et loin des villes; elle est le plus trouble au fond des anses et golfes, près des embouchures de rivières et d'égouts et devant les villes.

<sup>(2)</sup> A cela se borne l'effet de la hauteur du soleil et de l'éclairage. Les précautions qu'indique sir Robert Christison dans son discours d'ouverture de la 89<sup>e</sup> session de la société royale d'Edinbourg. (Proceedings of the R. S. E. VII p. 555), excellentes en elles mêmes, sont donc inutiles dans des lacs où la transparence de l'eau est aussi faible que celle qu'il indique pour les Loch Lomond et de Sainte Marie où la limite de visibilité oscille, en été cela est vrai, entre 3<sup>m</sup> 6 et 6<sup>m</sup>,4.

de l'année, par le procédé ci-dessus décrit, pour étudier la transparence de l'eau du Léman devant Morges. Quelques-unes de ces observations ont été faites, par exception en plein lac, plus loin de la rive, par conséquent, que la station dont j'ai indiqué la position; je signale ces observations en les marquant d'un astérisque.

Exp. D — XIII		Lac Léman			1873-1875	
N <sup>o</sup>	DATE	Heure	Hauteur du soleil	Limite de visibilité mètre.	État du ciel	VENT
1	21 déc. 1873	0,00		11,5	clair	rebat léger
2	25 fév. 1874	0,00		16,5	id.	id.
3	8 mars »	0,05 s		15,2	id.	fort rebat
4	3 avril »	0,00		11,5		lames devaudoire
5	11 » »	2,55 s		8,1		rebat
6	13 » »	9,50 m		9,5	gris	calme
7	18 » »	11,55 m		10,5	soleil pâle	rebat léger
8	19 » »	0,20 s		9,5	soleil brillant	calme
9	27 » »	0,15 s		11,6	id.	id.
10	20 mai »	0,00		11,6	id.	
11	1 juin »	0,05 s		8,5	soleil pâle	calme
12	3 » »	0,00		9,5	soleil brillant	id.
13	11 » »	8,45 m		4,0		
14	1 juill. »	8,10 m		6,0		
15	3 » »	0,00		7,6		
16	7 » »	10,05 m		7,3		
17	22 » »	8,00 m		4,0		
18	23 » »	7,15 m		4,2		
19	27 » »	0,00		5,0	soleil brillant	
20	28 » »	10,00 m		* 5,2	ciel noir	pluie battante
21	7 août »	4,45 s		4,8		
22	13 » »	11,00 m		* 5,2		
23	24 » »	11,30 m		* 6,0		

N <sup>o</sup>	DATE	Heure		Hauteur du soleil	Limite de visibilité mètr.	État du ciel	VENT
		h.	m.				
24	2 sept. 1874	11	00 <sup>m</sup>		7,8		
25	26 oct. »	4	35 <sup>s</sup>		11,2	soleil brillant	calme
26	28 » »	0	00		11,4	id.	id.
27	5 nov. »	2	15 <sup>s</sup>		11,5	id.	rebat léger
28	10 » »	1	45 <sup>s</sup>		12,4	id.	id.
29	9 janv. 1875	2	50 <sup>s</sup>		14,0	ciel gris	calme plat
30	11 » »	2	15 <sup>s</sup>		14,4	brouillard	id.
31	12 » »	1	55 <sup>s</sup>		15,5	soleil pâle	id.
32	28 » »	11	25 <sup>m</sup>	24°30'	13,5	soleil brillant	
33	25 févr. »	0	00	34,12	15,3	id.	calme plat
34	10 mars »	0	10 <sup>s</sup>	39,10	17,0	id.	id.
35	15 » »	0	50 <sup>s</sup>	40,27	12,6	id.	rebat
36	27 » »	11	55 <sup>m</sup>	45,58	16,8	id.	calme
37	4 avril »	11	45 <sup>m</sup>	49,3	16,0	id.	
38	17 » »	1	55 <sup>s</sup>	46,10	12,5	id.	calme plat
39	21 » »	0	20 <sup>s</sup>	55,24	12,9	id.	rebat
40	8 mai »	2	50 <sup>s</sup>		8,0	id.	calme
41	26 » »	0	55 <sup>s</sup>		5,0	id.	id.
42	9 juin »	11	15 <sup>m</sup>		7,5	id.	rebat
43	28 » »	11	15 <sup>m</sup>		5,0	id.	id.
44	4 sept. »	10	45 <sup>m</sup>		5,8	id.	id.
45	21 octob. »	11	40 <sup>m</sup>		8,0	id.	calme
46	3 nov. »	0	15 <sup>s</sup>		9,1	id.	rebat

