

*Henry de la...
SGN Bc SM B E*

Extrait du Bulletin des séances de la Société des Sciences de Nancy.

ODEUR, COULEUR
ET
LIMPIDITÉ DE L'EAU

PAR

Le D^r Ed. IMBEAUX

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES, A NANCY



NANCY

IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT ET C^{ie}

18, RUE DES GLACIS, 18

—
1904

ANNUAIRE DES DISTRIBUTIONS D'EAU

EN VENTE A LA LIBRAIRIE V^o CH. DUNOD, ÉDITEUR
Quai des Grands-Augustins, 49, PARIS, VI^e

VIENT DE PARAÎTRE

ANNUAIRE

Statistique et Descriptif

DES

DISTRIBUTIONS D'EAU

de France, Algérie, Tunisie, Belgique, Suisse
et Grand-Duché de Luxembourg

PAR

Le Docteur IMBEAUX

Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur du Service municipal de Nancy

Le Capitaine HOC

Attaché à la Section technique du Génie au Ministère de la Guerre de France

VAN LINT

Ingénieur Civil, Inspecteur du Service des Eaux de Bruxelles

PETER

Ingénieur de la Distribution d'Eau de la Ville, à Zurich

PREMIÈRE ÉDITION (1903)

Un très fort volume in-8° (23,5×15,5) de 1800 pages..... PRIX **25 fr.** broché; **26 fr. 50** cartonné

AVIS DE L'ÉDITEUR

L'ouvrage volumineux (près de 1800 pages), dont nous présentons au public la première édition, est une nouveauté, dont l'importance n'échappera à personne, surtout à une époque où l'Hygiène urbaine a pris une si grande et si légitime place dans les sociétés humaines. Il vient à son heure, au lendemain de la mise en vigueur de la nouvelle loi française pour la protection de la santé publique, et au début d'un siècle qui paraît devoir être consacré au développement pacifique de toutes les institutions humanitaires. Enfin, il comble une lacune qui était regrettable, puisque l'Angleterre, les Etats-Unis, la Hollande et l'Allemagne, ayant depuis quelques années déjà les *Annuaire*s des distributions d'eau de leurs villes, les pays de langue française restaient jusqu'ici en arrière.

Les auteurs ne se sont toutefois pas contentés d'imiter leurs devanciers anglais, américains et allemands, et de décrire — ce qui eût été déjà une besogne considérable — la situation de l'alimentation en eau et de l'assainissement de toutes les villes de plus de 5,000 habitants dans les pays étudiés, ainsi que d'un bon nombre de villes plus petites : ils ont voulu juger (et permettre aux lecteurs de le faire avec eux) la valeur des installations existantes et faire entrevoir aux Municipalités quels sont les travaux qui leur restent à faire. Leurs jugements, basés sur la connaissance géologique du sol, sur de nombreuses analyses chimiques et bactériologiques, sur l'expérience du passé et sur une compétence hors ligne, seront pour chaque ville un conseil aussi précieux que gratuit : la clarté et la précision des règles d'appréciation tracées dans la préface suffisent du reste à éclairer toute la question des eaux de la lumière la plus vive, et ces règles ont déjà été baptisées du nom de « Catéchisme des Distributions d'eau ».

Il y a donc tout lieu d'espérer que la publication du présent *Annuaire* sera le point de départ de nouveaux progrès dans l'assainissement des villes ; mais l'ouvrage aura aussi une utilité pratique en quelque sorte plus immédiate. Il permettra aux Ingénieurs municipaux de savoir sans peine ce qui se fait dans d'autres villes et de quel côté ils doivent chercher un enseignement ou un modèle ; il donnera aux Administrateurs toutes les comparaisons voulues de prix de revient et de prix de vente ; il expliquera aux Hygiénistes les causes des différences de mortalité et de fréquence des épidémies entre les différentes villes ; il fournira les renseignements les plus précieux aux nombreux Industriels dont les affaires sont liées aux questions de distribution d'eau et d'évacuation des eaux usées ; enfin, il servira de trait d'union entre toutes les

La Librairie DUNOD fournit tous les livres français et étrangers.

La Bibliographie mensuelle des Sciences et de l'Industrie est servie gratuitement à tous ses clients.

personnes intéressées à ces choses et facilitera leur entrée en relations cordiales. Le nombre et la qualité des industriels qui ont tenu à associer leurs noms à la première édition de l'Annuaire est une preuve du haut intérêt qu'il a pour l'industrie française, belge et suisse.

Nous n'avons pas à présenter au public les quatre auteurs qui, après trois ans de recherches, de démarches et d'efforts, viennent de créer l'Annuaire des Distributions d'eau des pays de langue française : leurs travaux et leurs publications antérieures leur ont fait une réputation universelle, et chacun sait qu'ils joignent à l'expérience de l'ingénieur praticien la science du géologue et celle de l'hygiéniste le plus consommé. Mais ce qu'on admirera sûrement dans leur œuvre nouvelle, autant que leur science profonde, c'est l'ordre et la clarté si méthodiques qui y règnent d'un bout à l'autre, et aussi la patience infatigable qu'ils ont dû déployer dans l'accomplissement d'une tâche lourde et parfois ingrate : leur courage a été soutenu par une foi d'apôtres. Les auteurs ont enfin un dernier mérite, c'est d'être assez jeunes pour pouvoir légitimement espérer qu'ils verront se succéder, dans l'avenir, grâce à leur persistante énergie, de nombreuses éditions de l'Annuaire qu'ils ont fondé.

RENSEIGNEMENTS CONTENUS DANS L'ANNUAIRE

Les villes sont classées de la façon suivante : pour la France, l'Algérie et la Tunisie, par ordre alphabétique de départements et des localités dans chacun des départements ; pour le Grand-Duché de Luxembourg, par ordre alphabétique ; pour la Suisse, par ordre d'importance des localités, et pour la Belgique, enfin, par ordre alphabétique.

Dans chaque département, province ou canton, après les chiffres qui donnent les nombres des arrondissements, cantons ou districts, communes et habitants, les villes d'une population d'au moins 5.000 âmes sont rangées par lettre alphabétique, et le paragraphe relatif à chacune d'elles donne la description de son alimentation en eau et plus sommairement de son mode d'assainissement.

Pour chaque ville ainsi étudiée, on trouve d'abord le chiffre de la population totale, et, à côté, celui de la population municipale agglomérée au chef-lieu ; ces chiffres sont, pour la France et l'Algérie, ceux qu'a fournis le recensement de 1901 ; pour la Belgique, le résultat du recensement de 1902 ; pour la Suisse, celui de 1901.

Ensuite nous avons donné, quand nous l'avons pu, le nombre des maisons de la ville.

La ligne qui suit, et qui est en italique, donne la caractéristique du mode d'alimentation en eau. Puis vient un historique sommaire : date des travaux d'adduction et distribution d'eau, nom de l'auteur du projet, dépenses faites, etc. ; enfin, on indique le mode actuel d'exploitation (régie directe ou concession à une compagnie ou à un particulier), et le nom du directeur du service.

La description proprement dite, ou monographie de la ville, est alors divisée en neuf alinéas numérotés successivement, en sorte que les numéros équivalent aux sous-titres ci-après :

1. — Provenance de l'eau, captation ou prise, adduction.
2. — Epuration (clarification, filtration naturelle ou artificielle, stérilisation, etc.).
3. — Elévation mécanique.
4. — Emmagasinement : réservoirs de distribution.

5. — Distribution : réseau de distribution, consistance du service public (nombre d'appareils), consistance du service privé (nombre de concessions particulières).

6. — Volume consommé et prix de vente.

7. — Composition chimique et bactériologique (analyses).

8. — Maladies attribuées à l'usage des eaux.

9. — Evacuation des eaux usées, matières fécales, immondices, égouts.

10. — Projets à l'étude.

L'absence d'un des numéros 2, 3, 4 ou 8, indique qu'il n'y a rien à ce sujet.

Pour la composition, après le degré hydrotimétrique, total et permanent (en degrés français), tous les corps sont dosés en milligrammes par litre (le milligramme est l'unité) ; le nombre des germes est évalué au centimètre cube. La composition, tant chimique que bactériologique, d'une eau ne restant pas fixe, on n'oubliera pas qu'une seule analyse ne suffit pas toujours à la caractériser : quand nous avons trouvé plusieurs analyses, nous avons donné les chiffres limites entre lesquels oscille la teneur en sels et en germes.

