

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 23 (1887-1888)
Heft: 96

Artikel: Le ravin sous-lacustre du Rhône dans le Lac Léman
Autor: Forel, F.-A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-261388>

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: 06.01.2026

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

LE RAVIN SOUS-LACUSTRE DU RHONE

DANS LE LAC LÉMAN

par M. F.-A. FOREL, de Morges.

Le bureau topographique fédéral a fait lever, dans les dernières années, les cartes hydrographiques du lac de Constance (1883), du lac des IV Cantons (1884) et du lac Léman, partie du Haut-lac (1885), à l'échelle de 1 : 25000, pour les faire entrer dans l'Atlas des minutes de la carte fédérale, dit Atlas Siegfried. M. le colonel J.-J. Lochmann, chef de ce bureau, a confié le travail de ces cartes à M. J. Hörnlimann. Les sondages très attentifs et très consciencieux de cet ingénieur ont révélé un fait curieux et fort intéressant, jusqu'alors absolument ignoré de la géographie physique.

Les grands fleuves alpins, le Rhin et le Rhône, à leur entrée dans le lac, continuent leur cours dans de vastes ravins sous-lacustres, creusés dans le cône d'alluvion submergé, ravins qui se poursuivent fort loin de l'embouchure, à plusieurs kilomètres, et jusqu'à de grandes profondeurs dans le lac, à plus de cent mètres sous la surface des eaux.

La feuille 78 de l'Atlas Siegfried, déjà publiée, et la feuille 81, non encore parue, montrent le fait à l'embouchure du Rhin, dans le lac de Constance; la feuille 466, actuellement en préparation, le fera voir pour l'entrée du Rhône dans le lac Léman.

M. l'ingénieur en chef Ad. de Salis, inspecteur des travaux de la Confédération, a décrit le phénomène à l'embouchure du Rhin et l'a reproduit dans une carte à 1 : 25000¹. Je l'ai moi-même décrit en 1885, en étudiant l'embouchure du Rhône².

Voici d'abord les faits brièvement résumés.

Le ravin sous-lacustre du Rhin est connu sur 4 kilom. de longueur et jusqu'à 140 m. sous la nappe des eaux; dans son profil

¹ Ad. v. SALIS. Hydrotechnische Notizen, II, Die Tiefenmessungen im Bodensee. *Schweiz. Bau-Zeitung*, 31 mai 1884, p. 127.

² F.-A. FOREL. *Les ravins sous-lacustres des fleuves glaciaires*. Comptes-rendus Acad. sc. Paris, CI, 725, 1885.

de plus grand développement, il mesure 600 m. de largeur et 70 m. de profondeur.

Le ravin sous-lacustre du Rhône a été suivi jusqu'à plus de 6 kilom. de l'embouchure du fleuve; sa largeur varie de 500 à 800 m.; la profondeur de la tranchée, qui atteint 50 m. à 800 m. du rivage, est encore de 10 m. au-delà de St-Gingolph, par 230 m. de fond.

Le ravin est constitué par un sillon creusé dans le talus général du cône d'alluvion sous-lacustre, ou plutôt par deux digues latérales faisant saillie de chaque côté de la tranchée; le talus interne de ces digues, celui qui regarde le ravin, est beaucoup plus incliné que le talus externe, qui rejoint en pente douce la surface générale du cône d'alluvion; entre les digues, le fond du ravin est à peu près au niveau de cette surface du cône d'alluvion, dans le cas du Rhône; il est sensiblement plus profond, dans le cas du Rhin.

Le ravin n'est point rectiligne; il est plusieurs fois contourné en courbes adoucies, alternant de direction; dans le Léman, il est à peu près parallèle à la ligne du rivage, qu'il suit presque exactement à deux kilomètres en avant de la rive, du Bouveret à St-Gingolph et au Leucon.

Des ravins analogues, quoique moins profonds, sont visibles à l'embouchure d'anciens lits des fleuves, devant le village d'Altenrhein, au lac de Constance, et devant le canal qui porte le nom de Vieux-Rhône, au lac Léman; on pourrait encore en retrouver des indices dans deux autres ravins très effacés, creusés dans le talus du lac, entre le Vieux-Rhône et Villeneuve.

Ces ravins sous-lacustres, si bien indiqués dans les deux cas que je viens de décrire, n'ont pas encore été retrouvés ailleurs. En particulier, à l'embouchure de la Reuss, dans le lac des IV Cantons, M. Hörnlimann, qui avait découvert le phénomène l'année précédente dans le lac de Constance, l'a recherché attentivement dans les sondages qu'il fit en 1884 pour l'établissement de la carte hydrographique; il n'en a pas trouvé trace. Je ne parle pas de l'embouchure de l'Aar dans le lac de Brienz; quand, en 1866, MM. W. Jacky et F. Lindt ont levé la carte hydrographique de ce lac, le fait n'était pas encore connu, et il peut avoir échappé à l'attention d'observateurs non prévenus.

Des ravins analogues à ceux qui nous occupent ont été signalés dans l'Océan, devant les embouchures actuelles ou d'anciennes embouchures de fleuves. Ils ont même des proportions

bien plus considérables que ceux de nos fleuves alpins. D'après la description de M. J.-Y. Buchanan¹, d'Edimbourg, qui a étudié ceux de la côte occidentale d'Afrique dans l'expédition du *Buccaneer*, le grand cañon sous-marin du Congo se prolonge jusqu'à près de 200 kilom. en mer; sa tranchée, qui mesure jusqu'à 11 kilom. de large, a une profondeur au-dessous de ses berges atteignant près de 1000 m. La *fosse du petit Bassam*, appelée aussi « Bottomless Pit », sur la côte d'Ivoire, probablement devant une ancienne embouchure de l'Akba, a des profondeurs de plus de 400 m., une largeur de 7 kilom. et une longueur de 20 km. environ. Un autre de ces ravins sous-marins, connu sous le nom de *Fosse de l'Avon*, à l'est de Lagos, au fond du golfe de Bénin, est moins évidemment développé. Sur les côtes de France, la *fosse du Cap Breton*, située devant une ancienne embouchure de l'Adour, représente un ravin de plus de 250 m. de creux et de 1 à 2 km. de largeur sur 10 km. environ de longueur. Je ne donne pas ici la description de ces *fosses* sous-marines; je ne veux pas en discuter la théorie, ignorant trop les conditions physiques qui pourraient les expliquer. Leur théorie² est évidemment fort différente de celle des ravins sous-lacustres qui nous occupent.

Quelle est la cause, l'origine, des ravins sous-lacustres du Rhin et du Rhône? Est-ce un fait d'érosion, creusement de la rigole? est-ce un fait d'alluvion, dépôt d'alluvion sur les digues latérales? est-ce un fait d'orographie primitive apparaissant encore aujourd'hui sous l'alluvion envahissante des fleuves?