Si nous réunissons ensemble les chiffres de ces deux années d'observation nous obtenons les moyennes mensuelles suivantes pour la limite de visibilité.

	m	
Octobre	10.2	
Novembre	11.0	
Décembre	11.5	
Janvier	14.6	
Février	15.0	
Mars	15.4	
Avril	11.3	
		m
		Moyenne de l'hiver 12.7
Mai	8.2	
Juin	6.9	
Juillet	5.6	
Août	5.3	
Septembre	6.8	

Moyenne de l'été 6.6

Différence dans les moyennes en faveur de l'hiver <sup>m</sup> 6,1

Cette méthode qu'on peut appeler la méthode directe nous amène donc aux mêmes résultats généraux que nous avait donnés la méthode photographique, à savoir que la transparence de l'eau est beaucoup plus grande en hiver qu'en été. En nous montrant le peu d'influence de l'intensité de l'éclairage, cette méthode nous a de plus confirmé dans l'idée que le trouble des eaux de l'été est dû non pas à un pouvoir d'absorption plus grand que posséderait l'eau elle-même, mais à la masse énorme de corps opaques en suspension dans l'eau qui forment un nuage, un écran non transparent<sup>(1)</sup>.

(1) Pour me rendre compte de la nature de ce voile qui rend presque opaques les eaux naturellement pures de notre lac, j'ai recueilli devant Morges le 26 septembre 1869, 8 li-

Je pourrais maintenant poursuivre cette étude en recherchant les causes de ce trouble qui salit, en été, les eaux de notre lac <sup>(1)</sup>, faire une étude comparative de la transparence des différents lacs, etc. Cela nous entraînerait trop loin.

Je veux me borner à faire une comparaison entre les résultats de mes expériences et ceux d'observations analogues faites dans l'eau de mer, de manière à étendre

tres d'eau par un jour calme ; le trouble de l'eau était tel que je ne voyais les pierres du fond que jusqu'à la profondeur de 1<sup>m</sup> 20. J'ai filtré cette eau, et le résidu de la filtration s'est trouvé composé :

1<sup>o</sup> de poussières amorphes (vase, limon).

2<sup>o</sup> d'algues, diatomées, etc., vivantes ou mortes.

3<sup>o</sup> de débris de végétaux, épiderme, etc.

4<sup>o</sup> d'infusoires et entomostracés vivants en très petit nombre.

5<sup>o</sup> de débris animaux, débris de peau chitineuse de larves d'insectes, de carapaces de crustacés, etc.

C'est en somme de la poussière, assez analogue à la poussière de l'air atmosphérique.

(1) Voici à ce sujet l'explication que j'ai proposée à la société vaudoise des sciences naturelles, séance du 3 novembre 1869 : en hiver les couches superficielles du lac, par suite de leur contact avec un air plus froid, sont sans cesse refroidies, augmentent ainsi de densité, et sans cesse descendent dans les couches profondes pour être remplacées par de l'eau nouvelle venant des régions moins élevées ; il se fait sans cesse une circulation verticale qui entraîne au fond les couches superficielles. Or ces couches de la surface étant celles qui se salissent, qui se chargent des poussières et des débris organiques, ces matières en suspension se dispersent dans toute la masse du lac au lieu de s'accumuler seulement à la surface. En été cette circulation verticale n'a pas lieu, les couches superficielles restent toujours à la surface, elles se salissent et ne sont pas remplacées par des couches propres et fraîches. Elles se salissent du reste plus vite en été qu'en hiver par suite du plus grand développement de la vie organique.

à la pénétration de la lumière dans l'Océan<sup>(1)</sup>, les chiffres que m'ont donnés mes expériences photographiques dans l'eau du lac Léman.