Après les villes de 5.000 habitants, nous avons décrit, mais plus rapidement, les distributions d'eau intéressantes qui nous ont été signalées dans les villes moins peuplées. Puis nous citons dans un tableau les autres localités qui ont exécuté récemment des travaux d'adduction et de distribution d'eau. Comme en France, depuis 1884 jusqu'en 1901, tous les projets devaient être soumis au Comité consultatif d'Hygiène publique, nous avons emprunté la plus grande partie de ces tableaux aux recueils des travaux de ce Comité.

La monographie du département, province ou canton, se termine par un résumé ou coup d'œil d'ensemble de son alimentation en eau et de sa situation hydro-géologique. On peut ainsi se rendre compte sommairement des ressources en eau qu'offrent les terrains et de la manière dont les habitants y recourent ; malheureusement, la statistique de l'alimentation en eau de toutes les communes n'a pu toujours être faite.

V^{ve} CH. DUNOD

49, Quai des Grands-Augustins, Paris (6^e)

BULLETIN DE DEMANDE

(à détacher)

Je soussigné (1)

désire recevoir un exemplaire (2) de l'ANNUAIRE DES DISTRIBUTIONS D'EAU,

du prix de (3), que j'envoie ci-joint en un mandat-poste (4).

A _____, le _____ 190

Signature

(1) Nom, qualité et adresse.

(2) Broché ou cartonné.

(3) 25 francs broché ; 26 fr. 50 cartonné.

(4) Le prix de l'ouvrage est porté en compte trimestriel pour les personnes en relations d'affaires avec la librairie DUNOD.

Les Municipalités peuvent acquitter à leur gré le montant de l'ouvrage.

ODEUR, COULEUR
ET
L'IMPIDITÉ DE L'EAU
LIMPIDITÉ DE L'EAU

PAR

Le D^r Ed. IMBEAUX

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES, A NANCY



NANCY

IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT ET C^{ie}

18, RUE DES GLACIS, 18

—
1904

© 1904 by the University of North Carolina Press

ODREUR, COULEUR

ET

L'IMPIDITÉ DE L'EAU

PAR

LE D^r E. IMBIAUX

PROFESSEUR DES SCIENCES DE CHIMIE À L'UNIVERSITÉ DE NANCY

—

NANCY

IMPRIMERIE BERGER-LEVAULT ET C^o

15, RUE DES GLACES, 15

1904

ODEUR, COULEUR ET LIMPIDITÉ DE L'EAU¹

Si l'on consulte les traités classiques en Europe de distributions d'eau, on n'y trouve que fort peu de renseignements sur les qualités physiques de l'eau, telles que la saveur, l'odeur, la couleur et la transparence : ce n'est guère que dans les ouvrages de *limnologie* ou d'*océanographie* qu'on a abordé ces questions, et encore leur étude ne date-t-elle que de la fin du dernier siècle. Cela tient à ce que les ingénieurs européens ont pu recourir à des eaux de sources, de lacs ou de rivières, généralement inodores, incolores et claires, — ou du moins ne se troublant que faiblement, — et que, dès lors, les défauts de cette nature n'ont guère attiré leur attention. Il en a été autrement en Amérique : là, on a trouvé en effet des eaux très chargées en couleur (eaux de marais et d'étangs) et des fleuves presque constamment troubles. Au début, les Américains ont couru au plus pressé et ont distribué ces eaux telles quelles ; mais, dans ces dernières années, les progrès de la science et de l'hygiène aux États-Unis ont marché avec une rapidité inouïe, et une armée de savants s'est appliquée à l'étude des qualités de l'eau et à la recherche des moyens propres à en corriger les défauts. On ne sera donc pas étonné si, dans ce qui suit, nous devons faire de larges emprunts aux publications de nos collègues de l'autre côté de l'Atlantique.

1. Communication faite à la Société des sciences de Nancy le 1^{er} décembre 1903.

Saveur et odeur de l'eau.

L'eau pure n'a ni odeur, ni saveur : ce sont donc des corps en dissolution ou en suspension qui lui communiquent parfois l'une ou l'autre, ou toutes deux ensemble. La plupart des sels minéraux, le sucre, etc..., donnent une saveur sans odeur, tandis que les gaz dissous, les huiles essentielles, impressionnent bien plus le nez que le palais (bien qu'on rapporte souvent ces impressions au goût).

Les saveurs se ramènent à quatre groupes : salées, sucrées, acides, amères. Le palais humain¹ n'est pas très sensible, car il faut pour la plupart des sels au moins $\frac{1}{2}$ à 1 gramme par litre pour que la saveur soit appréciable ; on doit cependant faire exception pour les sels de fer et de cuivre, qui ont un goût métallique particulier, sensible à partir de 5 ou 6 centigrammes. Quant aux matières organiques, elles donnent généralement une mauvaise odeur avant de développer un mauvais goût : les eaux qui en sont là sont évidemment à rejeter.

L'odeur se reconnaît plus facilement : comme elle est produite par des substances volatiles entraînées avec la vapeur d'eau jusqu'à notre muqueuse olfactive, elle se dégage bien de l'eau par l'agitation, et en outre on peut, comme l'a enseigné Flügge, la développer en chauffant le liquide à 40° avec un peu de lessive de potasse ; une haute éprouvette rincée alors plusieurs fois avec cette eau et vidée laisse bien percevoir le fumet de l'hydrogène sulfuré et quelques autres. Certaines eaux souterraines profondes dégagent à leur issue une odeur très sensible de gaz sulfureux ou sulfhydrique (tels les forages de Pecquencourt pour Roubaix-Tourcoing), mais cette odeur disparaît très vite et n'est plus sensible pour le consommateur : ce n'est pas un mauvais indice. Il n'en est pas de même quand l'odeur provient de matières organiques, le plus souvent en décomposition, ou d'organismes vivants : cela arrive pour les eaux de surface, notamment les eaux stagnantes et peu profondes, et il convient d'entrer un peu dans le détail.

Les odeurs se distinguent par leur intensité et par leur nature

1. C'est la base de la langue qui est la région la plus sensible et perçoit spécialement les saveurs amères, la pointe, les saveurs sucrées et acides.

ou qualité, mais on n'a pas encore trouvé de procédé définitif pour mesurer objectivement les propriétés odorantes des corps et on doit s'en tenir à des appréciations et comparaisons subjectives¹. Cependant, M. A. Gérardin, après de longues études, est arrivé à doser les odeurs de l'air, ou plutôt les matières organiques qui les produisent dans l'atmosphère, soit par la réduction de l'acide iodique anhydre, soit par le permanganate de potasse, et il a établi une échelle en *degrés ozométriques* (le degré ozométrique est le poids en milligrammes d'acide oxalique cristallisé, qui produit sur le permanganate sulfurique le même effet que les matières organiques contenues dans 1 gramme d'air) qui peut rendre de grands services dans l'expertise de l'air : rien ne dit que des méthodes analogues ne permettraient pas de caractériser scientifiquement les effluves émis par une masse d'eau odorante, mais nous ne connaissons pas encore de tentatives dans ce sens. En attendant, on caractérisera donc encore l'intensité d'une odeur par les termes de *faible, distincte, marquée (decided en anglais), forte*, etc., et sa nature par le rappel d'une odeur analogue bien connue. Les odeurs des mauvaises eaux, généralement désagréables, sont rapportées soit à des végétaux : odeur de paille, de foin, d'herbe, de concombre (nauséuse), soit à la vase : odeur de terre, de tourbe, de marais, soit à des corps en putréfaction : odeur de moisi, de poisson, etc. ; souvent aussi on signale une odeur fade, douceâtre (*sweetish*), analogue à celle des vieux troncs d'arbres pourris ou encore de certaines cultures bactériennes dans la gélatine liquéfiée.