J'étudierai ces trois solutions, en me basant sur les faits du lac Léman qui me sont les mieux connus.

¹ J.-Y. BUCHANAN. On the land slopes, separating continents and ocean basins, etc. The scottish Geograph. Magazine, May 1867.

² La théorie de M. Buchanan (loc. cit.) me paraît la plus plausible de celles qui ont été proposées; il admet, pour expliquer la fosse du Congo, que, sous le courant fluvial qui se continue à la surface de la mer, il règne un contre-courant marin profond qui s'oppose au dépôt de l'alluvion. Ce dépôt ne peut avoir lieu que sur les côtés du courant principal, et le ravin sous-marin reste ainsi protégé. Ce serait donc un fait d'alluvion latérale, et de non alluvion ou d'alluvion presque nulle sur l'axe du courant.

M. Enrico Stassano (la fosse del Congo, Rendic. delle R. Accademia dei Lincei, 6 giugno 1886) voit dans le ravin sous-marin du Congo un ancien lit de fleuve à l'air libre submergé dans un affaissement du continent africain.

Ecartons tout d'abord la dernière de ces hypothèses, en la formulant dans des termes plus précis. On pourrait supposer que, lors de la formation originale du lac Léman, du lac de Constance, une fissure profonde des couches terrestres aurait dessiné un *thalweg* au fond de la grande vallée qui a été remplie par les eaux; que l'alluvion déposée par le fleuve, en adoucissant les reliefs du fond primitif, ne serait pas encore arrivée à les niveler entièrement; que le ravin, trouvé par Hörnlimann, serait l'indice encore subsistant de la fissure primordiale. Cette hypothèse est insoutenable. L'alluvion est trop puissante dans ces régions, à l'embouchure d'un puissant fleuve alpin qui charrie une masse énorme de limon glaciaire, pour ne pas avoir dès longtemps effacé tous les détails du relief primitif du lac; je n'en veux pour preuve que la régularité admirable de cet immense talus, à pente de 1 %, qui s'étend des bouches du Rhône jusqu'à la grande plaine de profondeur maximale, entre Ouchy et Evian. Le seul accident de ce cône d'alluvion submergé est le ravin qui nous occupe; si le relief primitif du lac apparaissait encore sous le revêtement de l'alluvion moderne, nous y verrions bien d'autres irrégularités.

Un argument puissant contre l'idée que je combats est la position de la section de plus grand développement des ravins sous-lacustres. C'est tout près de l'embouchure du fleuve que se trouve le maximum de creusement du ravin, le maximum de surélévation de ses digues. Or c'est précisément là que les phénomènes d'alluvion sont les plus actifs; puis, à mesure que l'on s'éloigne des bouches du fleuve, là où l'action des courants et de l'alluvion doit aller en diminuant, on voit le ravin diminuer de relief. L'hypothèse d'une fissure primitive conservée sous le revêtement de l'alluvion moderne demanderait au contraire le comblement complet du ravin, là où l'alluvion est la plus active, et son apparition toujours plus évidente, là où les phénomènes de transport vont en décroissant.

Enfin, un dernier argument décisif contre cette hypothèse, c'est la similitude presque complète des faits dans les deux exemples de ravins sous-lacustres que nous connaissons, celui du Rhône et celui du Rhin. Cette similitude exclut la possibilité d'accidents locaux qui seraient presque nécessairement différents d'un cas à l'autre; elle indique une action générale analogue, identique, évidemment encore agissante. Elle suffit à

écarter l'hypothèse de la nature orographique primitive des ravins sous-lacustres qui nous occupent.

C'est donc à des actions modernes, actuelles, que nous devons attribuer l'établissement de la rigole. Quels sont les faits qui peuvent intervenir ? Action d'érosion ? action d'alluvion ?

Je reproduis ici, en traduction libre, l'explication qu'a donnée M. Ad. de Salis : « Les faits semblent montrer que d'abord un cône d'alluvion s'est formé sous l'eau, puis que sur ses flancs un ravin s'est creusé, analogue à ceux que les torrents dessinent sur leur cône de déjection à l'air libre. Est-ce bien exact ? Le Rhin a-t-il commencé par établir dans le lac cet immense cône d'alluvion de 6 à 7 km. de long ? Le Rhin a-t-il ensuite creusé cette énorme rigole de 70 m. de profondeur, de 80 m. de largeur à sa base ? Il semble qu'à ces deux questions il doit être donné des réponses affirmatives, quelque fortes que puissent être les objections qui s'élèvent immédiatement. Ensuite on peut se demander si réellement l'eau et les alluvions du Rhin s'écoulaient dans la profondeur, dans ce thalweg sous-lacustre. Si cela n'était pas, il est évident que le ravin aurait été comblé depuis longtemps par les alluvions puissantes du fleuve. Il est, du reste, un phénomène souvent observé et décrit à l'embouchure du Rhin et du Rhône : le courant du fleuve entre dans le lac et s'arrête brusquement suivant une ligne franchement accusée contre laquelle viennent battre les vagues du lac ; il y a limite tranchée entre les eaux troubles du fleuve et les eaux claires du lac. On peut expliquer ce phénomène, connu sous le nom de *Brech* au lac de Constance, de *Bataillière* au lac Léman, en constatant que l'eau du fleuve s'enfonce dans la profondeur, et l'on peut attribuer cette chute à la différence de température des deux eaux. »

Dans ma communication préliminaire sur ce sujet, j'ai proposé l'interprétation suivante, basée sur les faits alors connus. J'ai admis que, pendant l'été, le courant du Rhône, alourdi par sa température froide et par la charge d'alluvion, descendrait le long des talus du lac jusqu'à la profondeur de 30-60 m., puis qu'il s'étalerait en nappe horizontale entre deux eaux, dans la couche correspondant à sa densité ; que pendant l'été il pourrait par conséquent creuser par érosion la partie supérieure du ravin sous-lacustre, mais que pour la partie profonde de ce ravin il la recouvrirait, comme tout le reste du cône submergé, par la

pluie fine et uniforme de son alluvion. J'ai admis ensuite que, au printemps et en hiver, l'eau du fleuve, se rapprochant du maximum de densité (à 4° C.), arriverait à être plus lourde que les eaux, même les plus profondes, du lac ; que dans cette saison, par conséquent, le fleuve devrait prolonger son courant en suivant la ligne de plus grande pente du talus, et contenu entre les digues latérales préexistantes, former un courant descendant jusqu'aux plus grands fonds du lac ; que ce courant limité et endigué pourrait éroder l'argile lacustre, très légère, de dépôt récent, et approfondir le ravin préexistant. De cette manière, je croyais à une action d'érosion pendant toute l'année dans les parties supérieures du ravin, là où il est à son maximum de relief ; je croyais à une action d'érosion temporaire, limitée à quelques semaines ou à quelques jours peut-être pendant l'hiver, conservant et rétablissant chaque année le ravin jusque dans les plus grands fonds du lac.