Parmi les expériences faites dans l'eau de mer, je choisirai celles du P. Secchi; ce sont les seules à ma connaissance qui soient assez exactes pour qu'une comparaison un peu précise puisse être établie.

Parmi mes expériences je laisserai de côté toutes celles qui parlent des mois d'été, toutes celles dans lesquelles l'eau du lac est salie par ce trouble que nous avons constaté; je ne prendrai que mes expériences faites en hiver alors que l'eau est relativement pure. Parmi ces expériences je choisirai enfin celle qui m'a donné la plus grande profondeur pour la limite de visibilité.

Le 10 mars 1875 à midi, par une hauteur de soleil de 39° 10' la limite de visibilité a été de 17<sup>m</sup>,0. (Exp. D — XIII, N° 34.

(1) A la demande du comité de la Soc. royale de Londres, chargé de la direction des sondages zoologiques, M. Siemens a préparé, pour les croisières du *Porcupine*, en 1870, un instrument destiné à étudier par les procédés photographiques la pénétration des rayons solaires dans l'eau de la mer. L'appareil consiste en une roue horizontale à trois rayons portant chacun un tube, renfermant lui-même une feuille de papier sensibilisé; un artifice électro-magnétique règle le jeu d'un ressort qui, faisant tourner la roue, amène successivement à volonté ces trois tubes hors d'une chambre obscure ou les fait rentrer dans l'obscurité. Malheureusement l'appareil, essayé par M. Carpenter dans la rade de Gibraltar, ne marcha pas convenablement et les recherches photographiques durent être renvoyées jusqu'à ce que l'instrument eut été corrigé dans quelques détails. Je n'ai pas appris que depuis lors ces expériences aient été reprises. (Report on Deep-sea researches, etc. Proceedings of the r. Soc. of London, XIX, p. 150. Londres, 1870.

Je cherche une expérience du P. Secchi faite dans des conditions à peu près comparables de hauteur du soleil, et je trouve une observation du 21 avril 1865 qui donne par une hauteur solaire de  $38^{\circ},12'$  une limite de visibilité dans les eaux de la Méditerranée à  $30^{\text{m}},0$  de profondeur.

Pour comparer d'une manière utile ces deux valeurs de  $17^{\text{m}},0$  obtenue dans le lac Léman et de  $30^{\text{m}},0$  constatée dans la Méditerranée, je remarque :

*a.* Que le soleil était de  $1^{\circ}$  plus élevé pendant mon observation que pendant celle du P. Secchi; je devrais donc corriger mon chiffre de  $17^{\text{m}},0$  en le diminuant un peu; cette correction a peu d'importance.

*b.* Que employant pour mon observation un bassin à fond de verre qui absorbe un peu la lumière, je dois augmenter ainsi que je l'ai dit de 30 centimètres environ la profondeur que j'ai trouvée pour la rendre comparable à celle du P. Secchi. Je la porte ainsi à  $17^{\text{m}},3$ .

*c.* Que le petit disque qu'employait le P. Secchi était sensiblement plus grand que la plaque blanche qui m'a servi pour mes observations (dans la proportion de 43 à 25 centimètres de diamètre), que par conséquent je dois corriger le chiffre donné par mon expérience en l'augmentant notablement, sans que je puisse déterminer la valeur de cette augmentation.

Ces corrections faites, il reste incontestable que la limite de visibilité est plus profonde dans la Méditerranée que dans le lac Léman, et sans que je puisse apprécier cette différence par des chiffres, que la transparence de la Méditerranée est plus grande que celle du lac Léman. J'en puis conclure que le chiffre de 100 mètres que j'ai trouvé pour la limite d'action des rayons chimiques du

soleil sur le chlorure d'argent dans le lac Léman, doit être dépassé dans la Méditerranée, et que ce que j'ai appelé la limite d'obscurité absolue y est plus basse, au printemps du moins, époque où le P. Secchi a fait ses observations (1).

La transparence de l'eau subit-elle dans la Méditerranée ce même obscurcissement estival que j'ai constaté chez nous; ce même trouble, qui rend notre eau du Léman presque opaque en été, altère-t-il aussi la pureté de la Méditerranée? Je n'en sais rien, et je ne veux pas procéder par suppositions.

