

Zeitschrift:	Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber:	Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band:	68 (1962-1964)
Heft:	310: À la mémoire de F.-A. Forel
 Artikel:	Corrélation entre la turbidité, la transparence et la couleur de quelques-unes de nos eaux de surface
Autor:	Jaag, Otto
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-275440

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: 15.02.2026

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

Corrélation entre la turbidité, la transparence et la couleur de quelques-unes de nos eaux de surface

PAR

OTTO JAAG

Professeur à l'EPF, Zurich

FRANÇOIS-ALPHONSE FOREL, le savant génial, a reconnu qu'un lac constitue en lui-même un espace vital, un biotope fermé dont le régime chimico-physico-biologique est gouverné par des lois bien déterminées et caractéristiques au moins pour une grande étendue d'eau tranquille. Par cette découverte, il est devenu *le véritable fondateur de la science des lacs, la limnologie*. Ses idées, exposées dans *Le Léman*, célèbre ouvrage en trois volumes, œuvre de grande profondeur et de large envergure, éveillèrent immédiatement l'intérêt des géographes, des géologues, des météorologues, des chimistes et des biologistes non seulement en Suisse, mais pour ainsi dire dans tous les pays civilisés du monde.

Au début de notre siècle, cette nouvelle science fut enseignée dans les universités et développée plus largement ; en Suisse, par exemple, des écoles de limnologues furent fondées : à Genève par les professeurs ANDRÉ et ROBERT CHODAT, à Neuchâtel par le professeur FUHRMANN, à Bâle par le professeur ZSCHOKKE, à Zurich par le professeur C. SCHRÖTER. Elles rendirent de grands services à la jeune science par la publication d'ouvrages importants et fort remarqués qui jouissent aujourd'hui encore d'une excellente renommée internationale.

Le laboratoire de limnologie installé au bord du lac des Quatre-Cantons par M. le Dr H. BACHMANN, professeur à l'Ecole cantonale de Lucerne, eut pendant quelque temps une très bonne réputation, même en dehors des frontières suisses. A vrai dire, par la suite, surtout après la mort du fondateur, ce laboratoire perdit de son importance soit en raison du manque de crédits, soit à cause de la difficulté presque insurmontable à trouver le personnel nécessaire à la recherche. En général, la limnologie eut beaucoup de peine à se maintenir en Suisse et resta en veilleuse dans le domaine de la recherche et de l'enseignement jusqu'à dans ces dernières années.

C'est donc certainement une fort bonne chose que la Société des Sciences naturelles de Lucerne ait fait, en 1960, donation de ce laboratoire à l'Ecole polytechnique fédérale. Depuis cette date, le petit

Institut de Kastanienbaum est de nouveau la scène d'une sérieuse activité consacrée à la recherche et à l'enseignement scientifiques. Ce laboratoire possède aujourd'hui un équipement moderne et accueille avec hospitalité les spécialistes non seulement de notre pays, mais aussi du monde entier, pendant toute l'année.

Seule la gravité de la rapide détérioration des lacs et rivières du pays entier ouvrit les yeux aux autorités fédérales et cantonales à la nécessité de faire davantage pour la protection des eaux et d'y consacrer de plus importants moyens financiers que par le passé. On s'aperçut tout à coup que les bases essentielles à la réalisation pratique d'une protection efficace des eaux n'étaient pas encore clairement définies, alors que presque tous les autres Etats européens et les USA possédaient des instituts de recherche limnologique bien équipés et généreusement dotés des crédits nécessaires : l'Allemagne aussi bien pour les rivières et lacs que pour les côtes maritimes, l'Italie, la France, l'Angleterre, la Russie et d'autres pays encore. Ce fut probablement vers 1940 et 1950 que se situa le point le plus bas de la recherche limnologique en Suisse.

Depuis quelques années, on fait beaucoup pour la limnologie et l'hydrobiologie et l'on a même réussi tout récemment à convaincre les grands chefs de l'industrie et de l'économie suisses que la propreté des eaux des lacs, des rivières et des nappes phréatiques est devenue un facteur essentiel, même limitant, pour le développement futur.

Ces milieux ont également compris que la science limnologique a besoin, pour pouvoir travailler, de crédits importants ; c'est pourquoi nous disposons maintenant, en plus des anciennes fondations de pure recherche limnologique, telles que la Fondation F.-A. Forel, dotée par M. le Dr P. MERCIER, de la nouvelle « Fondation de l'Economie pour le développement de la protection des eaux en Suisse », attribuée à la recherche scientifique et à la formation de spécialistes dans le vaste domaine de la science et de la technique de la protection des eaux contre la pollution.