Cette théorie provisoire était un peu compliquée. Elle réclamait une vérification complète des faits qui étaient insuffisamment connus. Cette vérification des faits, je puis la fournir actuellement ; elle nous amènera à une compréhension plus simple et plus juste du phénomène.

J'ai à étudier les allures du fleuve à son entrée dans le lac. Ces allures dépendent des facteurs suivants :

- 1° La masse d'eau transportée par le fleuve ;
- 2° La température relative des eaux du fleuve et du lac ;
- 3° La quantité de matières dissoutes par les eaux fluviales et lacustres ;
- 4° La quantité d'alluvion en suspension dans les eaux fluviales.

Je prendrai successivement ces divers facteurs :

I. *Débit du Rhône*. Je dois à l'obligeance de M. A. Bürkli-Ziegler, ingénieur en chef, à Zurich, des tracés graphiques donnant le débit des eaux en fonction de la hauteur du fleuve mesurée au pont de Chessel (Porte du Scex), observations de 1879-1884, et au pont de Collombey, observations de 1874-1877¹. J'en

¹ Les observations fluviométriques qui servent de base au calcul, sont celles des gendarmes valaisans, publiées dans les Observations hydrographiques suisses.

ai profité pour calculer le débit du fleuve dans les années 1879 et 1886. J'en donne les valeurs mensuelles, en mètres cubes à la seconde, moyennes entre les deux chiffres obtenus dans les deux séries d'observations ¹.

	1879.	1886.
Janvier	62	47
Février	60	42
Mars	62	57
Avril	77	79
Mai	110	132
Juin	442	199
Juillet	466	362
Août	533	282
Septembre	337	227
Octobre	123	123
Novembre	78	84
Décembre	56	48

Ces chiffres qui se résument en un débit moyen annuel de 200 m³ à la seconde pour 1879, et de 142 m³ pour 1886, montrent les allures du Rhône aux diverses saisons. Les eaux sont beaucoup plus abondantes en été par suite de la grande fonte des neiges, des neiges basses d'abord, des neiges éternelles et des glaciers ensuite; en hiver, au contraire, le fleuve est réduit à un débit très minime.

¹ La justesse suffisante des calculs de l'année 1879 est prouvée par la concordance à peu près exacte des moyennes des deux séries d'observations du débit annuel, 200 m³ observations de Collombey, 190 m³ observations de la Porte du Scex. Mais il faut tenir compte du fait que dans l'année 1879, le débit du Rhône a été extraordinairement élevé. Je puis en juger par les hauteurs d'eau du lac Léman qui dans cette année ont été :

Pour les moyennes de . . .	427 ^{mm}	au-dessus de la normale.
Pour le maximum	504	» » »
Pour le minimum	493	» » »

(Voir F.-A. Forel, Contributions à la limnimétrie du lac Léman, série V. Bull. S. V. S. N. XVII, tableau xxi, p. 311, 1881).

Pour l'année 1886, qui a été beaucoup plus près d'une année normale, les débits du Rhône sont moins sûrs; ils datent d'une année assez éloignée de l'époque où les jaugeages ont été exécutés, et la concordance entre les deux séries est bien moins satisfaisante. Moyenne du débit annuel, 127 m³ d'après les observations de Collombey, 158 m³ d'après celles de la Porte du Scex.

II. *Température du Rhône.* Les données que nous possédions sur ce sujet étaient tout à fait insuffisantes : quelques observations isolées ne pouvaient nous apprendre les allures de la température de notre grand fleuve alpin. Je me suis donc mis en position de faire observer pendant une année entière la chaleur des eaux du Rhône.

J'ai reçu du Département militaire vaudois l'autorisation de demander l'aide des gendarmes en station au Pont de St-Maurice. L'appointé Bourgeois et le gendarme Bettemps ont mis la meilleure volonté à répéter chaque jour, à midi, une mesure de la température du Rhône. Le tableau qu'ils m'ont fourni offre très peu d'observations donnant prise à la critique. J'en ai tiré pour l'année 1886 les moyennes mensuelles suivantes :

Janvier . . .	1.6°C.	Juillet . . .	9.7°C.
Février . . .	2.3	Août . . .	9.7
Mars . . .	5.0	Septembre .	9.3
Avril . . .	9.3	Octobre . .	8.4
Mai . . .	10.5	Novembre .	4.8
Juin . . .	10.5	Décembre .	2.1

D'où je tire les moyennes de saisons :

Hiver ¹	2°0
Printemps	8°3
Été	10°0
Automne	7°5

Ou en les groupant mieux :

Saison froide, de novembre à mars . . .	3°2
Saison chaude, d'avril à octobre . . .	9°6
Moyenne de l'année	6°9
Maximum, le 21 mai	12°7
Minimum, quand le Rhône charriait . .	0°

Jusqu'au 17 mars, la température est restée inférieure à 5° C. Elle s'est élevée au-dessus de ce chiffre du 18 mars au 19 novembre, soit pendant huit mois entiers ; dans les dernières semaines de l'année, elle est redescendue au-dessous de 5°.

Pour apprécier l'amplitude de la variation diurne, j'ai fait faire encore quelques mesures le matin et le soir ; l'amplitude, assez variable d'un mois à l'autre, s'est élevée jusqu'à 4° ; en général, elle est restée inférieure à 2°.

¹ Hiver météorologique : Décembre, janvier, février.

III. *Température du lac Léman.* On connaît les allures de la température du lac.

En automne et en hiver, le refroidissement des couches supérieures et les courants de convection qui en résultent amènent l'uniformisation de la température dans des couches de plus en plus épaisses, tellement qu'à la fin de l'hiver la température est la même dès la surface jusqu'aux plus grands fonds. Au premier printemps de 1886, la température du Léman était 5.0° C.