Je me borne à constater dans les mêmes circonstances la plus grande transparence des eaux de la Méditerranée, à conclure de l'observation de Pourtalès qu'il en est de même dans l'Océan, et à admettre enfin d'une manière générale que dans les eaux de la mer la limite d'obscurité absolue doit être plus profonde que dans le lac Léman.

F.-A. F.

(1) Dans l'expédition du *Shearwater* en 1871, M. W.-B. Carpenter a trouvé dans la Méditerranée des Nullipores jusqu'à une profondeur de 275 mètres; il en conclut que la lumière peut pénétrer jusqu'à cette profondeur et y réduire l'acide carbonique. Proc. of the r. Soc. of London XX, p. 587. Londres 1872.

---

§ XXIX. **Analyse chimique de l'eau du lac  
Léman**

par M. R. Brandenburg, de Lausanne.

M. Brandenburg, assistant au laboratoire de chimie de l'école de pharmacie de Lausanne, a bien voulu faire l'analyse chimique de l'eau du lac Léman que j'ai retirée des couches profondes à l'aide de la pompe décrite au § XXVI, à 250 mètres de profondeur, devant Ouchy. Les résultats de cette analyse seront publiés plus tard ; M. Brandenburg m'autorise à annoncer dès à présent les deux conclusions que l'état de ses travaux lui permet de donner déjà comme certaines :

1<sup>o</sup> D'une manière générale, l'eau des grands fonds est assez semblable par la proportion des substances dissoutes qu'elle contient, à l'eau de la surface telle que l'a analysée M. E. Risler (1).

2<sup>o</sup> D'une manière générale, l'eau des grands fonds n'est pas saturée de gaz ; malgré la pression considérable à laquelle elle est soumise (environ 24 atmosphères à 250 mètres de profondeur), et malgré la capacité plus grande qui en résulte pour la dissolution des gaz, elle ne contient en fait d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique, que des quantités assez semblables à celle de l'eau de la surface. La proportion relative de l'oxygène et de l'azote est cependant un peu différente.

Ces points seront discutés et justifiés plus tard par M. Brandenburg quand il pourra publier son analyse.

F.-A. F.

(1) E. Risler et Walther. Analyse de l'eau du lac Léman. Bull. Soc. vaud. sc. nat. t. XI, p. 175. Lausanne 1874.

**§ XXX. Sur la physiologie de la respiration  
dans les grandes profondeurs.**

Il est un point qui m'a longtemps arrêté — je ne suis pas le seul naturaliste qui en ait été préoccupé <sup>(1)</sup> — et qui me rendait incompréhensible la vie dans les grandes profondeurs du lac et de l'océan; ce point est le suivant :

Les lois de la dissolution des gaz dans les liquides nous apprennent que la capacité de l'eau pour dissoudre l'air va en augmentant proportionnellement à la pression ; que si une quantité d'eau donnée dissout un volume de gaz à la pression de une atmosphère elle en dissoudra 2, 5, 10 volumes à la pression de 2, de 5, de 10 atmosphères. D'après cela, les couches profondes des lacs et océans sont capables de dissoudre beaucoup plus d'air que les couches superficielles. Jusque-là il n'y a rien d'inexact. Mais j'admettais en plus que puisque ces couches profondes sont capables de dissoudre plus de gaz, la diffusion des gaz dans l'eau aidant, elles en contenaient effectivement plus. Nous montrerons plus bas en quoi ce raisonnement était erroné ; mais auparavant je veux discuter sur les bases de cette hypothèse quelles étaient les difficultés et les impossibilités qui nous arrêtaient dans l'explication des phénomènes physiologiques de la faune profonde. Cette discussion nous fera peut-être comprendre certains points intéressants de la physiologie de la respiration.

<sup>(1)</sup> Cf. *Arago*. Instructions sur les voyages scientifiques. Oeuvres complètes. IX p. 47. Paris 1857.