Mais les odeurs les plus fréquentes et les plus gênantes dans les distributions d'eau (eaux de lacs et d'étangs et eaux filtrées au sable principalement) sont dues à des organismes vivants, dont nous étudierons plus loin la flore et la faune. Le trouble apporté par ces odeurs est plus fréquent qu'on ne pense, car d'après les études du *State Board of health* du Massachusetts, sur 71 distributions d'eau d'étangs ou de barrages-réservoirs dans cet État, 45 ont manifesté à certains moments une mauvaise odeur ou un mauvais goût, et sur ce nombre 30 ont occasionné une gêne sérieuse : sur 1404 échantillons de ces eaux examinés, 20 p. 100

1. Elles ont le tort d'être très variables, comme la sensibilité de la muqueuse olfactive elle-même, suivant les individus, et pour le même individu suivant l'état (sécheresse ou trop grande humidité) de sa muqueuse nasale.

seulement n'avaient pas d'odeur, 26 p. 100 avaient une odeur végétale, 7 p. 100 une odeur douceâtre, 6 p. 100 une odeur aromatique, 15 p. 100 une odeur d'herbe, 3 p. 100 de poisson, 10 p. 100 de moisi, 6 p. 100 une odeur désagréable et 7 p. 100 une odeur repoussante. A Brooklyn, il y a quelques années, l'eau de la distribution (provenant en partie d'étangs et en partie de puits profonds, mais passant par des réservoirs de décantation), prenait au printemps et à l'automne une odeur très prononcée qui donnait lieu chaque fois à des réclamations pressantes : l'étude faite prouva que la chose était due à la pullulation d'*Asterionella formosa* (de 5000 à 15000 et parfois même 40000 au centimètre cube), cette Algue trouvant des conditions plus favorables dans les réservoirs, précisément quand la proportion d'eau des puits (contenant plus de silice) augmentait. A Boston, on percevait aussi souvent l'odeur de concombre, et après de longues discussions on reconnut qu'elle était due à un autre organisme, *Synura*.

Les organismes causes des odeurs sont le plus souvent des Algues, parfois des Protozoaires : ils agissent soit à l'état vivant par suite de l'odeur propre qu'ils possèdent, soit après leur mort par suite de la mise en liberté des globules d'huile essentielle contenues dans leur corps (on a pu parfois extraire cette huile essentielle par l'éther ou la benzine)¹. Il faut naturellement une certaine dilution pour qu'une huile essentielle soit perceptible : ainsi, d'après Whipple, l'essence de piperment est reconnaissable à $\frac{1}{50\ 000\ 000}$, l'essence de girofle à $\frac{1}{8\ 000\ 000}$, l'huile de foie de morue à $\frac{1}{1\ 000\ 000}$. Il faut dès lors la présence d'un certain nombre minimum d'organismes très odorants pour que l'odeur commence à être sensible : ainsi il faudrait 100 colonies de *Synura* par centimètre cube, ce qui pour l'huile essentielle de ce Protozoaire correspondrait à une dilution de $\frac{1}{25\ 000\ 000}$, et 50000 *Asterionella*, dilution de $\frac{1}{2\ 000\ 000}$. L'odeur augmente avec le nombre des individus, mais parfois elle change aussi de caractère. Quand on chauffe ou qu'on agite l'eau, on détruit un certain nombre de ces frères organismes, et les gouttelettes d'huile étant mises en liberté, on augmente l'odeur ; quand on filtre sur papier ou qu'on concentre l'eau (mé-

¹ Calkins l'a extraite pour *Uroglana*, Jackson et Ellms pour *Anabæna*, Whipple pour *Asterionella* et *Mallomonas*.

thode de Sedgwick-Rafter), les organismes étant en plus grand nombre sur le filtre ou dans l'eau concentrée, on a aussi une odeur accrue. Enfin, il est clair que la production des odeurs de ce genre est essentiellement liée aux périodes de multiplication des Algues dans les lacs et étangs, lesquelles dépendent elles-mêmes de la circulation et du mouvement des couches aqueuses.

Voici les odeurs propres reconnues à certains organismes :

I. Odeur aromatique : principalement les Diatomacées : *Asterionella* (dont l'odeur est celle de géranium, puis, si l'intensité augmente, celle de poisson), *Cyclotella*, *Diatoma*, *Meridion*, *Tabellaria*, et quelques Protozoaires : *Cryptomonas*, *Mallomonas* (arrive à sentir la violette, puis le poisson).

II. Odeur d'herbe : les Cyanophycées : *Anabæna*, *Rivularia*, *Clathrocystis*, *Cœlosphærium*, *Aphanizomenon*, et quelques Diatomacées : *Synedra*, *Melosira*.

III. Odeur de poisson : les Chlorophycées : *Volvox*, *Eudorina*, *Pandorina*, *Dictyosphærium*, et des Protozoaires tels que : *Uroglena* (odeur d'huile de foie de morue), *Synura* (odeur de concombre mûr et d'épices), *Dinobryon*, *Bursaria*, *Peridinium*, *Glenodinium*.

Après leur mort, les Cyanophycées, les Beggiatoacées, les Characées donnent par la décomposition des odeurs fortes, ainsi que de l'hydrogène sulfuré ou carburé, et cela d'autant plus que ces corps contiennent plus d'azote. Quant aux plantes aquatiques, généralement attachées aux berges, elles ne donnent guère d'odeur qu'après avoir été coupées, et si l'étendue d'eau est tant soit peu grande, cette odeur n'a pas d'importance.

La question de savoir si l'odeur et la présence même des organismes odorants dans l'eau de boisson sont dangereuses pour la santé n'est pas bien résolue. Les organismes sont si petits (Whipple dit qu'une *Asterionella* pesant $\frac{4^{\text{gr}}}{10^{\text{to}}}$, cela fait 8 milligrammes de matières solides, dont moitié seulement de matières organiques, dans un verre de 200 centimètres cubes d'eau contenant 100 000 individus au centimètre cube), qu'ils ne paraissent pas pouvoir nuire aux hommes bien portants : il n'en est peut-être pas de même pour les intestins déjà affaiblis, pour les enfants, ou pour les personnes non accoutumées. Quant aux poisons que

ces Algues pourraient contenir, ils n'ont pas encore pu être mis en évidence d'une manière certaine.

L'élimination des odeurs de ce genre, en même temps que celle des organismes producteurs, réussit souvent, mais pas toujours avec les simples filtres à sable : cela résulte d'expériences faites à Lawrence et Springfield en 1901¹, où on opéra sur l'eau du réservoir Ludlow avec des teneurs variables en *Dinobryon*, *Anabæna*, *Asterionella*. L'odeur d'*Anabæna* persista seule après une première filtration, mais elle céda à une double filtration.

Nous ne citerons que pour mémoire les odeurs *chimiques*, résultant de déversements de résidus industriels dans les cours d'eau, ou encore celle de goudron qui provient au début de la coaltarisation des conduites neuves, etc.

Couleur, trouble ou limpidité (turbidité) et transparence de l'eau.

Il y a ici trois propriétés à distinguer : la couleur propre de l'eau, c'est-à-dire la nuance qui lui est afférente, indépendamment des corps qu'elle peut tenir en suspension ; la *turbidité* (ce mot, en anglais *turbidity*, exprime mieux l'idée que celui de trouble), c'est-à-dire le louche plus ou moins intense produit par la mise en suspension de corpuscules très nombreux et très petits ; enfin, la transparence (*Sichtbarkeit*), qui est la résultante des deux qualités précédentes, et donne la manière dont la masse d'eau se laisse pénétrer par la lumière. En général, quand les eaux sont troubles, leur apparence résulte presque exclusivement de la turbidité et la couleur propre ne joue qu'un faible rôle, en sorte que dans le langage vulgaire le public appelle couleur l'effet du trouble ; de même on confond aussi la transparence avec la turbidité et on mesure l'une pour l'autre.

Couleur propre de l'eau. — L'eau chimiquement pure n'a pas de couleur sous faible épaisseur, mais elle a une teinte bleue tirant sur le vert quand elle a une épaisseur de quelques mètres.