Au printemps et en été le lac se réchauffe par sa surface supérieure et se stratifie en couches d'autant plus chaudes qu'elles sont plus élevées. Sans entrer dans le détail de cette stratification thermique que j'ai étudiée ailleurs ¹, je donnerai ici un seul sondage thermométrique, fait au milieu du lac, devant Ouchy, le 25 juin 1886 ; il montrera la température du lac Léman, au milieu de l'été qui nous intéresse :

0 m. . . .	17.5°	140 m. . . .	5.4°
10	14.8	160	5.3
20	12.6	180	5.3
30	9.2	200	5.2
40	8.0	220	5.1
60	6.4	240	5.0
80	6.1	260	5.0
100	5.5	300	5.0
120	5.5		

Quant aux variations mensuelles de la température superficielle de l'eau dans le Grand-Lac, je les déduirai des observations de Genève, en apportant à celles-ci la correction provisoire que j'ai tirée de la comparaison entre mes observations de température pélagique dans le Grand-Lac, et les lectures simultanées faites dans le port de Genève. Voici ces moyennes mensuelles (approximatives) de l'année 1886 :

Janvier	6.1°	Juillet	19.6°
Février	5.0	Août	18.9
Mars	5.5	Septembre . .	20.2
Avril	8.1	Octobre . . .	14.0
Mai	11.0	Novembre . .	10.9
Juin	15.2	Décembre . .	8.0

¹ F.-A. FOREL. Températures lacustres, I. Arch. de Genève, III, 501 sq. 1880. — Faune profonde des lacs suisses, p. 15. Bâle et Genève, 1885. — Le lac Léman, précis de géogr. phys., p. 31. Genève, 1886.

IV. *La température du Rhône en 1886 comparée à celle du lac Léman.* De ces différentes séries d'observations, il résulte que, dans l'année 1886 :

a) Pendant l'hiver, jusqu'au 18 mars, le Rhône du Valais a été plus froid que le lac à sa surface et dans les grands fonds.

b) Pendant le printemps, de la fin de mars à la fin de juin, pendant la fonte des neiges basses, alors que le lac se réchauffait par sa surface, le Rhône était tantôt plus chaud, tantôt plus froid que les eaux de surface du lac ; mais il était toujours plus chaud que les eaux profondes.

c) Pendant tout l'été et une partie de l'automne, jusqu'à mi-novembre, le Rhône a été constamment plus froid que les eaux de surface du lac, et plus chaud que les eaux profondes. On trouvait dans le lac la température de 9° à 12° qui correspondait à celles des eaux du Rhône, à une profondeur de 20 à 30 m. sous la surface.

d) Dans la fin de l'année les rapports de température ont repris les allures de l'hiver ; le Rhône était plus froid que le lac.

Je donnerai les chiffres qui montrent les rapports de la température du Rhône avec les eaux de surface du lac ; je ferai la différence entre la température moyenne mensuelle des deux eaux, les chiffres positifs étant appliqués aux cas où le lac est plus chaud que le Rhône.

Janvier . . .	+ 4.5°	Juillet . . .	+ 9.9°
Février . . .	+ 2.7	Août . . .	+ 9.2
Mars . . .	+ 0.5	Septembre . .	+ 10.9
Avril . . .	— 1.2	Octobre . . .	+ 5.6
Mai . . .	+ 0.5	Novembre . .	+ 6.1
Juin . . .	+ 4.7	Décembre . .	+ 5.9
Année + 4.9°.			

Autrement dit, le Rhône est, sauf quelques journées du printemps, toujours plus froid que la surface du lac ; pendant la saison chaude il est plus chaud, pendant les mois d'hiver il est plus froid que l'eau profonde.

Si, partant de ces données sur la température relative des deux eaux en présence, on y introduit la notion du maximum de densité de l'eau douce, à 4° C., on peut déduire les densités relatives des eaux du Rhône et du lac. Par le fait de leur température, et en admettant pour un moment que la température déterminerait à elle seule les densités relatives :

1° Pendant l'hiver les eaux du Rhône seraient plus légères que les eaux du lac et s'étaleraient à sa surface.

2° Pendant l'été elles seraient plus lourdes que les eaux de surface du lac, plus légères que les eaux profondes, et s'étaleraient en nappe horizontale, entre deux eaux, à la profondeur de 10, 20, 30 ou 40 mètres.

— Mais les eaux du Rhône et celles du lac ne sont pas de l'eau pure. Elles contiennent les unes et les autres des matières en solution et des matières en suspension, en proportions différentes, qui doivent entrer en ligne de compte dans une question de densité relative. Etudions-les successivement.

V. *Matières en solution et en suspension dans l'eau du lac Léman.* L'eau du lac contient en dissolution une quantité invariable de sels divers, que des analyses nombreuses nous ont appris être de 174 milligrammes par litre ¹.

J'ai calculé, d'après la proportion et la nature de ces substances, que la densité du résidu fixe est de 2.4.

Quant aux matières en suspension dans l'eau du lac, elles varient beaucoup en nature et en quantité. Lorsqu'un torrent débordé a versé ses eaux bourbeuses dans le lac, celui-ci en est sali, et les eaux, normalement d'un bleu presque pur, prennent une teinte verdâtre caractéristique; pendant quelques jours elles portent en suspension de l'alluvion minérale, qui ne tarde du reste pas à se déposer sur le fond. Ce n'est qu'un accident local et temporaire; à l'état normal l'eau du lac, comme toute eau dormante, ne contient pas de matières lourdes en suspension.

En revanche, elle renferme en abondance des poussières organiques, micro-organismes vivants ou débris d'animaux et végétaux morts, qui lui donnent la teinte opaline des eaux d'été. L'étude de la transparence du lac ² nous a montré les variations dans la quantité de ces matières et leur beaucoup plus grande abondance en été qu'en hiver. Mais ces poussières organiques flottent dans l'eau sans s'élever, sans s'abaisser notablement; elles ont à peu de chose près la densité de l'eau. Elles ne peuvent donc pas modifier sensiblement la densité de l'eau du lac. Laissons-les de côté, sans nous en occuper autrement.

¹ Voir Faune profonde, loc. cit., p. 37.

² F.-A. FOREL. Etude sur les variations de la transparence des eaux du lac Léman. Arch. de Genève, LIX, 137. 1877.

VI. *Matières en solution et en suspension dans les eaux du Rhône.* Nous ne possédions aucune notion sur la composition des eaux du Rhône du Valais; j'ai dû chercher à m'en procurer.

M. le chanoine Besse, professeur de physique au collège de l'Abbaye de St-Maurice, a eu l'obligeance de prendre pendant l'année 1886, dans des conditions variables, 15 échantillons d'eau puisés directement dans le fleuve. Ces échantillons ont été étudiés par M. B. Buenzod, pharmacien à Morges, qui en a déterminé, par filtration, la teneur en alluvion suspendue, par évaporation à siccité, la teneur en sels dissous.

Je donne dans le tableau suivant les résultats des analyses de M. Buenzod, exprimés en grammes par litre, et je mets en regard de ces chiffres, d'une part la température du fleuve telle qu'elle a été mesurée par les gendarmes du poste vaudois de St-Maurice, d'une autre part le débit approximatif du fleuve, en mètres cubes à la seconde, calculé comme nous l'avons dit plus haut, d'après la hauteur des eaux aux échelles du pont de Collombey et de la Porte du Scex.