Dans l'hypothèse que les couches profondes auraient contenu plus d'air en dissolution que les couches superficielles l'on pouvait encore comprendre l'existence même d'une faune profonde. Alors même que le milieu dans lequel vivent ces animaux aurait une tension gazeuse plus forte que celle des eaux superficielles, quoique le sang de ces animaux ait dû, en conséquence de ces prémisses, dissoudre lui-même beaucoup plus de gaz que le sang des animaux aquatiques des faunes superficielles, il n'y avait pas là un fait inexplicable. L'on pouvait comprendre comment des animaux à allures lentes descendant tranquillement de génération en génération, d'une couche à l'autre du lac, pouvaient avoir adapté successivement les liquides de leur corps à la vie dans un milieu plus riche en gaz que celui où leurs ancêtres avaient vécu ; l'existence même d'une faune profonde s'expliquait suffisamment par une adaptation convenable aux milieux nouveaux. Mais ce qui était absolument inexplicable, c'était la possibilité de migrations volontaires ou involontaires des animaux, les changements plus ou moins rapides du niveau n'entraînant pas la mort de l'animal. Nous constatons que des poissons vivant habituellement près de la surface, les feras et les lottes, descendent parfois dans les plus grands fonds du lac, à 200 et 300 mètres (V. § VIII) ; nous remarquons que les entomostracés pélagiques, que nous décrirons plus loin, changent leur habitat aux différentes heures de la journée, de telle sorte qu'on les trouve à la surface pendant les heures de la nuit, dans les grands fonds, à 50, à 100 mètres, pendant la journée ; nous avons souvent été étonnés de voir les animaux de la faune profonde que notre drague ramenait de 200 à 300 mètres de fonds supporter sans

paraître trop en souffrir le changement prodigieux de pression qui aurait dû, semble-t-il, les foudroyer, et ne périr que sous l'influence d'une chaleur inaccoutumée à des animaux des grands fonds. Ces migrations, ces changements de niveau sont supportés par les animaux : ils n'en meurent pas, ils n'ont pas l'air d'en souffrir. Or, ces faits sont inexplicables dans l'hypothèse que nous avons énoncée : s'il y avait réellement plus d'air dissout dans l'eau des grands fonds que dans l'eau de la surface, ces migrations seraient nécessairement mortelles : c'est ce que nous devons développer.

Et d'abord le transport d'un animal de la surface dans les fonds, d'une eau à la pression de une atmosphère à une eau à la pression de 10 atmosphères, par exemple, cette dernière contenant, par supposition, dix fois plus d'air dissous que la première. Le sang de cet animal participant aux changements de pression devient aussi capable de dissoudre dix fois plus de gaz<sup>(1)</sup>. Ce sang se trouvant en contact avec un milieu où la tension gazeuse est aussi dix fois plus forte, il absorbe immédiatement une quantité énorme de gaz. Or, les recherches de Bert nous ont montré la nocuité de telles absorptions : les animaux qu'il soumet à la compression périssent empoisonnés par un excès d'oxygène<sup>(2)</sup>.

D'une autre part, le transport en sens inverse des couches profondes aux couches superficielles, dans la suppo-

(<sup>1</sup>) Je ne parle ici que des gaz dissous, et laisse absolument de côté les gaz combinés chimiquement avec les matériaux du sang.

(<sup>2</sup>) *P. Bert*. Recherches expérimentales sur l'influence que les modifications dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie. Paris 1874, p. 82.

sition sus indiquée, serait aussi fatal, mais par un tout autre mécanisme. Un animal qui vivrait à 100 mètres de fond, par dix atmosphères de pression, contiendrait dissous dans son sang dix fois plus de gaz qu'un animal vivant à la surface. Mais si je le transportais subitement à la surface, comme je le fais dans mes dragages, si je l'amenais rapidement à la pression de une atmosphère seulement, l'excès de gaz en dissolution dans le sang se dégagerait sous la forme de bulles aëriiformes, et la circulation étant entravée, la mort s'en suivrait (1).