Toute couleur autre provient donc de substances dissoutes. Le plus fréquemment, ces substances sont d'origine végétale, proviennent des feuilles, mousses et herbes et donnent à certaines eaux

1. CLARK, « Removal of color, organisms and odor from water » (in *Journal of the New England waterworks Association*, mars 1903).

de surface une coloration jaunâtre, analogue à celle du thé léger. Dans la nature, on trouve des eaux courantes ainsi colorées dans les montagnes à sol granitique ou gréseux, jamais dans les terrains calcaires : l'eau en couche peu épaisse est jaune-brun, quoique très claire, mais en masse elle paraît noire. Le phénomène est bien connu dans les Alpes (où un bon nombre de cours d'eau portent le nom d'*Eau-Noire* ou de *Schwarzbach*) et aux États-Unis, mais il est surtout développé dans les bassins montagneux de l'Orénoqué et de l'Amazone (versant oriental des Andes du Brésil), d'où aussi le nom fréquent de *Rio-Negro*. J. Reindl¹ vient d'en donner une explication satisfaisante que voici.

Les eaux de cette nature ont pris dans les terrains traversés, d'une part de l'acide humique et autres composés analogues (et cela d'autant plus facilement qu'il y a plus de mousses, herbes, tourbe et marécages sur leur passage), d'autre part des alcalis provenant des roches feldspathiques ou argilo-siliceuses : ces corps se combinent en précipitant la silice, qui tapisse en blanc le fond du lit (les rivières noires coulent sur fond blanc), tandis que les combinaisons solubles mais peu stables des alcalis et de l'acide humique teignent l'eau en jaune ou en brun. Mais que cette eau arrive dans un terrain calcaire ou magnésien, l'acide humique se combine alors avec la chaux et la magnésie et les précipités insolubles tapissent le lit en noir, tandis que l'eau se décolore complètement. Les composés du fer jouent aussi un rôle analogue : les roches siliceuses ou silicatées contiennent de l'oxyde de fer qui se réduit en présence des matières organiques et reste dissous sous forme de carbonate ferreux (un peu verdâtre) ; plus loin, en présence de la chaux ou d'un apport d'oxygène, cette combinaison se dissocie et l'oxyde de fer se précipite.

Dans les eaux souterraines, la couleur est rare, mais quand elle existe, elle tient presque toujours à ces composés ferreux, solubles, qui se forment en l'absence d'oxygène et se précipitent par l'oxydation, le brassage avec l'air, etc. : la déferrisation se fait en même temps que la décoloration². Dans les lacs, en dehors des périodes

1. J. REINDL, « Die schwarzen Flüsse Südamerikas » (in *Münchener Geographische Studien*, 1903). Précédemment, Schwager avait fait jouer aux Diatomées un rôle important dans la coloration de l'eau des fleuves, mais il semble aujourd'hui qu'il l'ait bien exagéré.

2. Toutefois, l'oxyde de fer qui reste longtemps en suspension en flocons gélatineux

de circulation il est avéré que la couleur augmente avec la profondeur, et il en est de même pour la quantité de fer dissous : on peut penser que cela tient précisément au manque d'oxygène dans les couches profondes, et à l'accumulation des matières organiques d'origine végétale déposées sur le fond ; d'un autre côté, on sait que la lumière solaire détruit la couleur, et les couches superficielles se trouvent ainsi décolorées¹. Enfin, dans les lacs comme dans les cours d'eau, la couleur a des variations saisonnières et annuelles, qui dépendent de l'intensité et de la dilution plus ou moins grande de l'*infusion végétale* par les pluies et les fontes de neige, de l'abondance des feuilles, de leur couleur momentanée, etc., ainsi que de la présence d'argile délayée (les composés de l'alumine fixant la matière colorante, et pouvant décolorer l'eau en se précipitant ensuite).

Les deux figures ci-après, empruntées aux beaux travaux du laboratoire des Waterworks de Boston, donnent une bonne idée de ces variations de la couleur avec les saisons, et dans les lacs avec la profondeur. La première (fig. 1) représente les moyennes

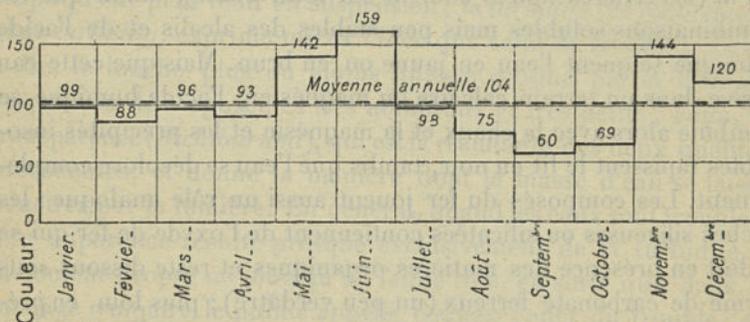


Fig. 1. — Couleur (moyennes mensuelles) des eaux du Cold Spring Brook (alimentant Boston en 1894.

mensuelles de la couleur du Cold Spring Brook, petit cours d'eau alimenté en partie par de grands marais et arrivant au bassin n° 4

continue à donner une couleur rougeâtre, mais cette couleur n'est plus propre à l'eau même et ressort de la turbidité (*colored turbidity*) ; elle disparaît avec les flocons en suspension et par conséquent au filtrage.

1. D'après Whipple, cette action décroît très vite en s'éloignant de la surface et elle disparaît entre 2 et 3 mètres ; elle peut être considérable et manger 50 p. 100 de la couleur de la surface en un mois. Stearns, qui a laissé un réservoir de 6 mètres de profondeur abandonné à lui-même pendant six mois, y a vu la couleur moyenne de l'eau passer de 39 à 18.

de Boston : on y voit deux maxima, l'un en mai et juin et l'autre en novembre et décembre, et deux minima. Le minimum d'hiver correspond à l'époque où la végétation manque et où les pluies et fontes de neige diluent l'eau des marais, celui d'été à la période où les marécages ont leur niveau très bas et ne se déchargent pas dans la rivière : il arrive qu'une pluie d'orage fait déborder parfois l'eau très colorée des marais et produit une brusque augmentation de couleur du Spring Brook. Au Massapequa Pond qui alimente Brooklyn, le climat est plus doux, le maximum du printemps arrive plus tôt et celui d'hiver est reculé en janvier. Généralement en été et en automne, les variations de la couleur suivent la pluie, ce qui se comprend, puisque c'est la pluie qui lessive les feuilles et leur prend les matières colorantes. Quant à la nature exacte de ces dernières, on l'ignore, comme du reste celle de la chlorophylle dont elles dérivent : ce sont sans doute des tannins, des glucosides et autres dérivés hydrocarbonés, et ce qu'on sait en tout cas c'est que leur proportion dans l'eau augmente parallèlement d'une part avec celle de l'ammoniaque albuminoïde, d'autre part avec l'oxydabilité (quantité d'oxygène consommé emprunté au permanganate pour brûler les matières organiques, principalement le charbon).

La seconde figure (fig. 2) représente ce qui se passe dans le

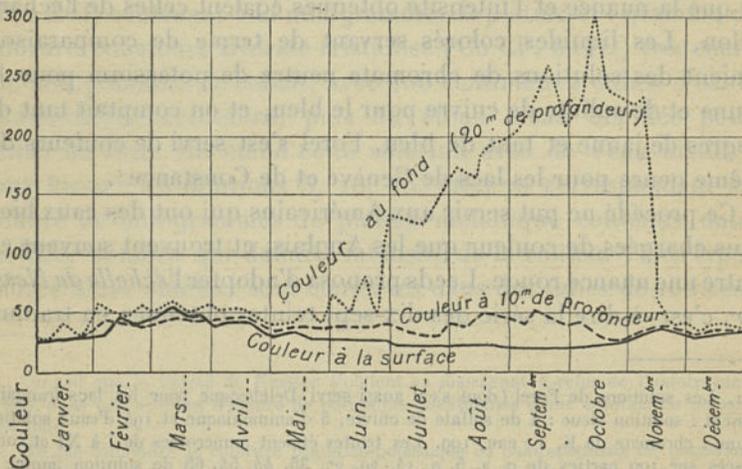


Fig. 2. — Couleur à la surface, au fond et à mi-hauteur du lac Cochituate (alimentant Boston, en 1896.

lac Cochituate qui alimente aussi Boston. Le trait plein montre

que la couleur à la surface reste peu élevée et assez constante, mais plus faible en été et en automne (à cause de l'action de la lumière solaire). Le trait ponctué montre une constance plus parfaite encore pour la couleur à mi-profondeur (l'action de la lumière ne s'exerçant plus); enfin le trait pointillé indique, pour la couleur au fond du lac, une différence considérable de juin à novembre avec celle des couches supérieures, soit un maximum ayant atteint 300 en 1896, alors que d'autres années il ne dépasse pas 120. Le même phénomène se reproduit tous les ans depuis 1891 : l'augmentation de la couleur commence après la période de circulation de printemps et cesse brusquement fin novembre, quand celle de circulation d'automne va commencer. Ajoutons enfin que l'eau du fond, lorsqu'elle est retirée et exposée à la lumière, se fonce encore considérablement (de 120 à 370, d'après Fitz-Gerald qui attribue le fait à une oxydation rapide des composés ferreux).