Chaque page de l'ouvrage *Le Léman* fournit sur les problèmes qui nous intéressent de précieuses indications extrêmement bien conçues et développées jusque dans les moindres détails.

Nous nous sommes servi par exemple des idées développées dans un chapitre du premier volume de cet ouvrage : « Le sol du lac » et du deuxième volume : « L'optique », comme point de départ pour une étude concernant la relation entre la teneur d'un système fluvial en particules fines de charriage et leur sédimentation d'une part et l'influence de ce processus sur la transparence et la couleur de l'eau d'autre part.

Dans ce court exposé, je me propose de donner au moins un aperçu de quelques résultats de cette étude.

Dans la lutte contre la pollution et pour l'assainissement de nos lacs et rivières, il faut distinguer entre la pollution naturelle et la pollution

artificielle des eaux. La pollution naturelle comprend entre autres la charge en fines et extrêmement fines substances minérales en suspension, en poussière des glaciers et autres matières semblables transportées dans l'eau ; ces substances donnent à l'eau, sur de longs parcours, une couleur particulière ; elles en diminuent parfois assez considérablement la transparence. Autrement que pour les sels minéraux dissous, le cours d'eau peut se débarrasser de ces matières étrangères qui, selon leur nature chimique, la grandeur et la forme des particules, se déposent plus ou moins rapidement.