Dans l'hypothèse donc que les couches profondes de nos lacs contiendraient, comme elles en sont capables, plus d'air dissous que les couches superficielles, les faits journaliers et constants des migrations animales et des changements de niveau étaient absolument inexplicables. Toutes ces difficultés sont au contraire très facilement résolues depuis que l'on constate que, malgré la capacité plus grande qu'elles ont de dissoudre les gaz, les couches profondes ne contiennent pas plus de gaz en dissolution que les couches superficielles. Cette donnée physique, très importante au point de vue physiologique, se prouve par les faits suivants :

1<sup>o</sup> Lorsque je vais chercher de l'eau dans les couches profondes du lac, à 50, à 100, à 250 mètres, l'eau que je ramène ne fait pas ébullition, ne dégage pas de bulles de gaz en arrivant à la surface; ce n'est qu'au bout d'un temps assez long, que je vois perler quelques bulles d'air sur les parois du vase où je l'ai déposée; mais ce dégagement de gaz s'explique alors facilement par l'élévation

(1) *P. Bert*, loc. cit., p. 108.

de température de l'eau. Cette absence d'ébullition prouve que l'eau n'était pas saturée d'air sous la pression à laquelle elle était soumise, et même que n'étant pas saturée, elle ne contenait pas plus d'air en dissolution que n'en peut contenir à sa température l'eau de la surface<sup>(1)</sup>. Si elle eût contenu plus d'air, aussitôt que la pression a été diminuée, cet air aurait en effet fait ébullition comme l'acide carbonique d'une bouteille d'eau de Seltz dont on enlève le bouchon. J'ai vérifié cette absence d'ébullition à maintes reprises à toutes les profondeurs et dans toutes les saisons de l'année<sup>(2)</sup>.

2<sup>o</sup> Les recherches de M. Brandenburg (V. § XXIX) qui annonce que d'après ses analyses, l'eau du lac Léman puisée à 250 mètres de profondeur contient d'une manière générale la même quantité de gaz dissous que l'eau de la surface.

3<sup>o</sup> Des recherches analogues faites dans la mer. J'ai sous la main les résultats de deux séries de recherches : Tout d'abord celles faites par M. W. Lant Carpenter pendant les trois croisières du *Porcupine* dans l'Océan atlantique<sup>(3)</sup>. Il n'insiste pas beaucoup sur le volume total des gaz dissous dans l'eau de mer aux diverses profondeurs ; voici les deux seules phrases où il en parle :

(1) *Aimé* avait déjà employé ce mode de démonstration pour étudier la quantité d'air dissoute dans l'eau des couches profondes de la Méditerranée. (Annales de Chimie et de Physique, 3<sup>me</sup> série v. VII, p. 502. Paris 1843.

(2) Dans les sondages cités au § XXVII, p. 201.

(3) *W. Thomson* les abîmes de la mer. Appendice A. trad. Lortet, p. 430 sq. Paris 1875.

elles sont péremptoires : « Nous n'avons pas eu d'exemple que l'eau des couches profondes se soit montrée plus chargée de gaz en dissolution que les eaux de surface. »  
 « La quantité totale des gaz en dissolution contenus dans l'eau de mer, soit à la surface, soit au-dessous, est en moyenne de 2,8 volumes pour 100 volumes d'eau, » de 28 centimètres cubes par litre.

Quant aux proportions des différents gaz, voici les chiffres moyens que l'on peut tirer de ses très nombreuses analyses, soit d'eau de la surface (30 analyses), soit d'eau profonde depuis 45 à 3825 mètres (59 analyses),

	Eau de surface.	Eau profonde.
Oxygène.	• 25,1	20,6
Azote.	54,2	52,2
Acide carbonique.	20,7	27,2
	<hr/>	<hr/>
	100,0	100,0

Ces deux moyennes permettent de reconnaître la loi générale qui préside d'après ces recherches aux proportions relatives des gaz dissous dans l'eau, loi qu'on peut formuler ainsi : A mesure que l'on pénètre dans les couches plus profondes, l'on voit diminuer la proportion de l'oxygène et augmenter celle de l'acide carbonique. — Un fait intéressant et qui prouve l'importance de la faune profonde, c'est que la proportion de l'acide carbonique dissous dans l'eau varie avec la richesse de la faune, et augmente en même temps que le nombre des animaux.