Mesure de la couleur de l'eau. — C'est Tidy qui imagina le premier *colorimètre*. Il se composait de deux tubes de verre de 0^m,60 de long, fermés à la base par des plaques de verre : dans l'un, l'eau à examiner ; dans l'autre, de l'eau distillée sur une même hauteur (pour égaliser la perte de lumière), puis par-dessus on essayait des godets de verre contenant un liquide coloré, jusqu'à ce que la nuance et l'intensité obtenues égalent celles de l'échantillon. Les liquides colorés servant de terme de comparaison étaient des solutions de chromate neutre de potassium pour le jaune et de sulfate de cuivre pour le bleu, et on comptait tant de degrés de jaune et tant de bleu. Forel s'est servi de couleurs du même genre pour les lacs de Genève et de Constance ¹.

Ce procédé ne put servir aux Américains qui ont des eaux bien plus chargées de couleur que les Anglais, et trouvent souvent en outre une nuance rouge. Leeds proposa d'adopter l'*échelle de Nessler*, c'est-à-dire la série des dix-sept teintes obtenues en traitant

1. Les solutions de Forel (dont s'est aussi servi Delebecque pour les lacs français) étaient : solution bleue : 1 de sulfate de cuivre, 5 d'ammoniaque et 194 d'eau ; solution jaune : chromate de K, 1 ; eau, 199. Les teintes étaient numérotées de I à XI et composées sur 100 parties de 0, 2, 5, 9, 14, 20, 27, 35, 44, 54, 65 de solution jaune, le reste de solution bleue. Les lacs de Genève, d'Annecy, du Bourget sont bleus (teinte IV) ; les lacs Lanoux et d'Orédon (Pyrénées) ont la teinte V ; le lac de Constance entre VI et VII (lacs verts) ; les lacs de Nantua, de Chaillexon (Jura) ont la teinte XI et sont jaunes.

par le réactif de Nessler¹ des éprouvettes de 50 centimètres cubes d'eau contenant des proportions de 0,1 à 5 centimètres cubes (accroissement de 0^{cc},3 d'une éprouvette à l'autre) d'une solution d'ammoniaque à 10 milligrammes d'Az H³ par litre ; les échantillons d'eau à examiner et les liquides colorés types sont mis dans des tubes de 0^m,30 de haut et de 0^m,015 à 0^m,020 de diamètre pour être comparés. Mais la méthode avait de sérieux inconvénients : les liquides des teintes foncées sont troubles, la couleur est influencée par la température et par le mode de préparation, les intervalles de la gamme des teintes ne sont pas égaux, etc. ; bref, on l'a abandonnée, mais il est encore bon de savoir que la teinte 0,10 de l'échelle de Nessler correspond à la couleur 18, la teinte 0,50 à 46, la teinte 1 à 81 et la teinte 2 à 150 de l'échelle au platino-cobalt.

La méthode au platino-cobalt, proposée par Allen Hazen, n'a aucun des inconvénients ci-dessus et les types colorés se gardent indéfiniment ; aussi est-elle désormais généralement adoptée. Voici la traduction de la circulaire n° 8 (1^{er} mai 1902) du service hydrographique du Geological Survey des États-Unis qui la prescrit :

« On prépare une solution type qui aura la couleur 500 en faisant dissoudre 1^{gr},246 de chlorure platinico-potassique² (Pt Cl⁴, 2 KCl) contenant 500 milligrammes de platine et 1 gramme de chlorure cobalteux hydraté cristallisé (Co Cl², 6 H²O) contenant 250 milligrammes de cobalt, avec 100 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré, puis on étend d'eau distillée pour former un litre. On étend cette solution avec de l'eau distillée pour former les dilutions 5, 10, 15, etc., 70 correspondant au nombre de milligrammes de platine métallique contenus dans un litre, nombre qui définit l'intensité de la couleur³. Ces types colorés ainsi obtenus sont conservés dans des tubes de 100 cen-

1. On sait que le réactif de Nessler s'obtient en dissolvant à refus de l'iodure mercurique dans une solution d'iodure de potassium additionnée d'une solution de potasse caustique.

2. Ne pas confondre le chlorure platinico-potassique ou chloroplatinate de potassium avec le chlorure platinoso-potassique : ce dernier a une couleur rougeâtre, tandis que le premier est jaune.

3. Tous nos remerciements à M. le professeur Arth, qui avait bien voulu préparer à l'Institut chimique, pour les montrer à la Société, la solution type 500 et les solutions dérivées 500, 100, 50, 25 et 10.

timètres cubes de capacité, avec 0^m,20 de hauteur, bien à l'abri de la poussière.

« L'échantillon à examiner est mis dans un tube semblable et comparé avec les types ; pour cela, on regarde au travers des tubes vers le bas, au-dessus d'une surface blanche placée sous une inclinaison telle que la lumière soit réfléchiée vers le haut au travers du liquide. On prend le chiffre du type le plus voisin. Si la couleur est de plus de 70, il faut faire une dilution préalable, afin de pouvoir apprécier les nuances. L'eau trouble doit être filtrée tout d'abord de manière qu'il n'y ait plus de corps en suspension : le papier-filtre suffit parfois, mais le filtre Berkefeld est à recommander en général, tandis que le filtre Chamberland est à éviter à cause de l'action décolorante de l'alumine qui entre dans sa constitution.

« Il est impraticable d'emporter les tubes des couleurs types dans les opérations sur place, opérations si fréquentes et si importantes dans le service du Geological Survey. Pour y suppléer, Allen Hazen et Whipple ont préparé des disques de verre coloré ayant exactement les mêmes teintes que les types au platino-cobalt, et gradués en conséquence. Un de ces disques (ou plusieurs superposés, auquel cas leurs indications s'ajoutent) se place au bout d'un tube métallique de 0^m,20 de haut, qui théoriquement devrait être rempli d'eau distillée, mais qui pratiquement peut rester vide, alors que l'eau à examiner remplit un autre tube semblable fermé par des verres incolores, et on cherche à obtenir l'égalité de teinte (fig. 3). Les disques colorés ont une monture en aluminium, et se vissent à l'extrémité des tubes. Le tube qui doit recevoir l'eau étudiée doit naturellement être lavé et rincé plusieurs fois avec cette eau : les tubes et les disques doivent être tenus très propres et les vis pas trop serrées.

« Pour la comparaison, les tubes doivent être tenus à une distance de l'œil telle que les côtés cessent juste de pouvoir être vus, ce qui arrive quand l'extrémité supérieure du tube est à 0^m,20 ou 0^m,22 de l'œil. On doit voir les deux tubes ensemble du même œil, et on les change de place entre eux pour être bien sûr que l'un n'est pas plus éclairé que l'autre. Le fond doit être clair, blanc et fortement illuminé, comme une feuille de papier par un beau ciel (si le ciel est gris, on peut le regarder vers l'horizon) : ce fond est vertical et on tient les tubes horizontalement,

ou encore on les tient faiblement inclinés vers le bas en regardant un fond horizontal. Aucune lumière artificielle ne peut convenir.