N°	Date.	Débit du fleuve.	Température de l'eau.	Matières dissoutes.	Matières suspendues.
I	11 janvier	. 48 ^{m³}	0.0°	0.23 gr.	0.065 gr.
II	21 février	. 40	2.7	0.23	0.08
III	17 mars . .	42	4.2	0.25	0.039
IV	22 » . .	62	7.2	0.25	0.29
V	2 avril . .	80	9.7	0.28	0.33
VI	27 » . .	87	11.5	0.23	0.85
VII	12 mai . .	102	12.2	0.25	1.20
VIII	21 » . .	195	12.7	0.25	1.85
IX	7 juin . .	257	9.7	0.23	1.52
X	6 juillet . .	365	10.7	0.24	2.25
XI	30 » . .	298	9.7	0.19	0.89
XII	21 août . .	210	10.2	0.19	0.23
XIII	29 septembre	119	10.2	0.18	0.40
XIV	21 octobre .	114	7.7	0.185	1.05
XV	26 novembre.	74	1.7	0.192	0.15

Divers faits intéressants apparaissent de suite dans ces séries de chiffres :

a) Les matières dissoutes sont en quantités peu variables, oscillant autour de 24 centigrammes par litre de résidu sec dans la première moitié de l'année, oscillant autour de 19 centigrammes dans la deuxième moitié.

b) Cette teneur en sels dissous est notablement supérieure à celle des eaux du lac, que nous avons vue de 17 centig. par litre. Donc une partie des sels dissous dans l'eau du Rhône se précipitent, par un procédé quelconque, dans le lac.

c) La teneur en alluvion suspendue varie considérablement : en hiver elle est à peu près nulle et les eaux du fleuve, d'un bleu à peine teinté de vert, sont presque limpides ; elle s'élève dès le premier printemps, lors de la fonte des neiges basses, pour arriver à un maximum en été où elle dépasse 2 gr. par litre. Les eaux sont alors d'un gris jaunâtre et presque absolument opaques ; elles forment un écran impénétrable à l'œil sous quelques centimètres d'épaisseur. En automne, les eaux redevennent limpides et perdent leur charge d'alluvion.

d) La teneur d'alluvion en suspension croît à peu près régulièrement, en fonction directe de la hauteur des eaux du fleuve et de son débit ¹.

— Etant données ces notions sur la teneur différente et variable en matières, soit dissoutes, soit suspendues dans l'eau, pouvons-nous en déduire la densité relative des eaux du Rhône et du lac ? La question mérite d'être étudiée de près.

VII. *Densité relative d'eaux contenant des sels dissous.* De l'eau contenant une matière dissoute est plus ou moins dense que l'eau pure ; un sirop de sucre est plus lourd que l'eau, une solution alcoolique est plus légère.

La différence de densité est proportionnelle à la quantité de matières dissoutes, si les solutions sont de même nature ; pour deux solutions de nature différente la densité doit être proportionnelle aux densités relatives des matières dissoutes. Me basant sur ces propositions qui semblent évidentes, je comptais calculer la densité relative des deux eaux qui nous intéressent, en admettant que leur densité serait égale à celle de l'eau pure, plus le poids de la matière en solution, moins le volume de l'eau déplacée par cette matière.

¹ Une étude complète de la composition chimique de l'eau du Rhône, et de ses variations, serait du plus grand intérêt, et je ne saurais trop la recommander aux riverains de ce cours d'eau. Si l'on veut se rendre compte de la foule de faits curieux et importants que l'on peut tirer d'une telle recherche, que l'on consulte la remarquable étude sur les eaux de la Meuse, publiée en 1884 par MM. W. Spring et E. Prost, à Liège (Annales de la Soc. géol. de Belgique, XI, 123. 1884).

Un tel calcul est-il légitime? Incontestablement oui, si l'on peut déterminer dans chaque cas le volume d'eau déplacée dans l'acte de la solution, l'augmentation de volume de l'eau dans laquelle on fait dissoudre le sel.

Mais cette augmentation de volume diffère pour les divers sels. C'est ce que mon collègue, M. le professeur E. Chuard, de Lausanne, répondant à mes questions, a élucidé par l'exposé suivant :

« Il n'est pas possible de déduire, de la connaissance du poids et de la densité du résidu fixe de l'eau, la densité de la solution préexistante.

» J'ai pris, par exemple, du chlorure de potassium dont la densité est très approximativement 2 (en réalité 1.996); j'ai préparé deux solutions :

l'une au 1 % densité 1.0065

l'autre au 10 % » 1.0658.

» Les valeurs de ces densités sont données par Biedermann (Chemisches Kalender); je les ai vérifiées à l'aréomètre normal.

» Or par le calcul que vous proposez d'appliquer, on trouve :

1 ^{re} solution	995 cm ³ eau,	densité 1.0 =	995 gr.
	5 cm ³ KCl	» 2.0	10

Densité calculée . . 1.005

et non 1.0065 que donne l'expérience.

» Par le même calcul on trouve pour la 2^e solution une densité de 1.050 et non 1.0658.

» Il y a donc écart considérable sur les chiffres de l'expérience.

» D'autre part, même si l'on obtenait une concordance entre les chiffres calculés et ceux trouvés expérimentalement, on ne pourrait appliquer un raisonnement analogue à la détermination théorique de la densité de l'eau, étant connues la quantité et la densité moyenne du résidu fixe de l'eau. Il faudrait encore tenir compte, non-seulement des gaz en dissolution dans l'eau, mais encore du fait que la plus grande partie du résidu, les carbonates de calcium et de magnésium, sont en dissolution dans l'eau à l'état de bicarbonates, sels sur lesquels on n'a pas de données physiques, vu leur instabilité. »

Je m'incline devant les arguments de M. Chuard, et je reconnais qu'en calculant la densité de l'eau d'après la teneur en

sels dissous, je ferai une erreur. Mais cette erreur sera certainement faible; la différence dans la quantité des sels en dissolution dans les deux eaux n'est pas considérable, et la nature de ces sels est probablement à peu près la même, l'eau du lac pour la majeure partie étant de l'eau du Rhône. Tout en convenant donc qu'il y a une légère erreur probable dans mon calcul, j'établirai celui-ci de la manière suivante :

Eau du lac. Matières dissoutes . . . 174 mgr. par litre.

Densité calculée: 2.4.

Poids d'eau déplacée . . . 73 » »

Excès de poids . . . 101 » »

Eau du Rhône du 6 juillet 1886 (n° X) :

Matières dissoutes . . . 240 mgr. par litre.