J'ai encore les analyses de M. Jacobsen, faites dans la mer du Nord et la Baltique pendant les années 1871 et 1872, dans les expéditions de la *Pomerania* <sup>(1)</sup> ; il confirme

(1) O. Jacobsen. Ueber die Luft des Meerwassers. Annalen der Chemie und Pharmacie. T. 167. 1.

en partie, et complète sur divers points les résultats de W. L. Carpenter.

Pour ce qui regarde la quantité des gaz dissous dans l'eau de mer, il résume ses recherches dans cette phrase : « La somme de l'oxygène et de l'azote dissous dans l'eau est sensiblement semblable à la quantité de ces gaz que l'eau pourrait enlever à l'atmosphère, étant donnée sa température dans les couches profondes, moins une certaine quantité d'oxygène employé pour les oxydations. » Ce résultat est d'accord d'une manière générale avec ceux d'Aimé, de Carpenter, de M. Brandenburg, et avec mes conclusions.

Quant aux proportions des gaz, voici en résumé les résultats de Jacobsen.

*a.* La proportion d'oxygène et d'azote dissous dans l'eau de mer varie peu ; cette proportion est en moyenne de

33,9 d'oxygène.

66,1 d'azote.

---

100,0

dans l'eau de surface. La quantité relative d'oxygène est un peu plus faible dans les profondeurs, et s'est abaissée dans une analyse à 28,2 pour 100.

*b.* Quant à la quantité d'acide carbonique, elle est encore moins variable que les quantités d'oxygène et d'azote, mais elle est beaucoup plus considérable qu'on ne l'a cru jusqu'à ces recherches. L'acide carbonique dissous dans l'eau de mer est en effet très difficile à expulser, et son dégagement nécessite des manipulations beaucoup plus compliquées que celles employées jusqu'à présent. La quantité d'acide carbonique dissous dans l'eau de mer est d'environ 50 centimètres cubes par litre.

De ces diverses recherches, nous pouvons conclure que dans l'océan la quantité de gaz dissous n'augmente pas avec la profondeur. Nous n'avons pas de raison pour ne pas étendre cette conclusion à l'eau de nos lacs.

4<sup>o</sup> Je me fonde enfin sur le raisonnement.

Les couches profondes, soumises à une pression plus considérable, sont capables de dissoudre une plus grande quantité de gaz, mais elles ne se trouvent pas en situation d'en recevoir plus que les couches superficielles. En effet, elles ne peuvent recevoir cet excès de gaz que de l'atmosphère, et cela de deux manières : ou bien directement lorsque ces couches sont en rapport avec la surface, (l'eau du Rhône qui, en raison de sa température, va descendre dans les couches profondes du lac ; l'eau de la surface qui en automne se refroidit et descend aussi jusqu'à la couche correspondante à sa nouvelle densité), mais alors ces eaux sont sous la pression normale, et en se saturant elles ne peuvent pas arriver à contenir plus d'air que les eaux de la surface elle-même ; ou bien indirectement, par diffusion — les couches superficielles livrant aux couches intermédiaires, qui livrent elles-mêmes aux couches profondes, les gaz qu'elles prennent à l'atmosphère. La couche superficielle peut se saturer au contact de l'air et obtenir ainsi ses 28 à 30 centimètres cubes de gaz par litre ; la couche suivante, si elle contient moins de gaz que cette quantité peut en recevoir par diffusion de la couche superficielle. Mais si la seconde couche est déjà aussi riche en gaz dissous que la première, la diffusion ne peut plus avoir lieu, et quelque capable qu'elle soit de dissoudre plus de gaz, cette couche relativement profonde ne pourra pas en dissoudre plus que la couche superficielle

n'en a dissous, n'étant pas en rapport avec une couche contenant plus de gaz qu'elle. La diffusion ne peut se faire qu'aux dépens d'une couche contenant une plus grande quantité des gaz qu'il s'agit de dissoudre. De cette manière, les couches profondes ne pouvant recevoir assez de gaz pour satisfaire à leur plus grande capacité de dissolution, en contiennent en définitive la même quantité que les couches superficielles.