« Les disques ne s'étendent pas au delà de la couleur 100. Si on a des eaux plus colorées, on peut procéder de deux manières,

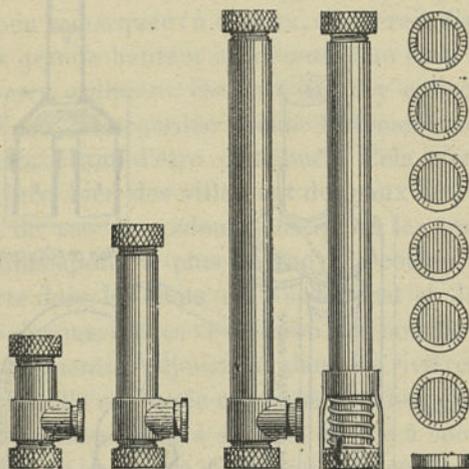


Fig. 3. — Tubes et disques colorés pour mesurer la couleur de l'eau en campagne (procédé du Geological Survey des États-Unis).

soit par dilution, soit au moyen de tubes de moindre longueur. Par dilution, il suffit d'étendre avec de l'eau distillée jusqu'à ce qu'on trouve un disque de même intensité et de déterminer la proportion. Comme il n'est pas toujours facile d'avoir de l'eau distillée en campagne, il est plus simple d'avoir un tube de 0^m,100 et un de 0^m,05 de hauteur : comme on admet que l'intensité de la couleur est proportionnelle à l'épaisseur de la tranche liquide, on met l'eau dans un de ces tubes, on cherche l'égalité avec un disque type, et on n'a qu'à multiplier son indication par 2 ou par 4. »

Dans les laboratoires bien montés, on peut se servir avec avantage, pour comparer les échantillons avec les solutions de platino-cobalt types, d'un colorimètre comme celui de Fitz-Gerald, représenté par la figure 4. Il se comprend de lui-même, sauf l'oculaire qui comporte les deux prismes A et B, éclairant chacun une moitié du champ au moyen de la lumière ayant traversé les deux tubes F et G, lesquels contiennent l'un l'échantillon, l'autre la solution type : rien de plus facile dès lors que de s'assurer de l'égalité de

teinte des deux moitiés du champ. Il n'y a pas besoin d'employer un grand nombre de solutions types ; car, en se basant sur la proportionnalité de la couleur à l'épaisseur du liquide, on voit qu'il suffit de faire varier la hauteur de la solution type dans le second

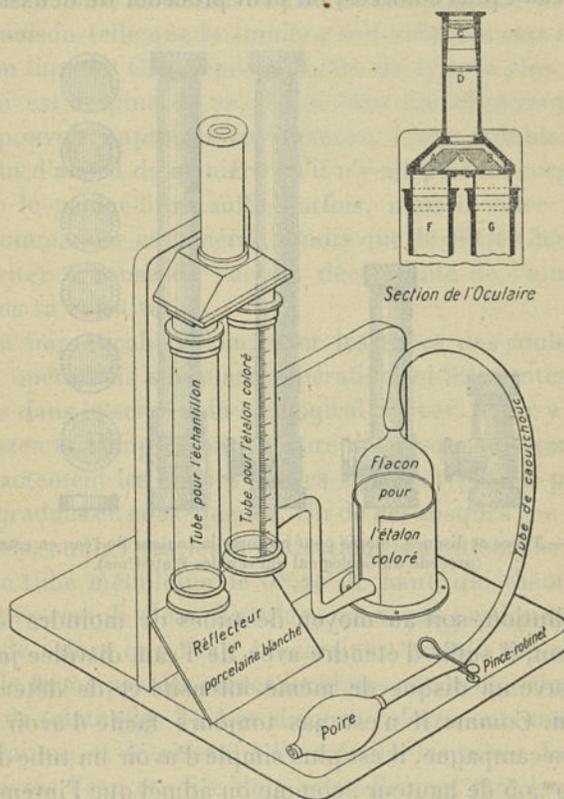


Fig. 4. — Colorimètre de Fitz-Gerald (laboratoire des Waterworks de Boston).

tube (lequel est gradué) pour obtenir une série d'intensités, fractions de l'intensité correspondant au tube plein. On peut aussi faire varier la hauteur de l'échantillon, mais on a remarqué (au laboratoire de Boston) que la proportionnalité n'est pas si exacte, et notamment qu'elle n'existe plus quand on a peu d'eau sur le fond du tube : on peut toutefois établir des tables ou des courbes de correction.

Mais quand on a mesuré la couleur d'une eau, la question se pose de savoir si cette eau peut être distribuée telle ou, en d'au-

tres termes, quelle est la limite de couleur admissible. — Disons d'abord que les matières colorantes étudiées ci-dessus ne paraissent pas dangereuses pour la santé par elles-mêmes, mais elles indiquent une provenance suspecte et peuvent souvent être accompagnées par des germes nocifs : la couleur sera donc d'abord un avertissement. Comme aspect, Whipple¹ admet que jusqu'à 20 la couleur est peu remarquée : à ce taux, elle serait distincte dans un tube d'assez grande hauteur au-dessus d'un fond blanc, mais non dans un verre ordinaire. De 20 à 40, il y a discussion ; au-dessus de 40, l'eau est regardée comme fortement colorée et devrait être traitée avant d'être distribuée. Cela n'empêche pas qu'aux États-Unis, bien des villes ont des eaux de plus de 40 et même de plus de 100 de couleur sans qu'on les traite (ainsi le Mississipi à Minneapolis a plus de 100) : la couleur est généralement très forte dans les États du Nord-Ouest et dans ceux du Nord, où il y a des marécages et où aussi des bois flottés et de la sciure en grande quantité séjournent dans les rivières. L'eau qui sort de marais où elle est restée en contact prolongé avec des matières organiques abondantes a souvent de 100 à 500 comme degré de couleur et on en trouve même qui va jusqu'à 1 000.

Nous verrons plus loin comment on peut se débarrasser de la couleur quand elle est excessive.

Turbidité : matières en suspension.

Toutes les sources ne donnent pas constamment de l'eau claire, et beaucoup d'entre elles se troublent plus ou moins à la suite de pluies violentes ou prolongées. Les cours d'eau sont plus sujets encore à donner de l'eau trouble : les eaux de ruissellement entraînent des particules terreuses dans une proportion qui dépend de la nature du sol, de l'importance des déclivités et de la violence de l'averse², et on peut dire qu'à toute crue correspond un

1. WHIPPLE, ALLEN HAZEN, etc., « The decolorization of water », in *Transactions of American Society of Civil Engineers*, 26 juin 1901.

2. Les quantités de limon et de vase charriées par certains fleuves sont énormes : c'est ainsi que Lombardini a évalué à 27 millions de mètres cubes la quantité que le Pô emmène par an à la mer ; la Durance, d'après Hervé-Mangon, apporterait plus de 5 millions de mètres cubes de limon au Rhône, et, en 1902, elle aurait été claire 72 jours, louche 30 jours et trouble 263 jours (soit les trois quarts du temps). Certains fleuves américains sont même toujours troubles.

accroissement considérable des éléments en suspension dans l'eau, c'est-à-dire de la turbidité. (Il en est de même pour le nombre des bactéries.) Le trouble peut aller depuis un simple louche jusqu'à la consistance d'une véritable boue (torrents de boue dans les montagnes). Quant aux lacs, ils subissent l'influence des apports du ruissellement dans une mesure très variable, suivant leur étendue relative ; les grandes vasques sont peu troublées en dehors d'une bande étroite le long du littoral, et c'est une raison quand on y puise pour reculer la prise vers le large.

Tous les corpuscules en suspension dans l'eau ne la troublent pas forcément : ainsi les bactéries peuvent être en nombre immense sans causer le moindre louche, tant leur taille est petite, et inversement on ne peut dire que quelques particules même d'assez grande taille réparties dans un litre d'eau claire la rendent trouble ; il faut donc à la fois une taille suffisante et un nombre assez grand. Quant à leur nature, les causes du trouble peuvent être soit des matières inertes, généralement terreuses, soit plus rarement des organismes. Ce n'est guère que dans les lacs et marais ou dans les bassins filtrants que ce dernier cas se produit, grâce à la pullulation momentanée d'Algues ou de petits animaux, tout comme cela se produit dans la mer¹ : l'étude doit donc en être renvoyée au chapitre de la biologie des eaux, et dans ce qui suit ici nous ne nous occuperons que de la turbidité d'origine terreuse. Il faut encore distinguer suivant que les particules sont de nature siliceuse ou argileuse : la silice ou le sable, même très fin, troublent moins et moins longtemps que l'argile, celle-ci étant parfois en parcelles très ténues et de nature un peu gélatineuse (*argile colloïdale*), qui ne se déposent qu'avec une extrême lenteur ; on conçoit, du reste, qu'il y ait souvent un mélange des deux corps en proportion variable.