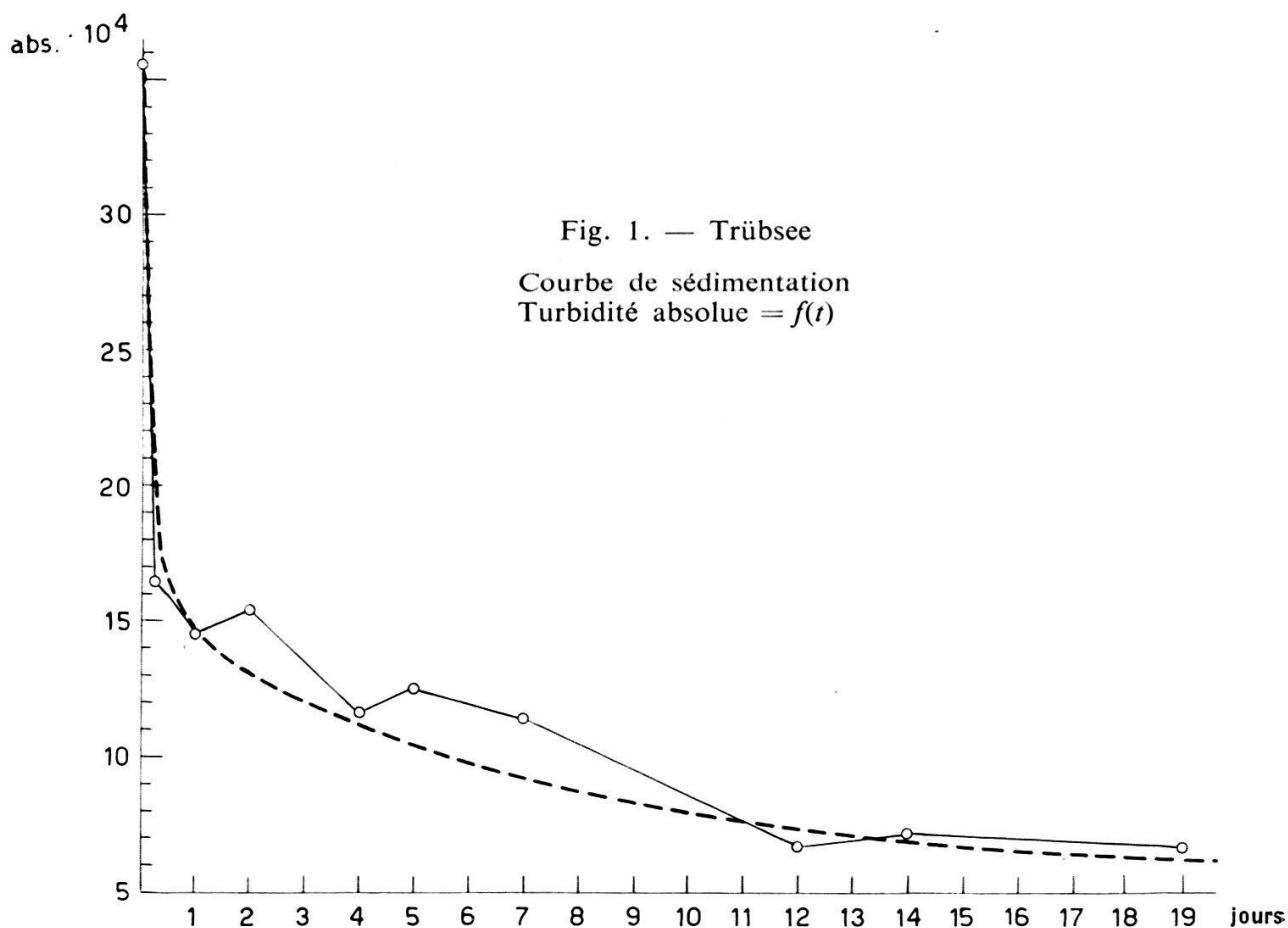


Fig. 1. — Trübsee
Courbe de sédimentation
Turbidité absolue = $f(t)$

Nous connaissons, dans les régions alpestres, beaucoup de cours d'eau et de lacs dont la couleur laiteuse est due à des particules minérales en suspension ; par exemple, en Suisse, l'effluent du glacier de l'Aar inférieur, dont l'eau, mesurée au photomètre Pulfrich à degrés, présente une valeur absolue de turbidité de plus de $1000 \cdot 10^4$ unités. Une première clarification a lieu dans le lac de barrage du Grimsel, après laquelle la profondeur de visibilité n'est encore que de 0,3 m. Jusqu'à l'embouchure dans le lac de Brienz, donc après un parcours d'environ 30 km, la valeur de turbidité diminue jusqu'à $1/7$, de sorte que les eaux laiteuses du lac présentent au moment de la fonte des neiges une profondeur de visibilité d'environ 1 m. C'est seulement en arrivant dans le lac de

Thoune que l'eau se débarrasse suffisamment de la charge de substances minérales en suspension pour atteindre la profondeur de visibilité de 5,5 m, ce qui permet de parler d'un lac aux eaux claires.

Quand on remplit des verres à décanter d'eau provenant de différents systèmes fluviaux et lacs et qu'on laisse se déposer les substances en suspension, on obtient, selon la nature et la composition des agents de turbidité, des courbes de décantation qui, après un temps plus ou moins long, deviennent asymptotiques et, au bout de durées différentes — dans certains cas, plusieurs semaines — tendent vers une valeur finale minimum.

Le processus de décantation des substances minérales de turbidité se déroule conformément à la loi de Stokes adaptée par OSEEN pour les particules plus grossières, loi dans laquelle le poids spécifique, la grandeur et la forme du corps en décantation, puis la viscosité du milieu ambiant, c'est-à-dire de l'eau, jouent le rôle principal.

Par exemple, dans les eaux stagnantes ou dans les courants laminaires, la vitesse de décantation du sable grossier à grains de 1 mm de diamètre est de 450 m/h, celle du sable fin à grains de $1/10$ mm de diamètre est de 19 m/h et celle du sable le plus fin à granulation de seulement 20 μ est de 1 m/h. Pour faire s'abaisser de 1 m l'argile grossière à granulation de 1 μ , il faut 18 jours, alors que le même abaissement requiert jusqu'à 5 ans pour l'argile fine à granulation de $1/10$ μ .

Les particules extrêmement fines d'argile d'un ordre de grandeur déjà colloïdal ne s'abaisseent donc pratiquement pas du tout sous le seul effet de la pesanteur. Le mouvement brownien, la charge électrostatique et la valeur du pH de l'eau influencent de plus en plus le processus de décantation. Lorsqu'un cours d'eau se jette dans une autre rivière ou dans un lac, l'action combinée de ces forces peut produire la flocculation et, par conséquent, une sédimentation accélérée.

En prenant par exemple le charriage du Rhin alpestre, on observe que, parmi les matières solides d'un volume total de plus de 3 millions de mètres cubes par an apportées dans le lac de Constance, les fragments minéraux grossiers représentent un pourcentage minime du volume total et sont déposés immédiatement devant l'embouchure du fait de la moindre turbulence qui règne dans le lac et de la force d'entraînement diminuée. La masse principale des matières minérales poursuit son chemin dans le lac et forme le delta sur une étendue de plusieurs kilomètres carrés, tandis que les particules les plus fines — de nouveau quelques pour-cents — continuent à être emportées par le courant du Rhin et sont apparentes dans le lac sur une distance longue de nombreux kilomètres.