Densité: 2.68.¹

Poids d'eau déplacée . . . 92 » »

Excès de poids . . . 148 » »

Il y aurait, d'après ce calcul, un excès de poids de 47 mgr. par litre en faveur de l'eau du Rhône, ce qui donnerait, toutes choses égales d'ailleurs, un excès de densité de 0.000047.

Je le répète, je sais que par un tel calcul je fais probablement une erreur; mais je sais que cette erreur est certainement peu forte et qu'elle n'est pas en tous les cas une erreur de signe. Je me sens en droit d'affirmer que, du fait des matières en dissolution dans l'eau, il y a un léger excès de densité dans les eaux du Rhône comparées à celles du lac, et qu'il y a lieu d'en tenir compte pour l'étude des densités relatives.

VIII. *Densité relative des eaux contenant de l'alluvion en suspension.* Tandis que l'eau du lac ne contient pas normalement de matières lourdes en suspension, l'eau du Rhône en est fortement chargée; la quantité a varié en 1886, d'après les analyses de M. Buenzod, de 0.04 à 2.25 gr. par litre. Cette alluvion augmente-t-elle la densité de l'eau?

Je n'avais pas mis cette question en doute, quand j'ai écrit ma première note sur les ravins sous-lacustres, ou quand je me suis occupé de l'inclinaison des plans isothermes dans les eaux

¹ Pour la densité des matières dissoutes dans l'eau du Rhône, j'ai pris 2.68, soit la densité de l'alluvion du fleuve, détermination de M. E. Chuard.

profondes du lac Léman¹. Mais quelques critiques m'ont été faites à ce sujet par des hommes de grande autorité, qui ont refusé d'admettre que des solides en suspension dans l'eau pussent augmenter la densité du liquide. Vous avez affaire, m'ont-ils dit, à de l'eau, ayant et gardant sa densité d'eau, qu'elle soit ou non traversée par des solides qui tombent dans cette eau.

J'ai donc dû reprendre la question *ab ovo* et chercher si l'alluvion en suspension dans un liquide augmente, oui ou non, la densité de ce liquide. J'ai traité le problème par voie d'expérience.

Exp. I. Dans un vase plein d'eau, j'ai laissé reposer au fond une masse d'argile lacustre moderne, alluvion du plafond du lac Léman. J'ai placé dans l'eau un aréomètre et j'ai laissé s'établir l'équilibre thermique. L'aréomètre est au zéro dans l'eau limpide; lorsque j'agite le limon pour le mettre en suspension dans l'eau, je vois l'aréomètre se soulever notablement, en indiquant que l'eau trouble est plus dense que l'eau limpide.

Exp. II. Sous une balance hydrostatique, j'ai suspendu par un fil une sphère de verre, alourdie par du plomb jusqu'à ce qu'elle dépassât de très peu la densité de l'eau. Je l'ai pesée successivement dans l'eau limpide et dans la même eau troublée par l'alluvion en suspension; j'ai constaté que, dans cette dernière, le solide pesait moins, que par conséquent la densité de l'eau était augmentée.

Ces deux expériences montrent un excès de densité dans l'eau chargée d'alluvion. Quelle est la valeur de cet excès? L'alluvion suspendue dans l'eau augmente-t-elle la densité de cette eau de tout son poids (pesé dans l'eau) ou seulement d'une fraction de ce poids? L'expérience suivante répond à cette question.

Exp. III. Je place un bassin plein d'eau chargée d'alluvion sur une balance sensible, et je l'équilibre exactement par des poids. Puis, alternativement, je laisse déposer l'alluvion au fond du vase ou je la mets en suspension dans l'eau en l'agitant avec une baguette. Je ne constate pas de différence appréciable dans le poids du bassin.

Le volume de l'eau n'a pas changé; que l'alluvion fût déposée au fond du vase, ou qu'elle fût en suspension dans l'eau, son poids n'a pas non plus changé. Donc la densité de l'eau trouble

¹ Comptes-rendus. Acad. sc. Paris, CII, 712. 1886.

est égale à la moyenne proportionnelle des deux densités de l'eau et de l'alluvion. Donc pour obtenir la densité de l'eau trouble, je n'ai qu'à additionner le poids de l'alluvion par unité de volume d'eau et à soustraire le poids de l'eau déplacée par l'alluvion.

Mais comment concilier cela avec l'expérience classique de Leibnitz ? Dans un vase d'eau posé sur une balance, on place un flotteur et on suspend sous celui-ci une balle de plomb, en équilibre avec des poids, puis on coupe le fil et on laisse tomber la balle à travers l'eau. Pendant tout le temps de la chute, la balance s'incline, et montre que le poids du vase, eau et plomb, s'est allégé ; l'équilibre ne se rétablit qu'au moment où la balle repose sur le fond du vase ¹.

Les résultats de cette expérience sont très différents de ceux que j'ai obtenus avec de l'alluvion impalpable. Dans l'expérience de Leibnitz, il y a diminution du poids du vase quand le solide traverse l'eau pendant la chute ; dans mon expérience III, il y a égalité de poids. D'où vient cette différence ?

Les seules conditions qui soient dissemblables résident dans les caractères du mouvement. Dans le cas de la balle de plomb, il y a chute accélérée dans l'eau ; le solide part de la vitesse initiale nulle, pour atteindre le fond du vase avant que les frottements de l'eau aient transformé le mouvement accéléré en un mouvement uniforme. Dans le cas de l'alluvion suspendue dans l'eau, vu la très petite masse des particules de l'alluvion impalpable, le mouvement devient très vite, presque immédiatement, un mouvement uniforme ; il n'y a plus trace d'accélération.

Ne pourrait-on pas modifier l'expérience de Leibnitz de telle manière que le gros solide que l'on fait tomber dans l'eau acquît l'uniformité de chute avant qu'il eût atteint le fond du vase ? J'y suis arrivé comme suit :

Exp. IV. Je place sur une balance une longue éprouvette pleine d'eau. Je dépose sur le même plateau de la balance un bloc de cire que j'ai alourdi avec du plomb jusqu'à lui donner une densité légèrement supérieure à celle de l'eau ; le poids de ce bloc placé dans l'eau est facilement appréciable à la sensibilité de ma balance. J'équilibre exactement avec des poids. Puis je jette dans l'eau le bloc de cire qui descend lentement, vu sa

¹ Voir la jolie variante de cette expérience par M. L. Dufour. Bull. Soc. vaud. sc. nat., XI, 322. Lausanne 1872.

faible densité, et qui, au lieu du mouvement accéléré de la balle de plomb de Leibnitz, prend bientôt un mouvement uniforme. Au même moment, la balance, qui avait fléchi pendant que je soutenais avec la main le bloc de cire, se remet en équilibre, longtemps avant que le solide ait atteint le fond du vase; elle garde, cela va sans dire, cette position d'équilibre quand le solide repose sur le fond. Le bloc de cire exerce le même effet sur la balance, qu'il soit suspendu dans sa chute de vitesse uniforme à travers l'eau, ou qu'il repose sur le plateau de la balance, qu'il soit dans l'eau ou qu'il soit hors de l'eau.