Premiers essais de mesure de la turbidité et de la transparence.

— Les premiers moyens de mesurer le trouble des eaux étaient d'ordre gravimétrique, c'est-à-dire qu'on cherchait à précipiter les matières en suspension et à les peser. C'est ainsi qu'on a trouvé dans

1. C'est ainsi que la mer Rouge doit son nom et sa coloration à des myriades d'une petite Algue, *Trychodesmium erythraeum*, que des milliers de noctiluques produisent la mer phosphorescente et la *mer de lait*, que d'autres fois ce sont des petits Copépodes qui transforment l'eau en une bouillie rosée, etc. On connaît aussi le trouble produit par le *Crenothrix* dans les eaux riches en fer.

le Nil en crue un poids de 1 254 milligrammes de matières en suspension, et dans le Mississipi, pour 4 échantillons, des poids de 348, 576, 788 et 1 030 milligrammes par litre : d'après Ockerson, le 2 juillet 1894, ce fleuve, à la Nouvelle-Orléans, en contenait 2 360 milligrammes, presque tout du limon. Mais ces procédés ont été abandonnés, parce que ce qu'il importe de connaître c'est l'*apparence* de l'eau, et que celle-ci n'est pas donnée par le poids des matières suspendues, cet élément seul ne tenant pas compte de la finesse des particules; de plus, la précipitation est souvent longue et difficile, et, en outre, elle entraîne avec les corps qui troublent l'eau certains autres corps qui ne la troublent pas (comme les bactéries et même une certaine fraction des sels dissous).

Pour ces raisons, on a adopté des méthodes optiques, faisant connaître, non pas précisément la turbidité, mais le degré de *transparence*, qui en dépend presque exclusivement : on détermine l'effet, et non plus la cause. C'est le capitaine Bérard qui, le premier, essaya à quelle profondeur en mer une assiette de porcelaine blanche, attachée à trois cordelettes, cessait d'être visible (dans le Pacifique, il trouva que cette profondeur était voisine de 40 mètres). Le P. Secchi et Cialdi reprirent l'expérience en 1865 dans la Méditerranée en se servant d'un disque de 0^m,20 de diamètre en toile peinte en blanc avec de la céruse : par les plus beaux jours, le disque se voyait jusqu'à 45 mètres. En 1880, Wolf et Luksch opérèrent de même sur l'Adriatique. Puis Forel appliqua la méthode sur les lacs de Genève et de Constance : sur le premier, la limite de visibilité du disque a varié, suivant les endroits, les jours et les saisons, entre un minimum de 4 mètres et un maximum de 21 mètres; la transparence est bien plus grande en hiver qu'en été, ce qui tient tant à la température qu'à l'apport plus élevé en été des vases charriées par les affluents. Il en est aussi de même pour le lac de Constance, mais à Bregenz la limite n'est parfois que de 1 mètre à 1^m,50 en été et ne dépasse pas 10 mètres en hiver : elle va un peu plus bas à Constance. Delebecque a déterminé de même la transparence d'un bon nombre de lacs français, mais c'est avec raison qu'il tient compte de la couleur, celle-ci intervenant avec la turbidité dans la question.

En 1883, la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève opéra différemment : elle plongea une lampe électrique dans le Rhône à la sortie du lac, ce qui donna à peu près l'effet d'un

réverbère par un gros brouillard, et elle appela *limite de la vision claire* la profondeur où le point brillant cessait d'être perceptible, et *limite de la vision diffuse* celle où l'éclairement diffus disparaissait lui-même; cette dernière était à peu près deux fois plus éloignée que la première.

On a aussi cherché à quelle profondeur la lumière du jour cesse complètement de pénétrer, et pour cela on s'est servi de plaques photographiques sensibles. Forel a commencé dans le lac de Genève avec un papier au chlorure d'argent, descendu la nuit et retiré de même trois jours après : à 60 mètres, il n'était pas influencé; toutefois, en mars 1888, en plein lac, au droit de Morges, il a trouvé que la lumière pénétrait jusqu'à 110 mètres (au lac de Constance, la limite n'est guère que de moitié). C'est aussi en 1888 qu'Asper fit dans les lacs de Zurich et de Wallenstadt ses célèbres expériences avec du papier au gélatino-bromure : il y avait une série de plaques immergées à des distances égales, et c'est seulement entre 150 et 160 mètres que la lumière cessa de les influencer. Herman Fol et Sarasin cessèrent d'opérer de nuit, et se servirent d'un châssis qu'on pouvait ouvrir dix minutes et refermer à toute profondeur : dans le Léman, ils trouvèrent la limite d'influence à 170 mètres, tandis qu'elle descendait jusqu'à 400 mètres dans la Méditerranée par le soleil; la différence doit être attribuée au trouble apporté dans les eaux du Léman par les affluents.

Étude de l'absorption de la lumière dans l'eau. — A cette question se rattache celle de l'absorption de la lumière par l'eau, question que nous ne ferons qu'effleurer, mais qui cependant pourrait donner un moyen scientifique de détermination de la turbidité d'une eau, par différence entre le pouvoir absorbant constaté pour cette eau et celui de l'eau distillée ou d'une eau type. L'eau distillée absorbe en effet déjà très rapidement la lumière en profondeur : d'après Wild, la traversée d'une couche d'eau de 0^m,10 d'épaisseur réduirait l'unité de lumière à 0,94769, 0,93968 et 0,9179, suivant que la température de cette eau est respectivement de 6°,2, 17° et 24°,4. Si on admet que chaque tranche absorbe pareille fraction de la lumière qui lui arrive, l'intensité décroîtra en progression géométrique quand les profondeurs croissent en progression arithmétique, et si nous prenons la perte moyenne de 6 p. 100 à chaque décimètre de profondeur, on aura

pour l'intensité lumineuse (supposée 100 à la surface) la première courbe de la figure 5. On voit d'après cela que la lumière tomberait très rapidement dans les premiers mètres et qu'à 10 mètres elle ne serait plus que de 0,2055 p. 100; à 15 mètres, elle serait de 0,0093, à 20 mètres de 0,000422 et à 30 mètres de 0,00000867 p. 100.

En réalité, la lumière ne baisse pas si vite aussi bas, grâce au phénomène de la *lumière diffuse*. On ne connaît pas l'absorption dans l'eau colorée ou dans l'eau trouble, mais les particules suspendues renvoient une partie de la lumière qu'elles reçoivent et

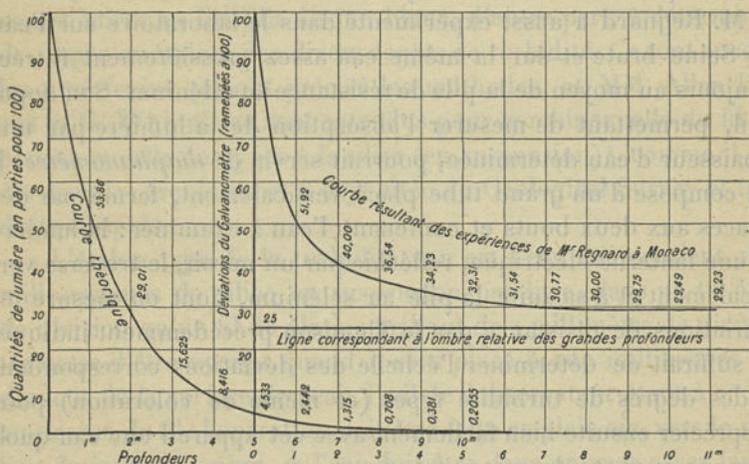


Fig. 5. — Absorption de la lumière dans l'eau, suivant la profondeur.

contribuent à illuminer autour d'elles. Il en résulte qu'après la chute rapide des premiers mètres, la lumière se maintient longtemps presque égale, ainsi que le montre la seconde courbe de la figure 5 tracée d'après les expériences de M. Regnard à Monaco (1890). Ces expériences ont été faites au moyen de deux procédés très curieux. Le premier est basé sur le fait que le sélénium diminue de résistance au courant électrique quand il est éclairé, et cela proportionnellement à l'éclairement : une pile de résistance au sélénium enfermée dans une boîte en cuivre avec glace supérieure est descendue aux profondeurs voulues, et reliée à un galvanomètre indicateur Thomson à miroir et à pile thermo-électrique; les déviations indiquent les résistances et par suite les

quantités de lumière qui arrivent au sélénium¹. L'autre procédé reposait sur la propriété qu'ont le chlore et l'hydrogène mélangés en quantités égales de se combiner sous l'influence de la lumière et de former une quantité d'acide chlorhydrique proportionnelle à l'intensité de la lumière qui tombe sur le mélange : on remplissait dès lors de longs tubes de verre du mélange des deux gaz (obtenu par la décomposition de HCl par l'électricité), on les immergeait de nuit, et en les retirant on n'avait plus qu'à doser les volumes de gaz restants (ce qui se faisait en ouvrant le robinet sous l'eau, celle-ci montant alors plus ou moins dans le tube suivant la quantité d'HCl formée).