Grâce à l'épuration, pour ainsi dire complète, de l'eau fluviale charriant beaucoup de matériel qui traverse un lac naturel ou artificiel, des conditions biologiques totalement différentes sont créées dans le cours d'eau. Le Rhin, formant frontière entre la Suisse, l'Autriche et

la principauté de Liechtenstein, constitue par exemple un biotope principalement abiotique, puis, en devenant le Rhin supérieur, « le Hochrhein », le fleuve offre des conditions optima pour les biocénoses animales et végétales ; par suite de l'absence de matériel de charriage, le fond rocheux des Chutes-du-Rhin est recouvert d'une épaisse couche de végétation, comme on n'en trouve nulle part ailleurs dans le bassin du Rhin.

**RAPPORT ENTRE LA TURBIDITÉ, LA TRANSPARENCE
ET LA COULEUR DES LACS**

Comme je l'ai déjà dit dans la partie théorique de cet exposé, la transmission de la lumière dans l'eau dépend en grande partie de la turbidité. D'autre part, il existe un rapport inverse entre la profondeur de visibilité, c'est-à-dire la transparence et le chemin parcouru par les rayons dans l'eau. Par conséquent, il doit y avoir également une certaine corrélation entre la turbidité et la transparence.

Etant donné la complexité des effets optiques produits par la lumière qui traverse des milieux troubles, il est très difficile de reconnaître le rapport qui existe entre la turbidité et la transparence ; ceci a été confirmé dans notre tentative d'interprétation de nos mesures de transparence et de turbidité.

Dans cette étude, il paraît indiqué de grouper les lacs selon la nature des substances causant la turbidité :

- 1^o lacs dont l'eau est rendue trouble principalement par des matières inorganiques en suspension, par exemple de la poussière de glaciers ;
- 2^o lacs à production de plancton relativement faible, c'est-à-dire sans floraison aquatique à proprement parler (lacs exempts d'*Oscillatoria* ou pauvres en ces organismes) ;
- 3^o lacs à nette floraison aquatique, dans lesquels (surtout en automne et au printemps, pendant les périodes de circulation partielle ou intégrale) l'algue « Sang des Bourguignons » se développe abondamment dans les couches d'eau superficielles.

De nombreux autres organismes planctoniques sont capables de produire aussi des fleurs d'eau (*Microcystis aeruginosa*, *Mougeotia* sp., *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, observés depuis 1960 dans le Greifensee, le lac de Pfäffikon, le lac de Neuchâtel, etc.).

Pour la figure 2, on a choisi douze lacs dont la turbidité est causée principalement par des matières minérales en suspension. Les valeurs de turbidité de ces lacs s'étendent sur une échelle allant de moins de 10 jusque vers 130. (Voir fig. page suivante.)