Exp. V. J'ai fait une variante de l'expérience précédente en employant, au lieu d'un bloc de cire de faible densité, une sphère lourde, dont le diamètre atteignait presque le diamètre interne de l'éprouvette. Dans sa chute à travers l'eau, la sphère lourde refoulait l'eau située au-dessous d'elle et la faisait passer au-dessus d'elle, en la forçant dans l'espace libre très étroit par où elle devait s'écouler; la chute était ainsi très ralentie et le mouvement devenait uniforme. Dans ces conditions aussi, l'équilibre de la balance était immédiatement rétabli.

J'ai parlé jusqu'à présent d'une augmentation de densité de l'eau par le fait de l'alluvion en suspension; l'expression n'est pas absolument exacte. Je devrais dire: l'eau, quand elle est chargée d'alluvion, se comporte comme s'il y avait augmentation de la densité. Ce n'est pas, en effet, une augmentation réelle de densité, car l'eau reste de l'eau, et sa densité d'eau n'est pas changée; mais il y a action mécanique, pression développée sur le fond du vase, déterminant par action dynamique un effet égal à celui d'une augmentation de poids statique. Cette action dynamique est prouvée par l'expérience suivante.

Exp. VI. Je suspends par un fil une balle de plomb dans un vase plein d'eau en équilibre sur une balance. Alternativement, je laisse tomber le solide dans l'eau ou je le relève. Pendant la chute, qu'elle soit lente ou rapide, accélérée ou uniforme, la balance s'infléchit du côté du vase, le vase s'alourdit; pendant le relèvement de la balle, le vase s'allège.

De ces diverses expériences, je conclus que l'eau, tenant en suspension de l'alluvion, comme l'eau du Rhône, se comporte comme si la densité était augmentée, et que cette augmentation de densité est proportionnelle à la charge d'alluvion.

Mon collègue, M. le professeur H. Dufour, de Lausanne, auquel j'avais posé la question qui me préoccupait, a fait de son

côté une série d'expériences plus ou moins analogues à celles que je viens de relater et est arrivé à la même conclusion que moi.

M. le D^r A.-A. Odin, professeur à Yverdon, a, d'autre part, traité la question par voie mathématique, et il m'autorise à publier son raisonnement dans les termes suivants :

« Le problème que nous nous proposons de résoudre est celui-ci :

» *Un corps tombant verticalement dans un liquide, quelle est, à un moment donné, la pression exercée par ce corps sur le fond du vase ou sur une paroi horizontale quelconque du liquide ?*

» Soit C le corps solide en question, m sa masse, P son poids, v la vitesse de haut en bas. La pression exercée par C sur la paroi inférieure B est uniquement transmise par la résistance du liquide; cette résistance est produite par des forces résultant, soit de la pression des molécules du liquide les unes sur les autres, soit de leur frottement; appelons r cette résistance. Le corps C est soumis à l'action des forces P et r , de sorte que l'équation de son mouvement est :

$$P - r = m \frac{dv}{dt}$$

t représentant le temps à partir du moment où C commence à se mouvoir, c'est-à-dire à $v = 0$.

» Cette équation nous suffit, à elle seule, pour la discussion complète du mouvement du corps C . En effet, au moment où ce dernier commence à tomber, la vitesse est nulle; mais alors la pression qu'il exerce sur le fond du liquide est égale au poids p d'un égal volume de ce liquide; donc, pour $v = 0$, on a $r = p$. Dès le commencement de la chute, la vitesse augmente et la résistance r augmente aussi, car à la pression hydrostatique p vient s'ajouter une pression hydrodynamique provenant du frottement de l'eau. Si nous admettons, ce qui paraît évident, que r croisse en même temps que v , nous voyons par l'équation ci-dessus que cette augmentation de valeur doit durer tant que $\frac{dv}{dt}$ ne sera pas devenu nul, c'est-à-dire tant que r ne sera pas égal à P . Lorsque cet état sera atteint, le mouvement du corps C sera devenu uniforme, et la pression r exercée par lui sur la paroi B sera égale à son poids.

» C'est ce qui a lieu pour les particules solides en suspension dans un liquide, et qui se meuvent du haut en bas. Pour les particules se mouvant obliquement, la loi n'est pas la même; on le

reconnait immédiatement en considérant celles qui se meuvent horizontalement ou verticalement de bas en haut. Nous pouvons donc énoncer cette conclusion :

» *Lorsqu'un liquide contient une matière solide en suspension, on peut calculer directement sa densité en ajoutant le poids des particules solides au poids du liquide, à la condition que l'on soit en droit d'admettre que la presque totalité des particules solides se meuvent verticalement de haut en bas.* »

M. Odin arrive ainsi par la théorie pure au même résultat que nous avait donné, à M. Dufour et à moi, la voie d'expérimentation physique.

Je suis donc fondé à faire le calcul suivant :

Le 6 juillet 1886, l'eau du Rhône contenait une charge de 2.25 gr. par litre, d'alluvion impalpable sèche.

Cette alluvion, nous la connaissons quand elle est déposée au fond du lac. M. le professeur E. Chuard a eu l'obligeance de déterminer la densité d'un échantillon d'argile lacustre dragué par M. J. Hörnlimann entre les bouches du Rhône et Vevey, par 155 m. de fond ; il lui a trouvé une densité de 2.68.

Le volume d'eau déplacé par ces 2.25 gr. est donc de 0.847 cm³, soit 0.847 gr.

L'excès de charge par litre est donc 1.403 gr.

Je donne dans le tableau suivant la densité de l'eau du Rhône, calculée d'après les charges des matières dissoutes et suspendues trouvées par M. Buenzod dans les échantillons d'eau de St-Maurice. Puis je fais intervenir la notion de la température d'après les mesures faites par les gendarmes du pont de St-Maurice. Je continue ce calcul dans mon exemple du 6 juillet.

L'eau avait ce jour-là une température de 10.7°. A cette température, l'eau pure a une densité de 0.999694 d'après la formule de Kopp, l'eau distillée à 4.0° C. étant l'unité.

L'eau pure du 6 juillet pesait par litre . . .	999694 mgr.
Elle contenait 240 mgr. d'alluvion dissoute	
donnant dans l'eau un excès de charge de . .	148 »
2250 mgr. d'alluvion suspendue donnant dans	
l'eau un excès de charge de	1403 »
le poids d'un litre était donc	1 001245 mgr.