Il y a cependant deux différences signalées par Carpenter et Jacobsen, et qu'il nous faut expliquer :

1<sup>o</sup> La quantité d'oxygène est moins considérable dans les fonds qu'à la surface. Cela s'explique facilement soit par l'oxydation des substances organiques en suspension dans l'eau, soit par les combustions respiratoires de la faune profonde. L'oxygène absorbé tend sans cesse à être rendu à l'eau par diffusion depuis les couches superficielles (1).

2<sup>o</sup> La quantité de gaz dissous dans l'eau va en augmentant légèrement avec la profondeur, puisque d'après la loi de Jacobsen, cette quantité correspond à la température de l'eau dans les couches diverses : or l'eau de la profondeur est, en été du moins, plus froide que celle de la surface,

(1) Je m'explique bien ainsi l'un des temps des phénomènes qui maintiennent l'équilibre gazeux dans ses rapports avec la respiration animale, sans l'intervention d'une flore lacustre, absente dans les régions profondes; l'oxygène enlevé à l'eau lui est rendu par simple diffusion. Je m'explique moins facilement la manière dont l'acide carbonique dégagé par la respiration des animaux est enlevé à l'eau et ne s'accumule pas indéfiniment dans les couches profondes; peut-être s'unit-il au carbonate de chaux pour en faire un bicarbonate soluble.

et l'eau plus froide est, à pression égale, capable de dissoudre plus de gaz que l'eau chaude. Donc l'eau des couches profondes doit contenir plus de gaz dissous que l'eau de la surface, si la loi de Jacobsen est vraie. Ce point je l'ai vérifié dans notre lac en constatant que, ainsi que je l'ai dit plus haut, à mesure que l'eau retirée des grandes profondeurs se réchauffe à l'air, je vois un léger dégagement de bulles de gaz sur les parois du vase; étant saturée à une température un peu plus élevée, je puis admettre qu'elle était saturée à une température plus basse. Comment expliquer que l'eau contient partout une quantité d'air dissous en rapport à sa température, que par conséquent les couches profondes plus froides contiennent plus d'air dissous que les couches superficielles plus chaudes; comment mettre ce fait en accord avec ce que nous venons de voir que les couches profondes ne peuvent pas recevoir plus d'air, et par conséquent en dissoudre plus que les couches superficielles? Voici comment je me rend compte de cette apparente anomalie: La diffusion des couches superficielles aux couches profondes a lieu été comme hiver; en hiver les couches superficielles sont plus froides, peuvent dissoudre plus de gaz, peuvent en livrer plus aux couches profondes: en hiver les couches profondes contiennent autant de gaz dissous qu'en peuvent dissoudre les couches superficielles à la température de 4° environ. Mais en été les couches de la surface se réchauffent, perdent de leur capacité à dissoudre les gaz, et rendent à l'atmosphère l'excès de gaz qu'elles avaient dissous. Les couches profondes vont elles en faire de même; va-t-il se faire une diffusion de bas en haut? Il n'y a aucune nécessité à cela; les couches profondes continuent à n'être pas saturées, et n'ont par

conséquent aucune raison de livrer des gaz qui ne sont pas en excès chez elles ; d'une autre part, les couches superficielles n'ont aucune raison pour demander aux couches profondes des gaz, car elles-mêmes sont sursaturées. Il n'y a donc rien qui détermine une diffusion de bas en haut, des couches profondes aux couches superficielles, et les couches profondes peuvent en conséquence garder en dissolution la faible quantité de gaz en excès qu'elles ont reçue pendant l'hiver.

En résumé, le raisonnement et l'expérience arrivent au même résultat et nous pouvons admettre que les couches profondes de nos lacs contiennent sensiblement le même volume d'air dissous que les couches superficielles.

Ainsi se résolvent les difficultés physiologiques qui nous avaient arrêtés ; il n'y a plus à ce point de vue de paradoxe ni d'impossibilité qui nous étonnent dans les phénomènes de la respiration et dans les migrations des animaux des couches profondes de nos lacs.

F.-A. F.

---

(La suite de cette II<sup>e</sup> série des Matériaux, comprenant la partie spéciale et les descriptions zoologiques, sera publiée dans le N<sup>o</sup> suivant du Bulletin).