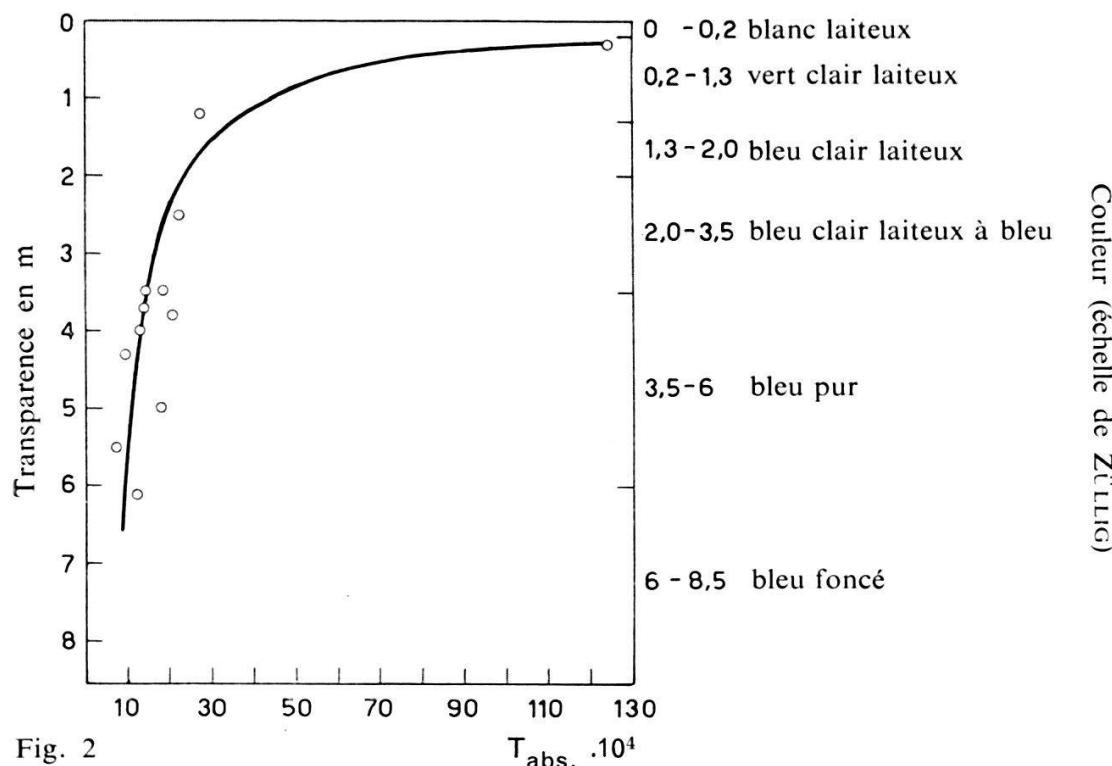


Fig. 2

Ces valeurs sont reportées en abscisse, tandis qu'en ordonnée sont reportées les valeurs correspondantes de transparence. Le graphique montre que la transparence diminue à mesure qu'augmente la valeur de turbidité. Cette fonction n'est cependant pas linéaire, mais décrit une courbe exponentielle. Jusqu'aux valeurs de turbidité d'environ 20, la transparence diminue à peu près linéairement ; quand les valeurs de turbidité sont plus élevées — environ entre 20 et 60 — la diminution est déjà considérablement plus petite. Ces valeurs de turbidité correspondent à une transparence entre environ 3 m et 1 m. Cependant, pour diminuer encore davantage la profondeur de visibilité, il faut déjà une augmentation considérable de la turbidité. La valeur de 127 correspond, par exemple, à une transparence de 0,3 m.

Il est encore plus difficile d'établir les rapports entre la *couleur d'un lac*, la transparence et la turbidité.

Pour les lacs troublés par des matières minérales en suspension (en Suisse, il s'agit surtout des lacs des hautes Alpes), notre collaborateur, M. H. ZÜLLIG, a pu déterminer les rapports suivants entre la couleur du lac et la transparence au moment où le soleil est à son zénith :

Transparence	Couleur du lac
0,0 - 0,2 m	blanc laiteux
0,2 - 1,3 m	vert clair laiteux
1,3 - 2,0 m	bleu clair laiteux
2,0 - 3,5 m	bleu clair laiteux à bleu
3,5 - 6,0 m	bleu pur
6,0 - 8,5 m	bleu foncé

Il est extrêmement difficile d'établir le rapport existant entre la couleur des lacs rendus troubles par le plancton, la transparence et la turbidité, parce que cette couleur est due non seulement à la turbidité, mais aussi à la couleur particulière des espèces qui forment le plancton, la « couleur de végétation ». On pourrait, dans plusieurs cas, éliminer ce dernier facteur s'il existait une classification des lacs basée sur la composition du plancton. Pour le moment, nos relevés ne permettent pas encore d'établir, même approximativement, le rapport entre la couleur, la transparence et la turbidité pour les types de lacs caractérisés par des planctons différents.

Si, dans un lac, la turbidité est causée principalement par sa teneur en plancton relativement peu dense et dépourvu d'*Oscillatoria*, comme, par exemple, dans le Sihlsee près d'Einsiedeln, le lac de Zurich et le lac de Zurich supérieur, la corrélation entre la turbidité et la transparence suit, dans chaque cas, une courbe caractéristique. Dans le lac de Zurich supérieur, à densité de plancton plutôt faible, la courbe se rapproche d'une droite, tandis que dans les deux autres lacs, nous avons trouvé une courbure assez nette à la profondeur où la turbidité dépasse 12 unités, soit au niveau de la transparence observée de $5\frac{1}{2}$ m, au lac de Zurich inférieur, de $2\frac{1}{2}$ m par contre au Sihlsee. Les valeurs déterminées sont assez largement dispersées autour des courbes, ce qui est dû au fait qu'elles ont été obtenues pendant une assez longue période d'observation, donc dans des saisons diverses de l'année. Pendant cette période, plusieurs phénomènes spécifiques apparaissent, tels que la décalcification biogène, la précipitation d'hydrate ferrique, etc.