La densité de cette eau était donc 1.001245.

Dans le tableau suivant, je répète ce calcul pour les 15 échantillons d'eau du Rhône de 1886. J'y donne toutes les valeurs à l'unité du milligramme par litre, ou au 1 : 1 000 000.

Tableau de la densité des eaux du Rhône en 1886.

N°	Date.	Mat. en solution.		Mat. en suspension.		Total de l'excès de charge.	Tempér. T.	Densité de l'eau pure à la temp. T.	Densité de l'eau du Rhône à la temp. T.
		Poids.	Excès de charge.	Poids.	Excès de charge.				
I.	11 janvier. . . .	230	134	65	41	175	0.0°	0.999 878	1.000 053
II.	21 février. . . .	230	134	80	50	184	2.7	— 983	— 167
III.	17 mars.	250	146	39	24	170	4.2	— 999	— 169
IV.	22 »	250	146	290	182	328	7.2	— 931	— 259
V.	2 avril	280	163	330	207	370	9.7	— 778	— 148
VI.	27 »	230	134	850	533	667	11.5	— 618	— 285
VII.	12 mai	250	146	1200	752	908	12.2	— 543	— 451
VIII.	21 »	250	146	1850	1160	1306	12.7	— 484	— 790
IX.	7 juin	230	134	1520	953	1087	9.7	— 778	— 865
X.	6 juillet	240	148	2250	1403	1551	10.7	— 694	— 1245
XI.	30 »	190	111	890	558	669	9.7	— 778	— 447
XII.	21 août	190	111	230	145	256	10.2	— 737	0.999 993
XIII.	29 septembre. .	180	105	400	251	356	10.2	— 737	1.000 093
XIV.	21 octobre . . .	185	108	1050	658	766	7.7	— 908	— 674
XV.	26 novembre . .	192	112	150	94	206	1.7	— 958	— 164

En regard de ces diverses eaux du Rhône, plaçons l'eau du lac Léman. Celle-ci ne contient pas d'alluvion en suspension; de ce fait, rien à noter par conséquent. Elle contient, en revanche, par litre, 174 milligrammes de sels dissous, dont la densité moyenne peut être calculée, car nous en connaissons la composition chimique; j'ai fait ce calcul ¹, et je suis arrivé à une densité moyenne de 2.4.

174 milligrammes de sels déplacent par conséquent 73 mgr. d'eau, et il reste un excès de charge de 101 mgr. par litre.

La température des eaux du Léman n'est pas descendue, en 1886, au-dessous de 5.0°.

A 5.0°, l'eau distillée a une densité de	0.999995
Ajoutons-y la surcharge de	0.000101

Nous aurons pour l'eau du lac la plus dense . . .	1.000096
---	----------

Une telle eau est plus dense que les échantillons de l'eau du Rhône N° I, du 11 janvier 1886; N° XII, du 21 août, et N° XIII, du 29 septembre. Elle est moins dense que les douze autres échantillons récoltés en 1886; pour beaucoup de ces échantillons, la différence est énorme et atteint la 4^e et même la 3^e décimale.

Nous pouvons donc être certains que cette différence dépasse toutes les erreurs de calcul, très faibles, du reste, que nous avons reconnues; nous pouvons affirmer que, sauf dans les mois de janvier, d'août et de septembre 1886, pendant la plus grande partie de l'année, par conséquent, l'eau du Rhône est plus lourde que l'eau la plus dense du lac Léman, plus dense que l'eau des plus grands fonds du lac. Cela est vrai en particulier de tout le printemps et de la plus grande partie de l'été, où le Rhône a son plus grand débit et sa plus forte charge d'alluvion.

Donc, pendant les trois quarts de l'année, l'eau du Rhône, plus lourde que celle du lac, doit s'écouler le long des talus du cône d'alluvion sous-lacustre ²; elle doit chercher jusque dans les plus grands fonds la ligne de plus grande pente. Il doit en résulter nécessairement la formation d'un courant sous-lacustre limité, qui, comme tout courant, doit présenter des remous sur

¹ Dans ce calcul, il y a une erreur inévitable, qui m'est signalée par M. Chuard; j'ai compté les carbonates de calcium et de magnésium à l'état de carbonates, et non de bicarbonates comme ils le sont en réalité.

² De là le phénomène bien connu de la *Bataillière*, cascade sous-lacustre des eaux troubles du Rhône qui plongent à l'embouchure du Rhône dans les eaux bleues du Léman.

les bords, au contact avec l'eau dormante. Dans ces remous, l'eau s'immobilise progressivement et l'alluvion se dépose.

Il doit en résulter, de chaque côté, sur les bords du courant, formation de digues latérales, tendant à se surélever chaque année. Ces digues latérales doivent limiter toujours mieux le courant sous-lacustre et le contenir dans un ravin toujours mieux différencié.

De là l'établissement et la conservation du ravin sous-lacustre qu'ont découvert nos ingénieurs hydrographes.

L'action qui préside à l'établissement de ces ravins serait donc le dépôt de l'alluvion, et nous n'avons aucune nécessité à faire intervenir une action d'érosion, comme je l'avais cru dans mes premières études. Cependant, il est possible qu'un courant aussi puissant que celui que nous constatons, le courant d'un grand fleuve, charriant des centaines de mètres cubes à la seconde, avec une densité notablement plus forte que celle des eaux dormantes qui l'entourent ¹, dans un ravin bien limité, peu large, contenu entre des digues élevées, sur une déclivité aussi rapide, atteignant en quelques points aux bouches du Rhône une pente de 22 %, il est possible, dis-je, qu'un tel courant puisse produire des phénomènes d'érosion. Cela est même probable pour les parties supérieures du ravin, là où son relief et sa pente sont le plus accentués. Mais cela n'est plus probable pour les régions plus profondes, à quelques kilomètres de l'embouchure du fleuve, à 100 ou 200 mètres de profondeur sous la nappe des eaux. Là nous n'avons plus, sans doute, que des faits d'alluvion, et nous devons considérer ceux-ci comme représentant l'action dominante, le plus longtemps et le plus loin efficace pour l'édification et la conservation des ravins sous-lacustres.

Dans ces termes, je crois résolu le problème de géographie physique qui nous était posé.

Un seul fait reste encore obscur, c'est l'absence d'un ravin sous-lacustre à l'embouchure de la Reuss dans le lac des Quatre-Cantons (et de l'Aar dans le lac de Brienz). Je n'ai pas les éléments nécessaires pour rendre compte de cette divergence.

¹ La différence, dans l'échantillon du 6 juillet, dépasse 0.001144.