L'allure des courbes correspondantes des lacs de Wäggital et de Hallwil ainsi que de la courbe obtenue en examinant les résultats enregistrés dans plusieurs lacs à *Oscillatoria rubescens* décèle une corrélation analogue entre la turbidité et la transparence.

Nous avons alors examiné la turbidité de quelques bassins fluviaux entiers comprenant des lacs et ruisseaux, celui de l'Aar, par exemple, où la turbidité de l'affluent du lac du Grimsel, l'Oberaarbach, est d'environ $460 \cdot 10^4$. Nous constatons que l'eau se clarifie plus au moins continuellement jusqu'au lac de Brienz. Dans cette eau stagnante, la sédimentation des éléments très fins est particulièrement efficace ; cette clarification se continue encore au lac de Thoune, de sorte que l'Aar quitte ce lac pur et hautement limpide et conserve ce caractère jusqu'au lac de Bienne. Sur ce long parcours depuis la source de l'Aar jusqu'à Bienne, la turbidité est tombée de 460 à 7 unités.

La Reuss, dont le degré de turbidité est de 41 unités, purifie son eau dans le lac des Quatre-Cantons, de sorte qu'à Lucerne, elle quitte le lac à une turbidité de 8 unités seulement. Dans l'Hinterrhein, un petit affluent en aval de Nufenen cause une légère augmentation de la

turbidité, et l'Albula la fait monter jusqu'au même niveau que nous avions constaté à la source du ruisseau à San Bernardino.

L'eau d'un ruisseau dans la région de la Bernina est d'une limpidité extraordinaire de seulement 3 à 8 unités, mais un affluent venant du glacier de Morteratsch cause une importante turbidité allant jusqu'à 351 unités au niveau de Pontresina.

Nous avons examiné de cette façon un assez grand nombre de systèmes fluviaux ; mais nous nous contenterons ici de ces quelques exemples.

Nous avons alors entrepris quelques expériences au laboratoire pour obtenir une réponse à la question : « Avec quelle rapidité une eau trouble se clarifie-t-elle dans un système tranquille ? » Les échantillons d'eau trouble sont exposés dans des bocaux de verre et dans une chambre à température plus ou moins constante, soit pendant quelques heures, soit pendant une période de quelques semaines. Voici un exemple montrant comment s'opère la sédimentation des particules inorganiques :

Dans un échantillon d'eau prélevé dans le lac de barrage du Grimsel, les particules les plus volumineuses et les plus lourdes se sédimentent si rapidement que la turbidité s'abaisse d'environ 800 jusqu'à 200 unités au cours d'une heure seulement. Ensuite, la vitesse de sédimentation va diminuant et, au bout de quatre à cinq heures, la courbe prend une allure asymptotique. Ce sont les particules très fines qui empêchent que, pendant trois semaines, la turbidité descende en dessous d'environ 50 unités.

L'eau de l'Hinterrhein à Splügen atteint au bout de vingt jours une turbidité de 90 unités, tandis qu'au Lago Bianco, dont l'allure de la courbe de clarification ressemble aux précédentes, la sédimentation au cours de dix-neuf jours est plus efficace, allant jusqu'à 20 unités.

Tels sont quelques résultats obtenus dans une étude qui constitue une application et une continuation de la recherche inaugurée par l'éminent savant FRANÇOIS-ALPHONSE FOREL, à qui nous témoignons aujourd'hui notre très haute estime et notre profonde gratitude.

LITTÉRATURE

FOREL, F.-A. — Le Léman I-III, Lausanne, 1892-1904.
— Handbuch der Seenkunde, Stuttgart, 1901.

HUTCHINSON, G. E. — Treatise on Limnology I, New York, 1957.

RUTTNER, F. — Grundriss der Limnologie, Berlin, 1962.

SAUBERER, F. — Zur Methode der Durchsichtigkeitsmessung im Wasser und deren Anwendung in der Limnologie. *Arch. f. Hydrobiol.* 33, 1938.