M. Regnard a aussi expérimenté dans le laboratoire sur l'eau de Seine brute et sur la même eau assez grossièrement filtrée, toujours au moyen de la pile de résistance au sélénium. Son appareil, permettant de mesurer l'absorption de la lumière par une épaisseur d'eau déterminée, pourrait servir de *diaphanomètre*. Il se compose d'un grand tube placé verticalement, fermé par des glaces aux deux bouts et contenant l'eau à examiner : la lumière d'une lanterne électrique, réfléchiée par un miroir, le traverse verticalement et à sa suite la pile au sélénium, dont on mesure les variations de résistance par le Thomson précédemment indiqué. Il suffirait de déterminer l'échelle des déviations correspondant à des degrés de turbidité types (et même de coloration) pour apprécier ensuite bien facilement avec cet appareil une eau quelconque sous ces deux rapports.

La lumière qui pénètre dans l'eau n'est pas seulement modifiée en intensité, mais elle l'est encore en qualité : les radiations rouges se réfractent et s'absorbent en effet d'une manière différente des radiations violettes, etc., et il semble certain que les rouges s'absorbent les premières, puis les violettes, puis les jaunes qui pénétreraient ainsi plus profondément que les autres ; rien ne dit enfin que des radiations infra-rouges ou ultra-violettes, insensibles à la rétine humaine, mais peut-être perceptibles par les animaux des grands fonds, ne vont pas plus loin encore. Ces faits

1. Ainsi, à la surface, le galvanomètre marquait 260 divisions ; à 1 mètre de profondeur, il marquait 135 ; à 2 mètres, 104 ; puis, grâce à la lumière diffuse, il changeait peu jusqu'à 11 mètres, profondeur où l'appareil cessait d'être sensible. L'ombre des profondeurs beaucoup plus grandes correspondait à 65 divisions. C'est la traduction de ces résultats en fractions p. 100 que montre la deuxième courbe de la figure 5.

ont de l'importance pour la vie des Algues qui s'étagent suivant les couleurs dont elles ont besoin : ainsi les Algues bleues et vertes, à chlorophylle, qui ont besoin des rayons rouges, ne peuvent vivre que tout en haut près de la surface ; les brunes (fucus et laminaires), qui absorbent les rayons entre le violet et le jaune, descendent plus bas ; enfin à l'étage inférieur, les Algues rouges (floridées), qui n'ont besoin que des rayons bleus, restent seules.

Nouveaux procédés de mesure de la turbidité et de la transparence : règles pratiques. — Venons aux procédés pratiques actuellement usités pour évaluer le trouble d'une eau. On a cherché, d'une part, à perfectionner la méthode de Secchi en essayant diverses mires au lieu du disque blanc, d'autre part, à déterminer des types ou étalons des divers degrés de turbidité. Ce sont encore les Américains qui ont précisé les méthodes, et MM. Allen Hazen et G. Whipple se sont entendus pour combiner celle du fil de platine et celle des types à la silice (en suspension)¹, comme il est dit dans la circulaire n° 8 déjà citée du Geological Survey et traduite ci-après :

« L'étalon type de la turbidité 100 est l'eau qui contient 100 milligrammes de silice en suspension par litre, dans un tel état de division qu'un fil de platine brillant de 1 millimètre de diamètre cesse d'être aperçu quand il sera placé à 100 millimètres en dessous de la surface de l'eau, l'œil de l'observateur étant à 1^m,20 au-dessus du fil : l'opération doit être faite en plein air, vers le milieu du jour, à l'ombre, et l'eau doit être dans un vase assez large pour que les parois n'empêchent pas la lumière d'entrer et n'influencent pas les résultats.

« Pour apprécier les eaux plus troubles que cet étalon, on les étend d'un volume d'eau parfaitement claire tel que l'on arrive à égaler la turbidité de l'étalon, et on prend le rapport entre le volume étendu et le volume primitif. Pour les eaux moins troubles que 100, c'est l'étalon qu'on étend d'eau claire jusqu'à égaler l'échantillon, et on prend le rapport du volume primitif de l'étalon à son volume étendu.

1. On sait qu'on obtient de la silice pure en suspension dans l'eau en la précipitant d'une dissolution de silicate de K ou de Na par HCl ; on a la silice anhydre en chauffant le précipité gélatineux à 100°, lavant et desséchant. Les auteurs américains ci-dessus nommés obtiennent leur silice type en choisissant de la terre de diatomées convenable, la lavant et la broyant au degré de finesse voulu.

« Dans les laboratoires, la méthode de dilution et de comparaison est facile à appliquer ; il n'en est pas de même en campagne. On applique alors la *baguette de poche* (fig. 6), au fil de platine. Celui-ci, toujours de 1 millimètre de diamètre et de 20 millimètres de long, est inséré à angle droit vers l'extrémité d'un

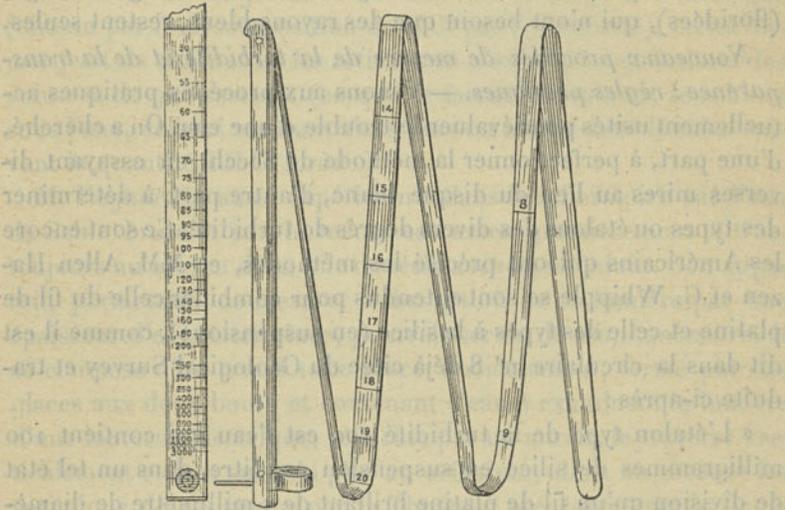


Fig. 6. — Turbidimètre de poche au fil de platine (procédé du Geological Survey des États-Unis).

bâton plat de 0^m,20 de long, prolongé par un cordon de 1 mètre, le tout gradué depuis 3 000 près du fil jusqu'à 7 vers le bout du cordon (lequel porte un anneau). La division 100 se trouve naturellement à 100 millimètres de l'axe du fil de platine ; les autres se détermineraient facilement par les dilutions, mais on peut plus simplement adopter les résultats indiqués par la table ci-contre, dressée d'après de nombreuses expériences ¹.

TABLEAU.

1. La table de la circulaire américaine porte aussi en regard les valeurs de l'ancienne échelle inverse (*reciprocal scale*), ainsi nommée parce qu'on prenait pour mesurer la turbidité d'une eau l'inverse de la profondeur exprimée en pouces à laquelle le fil de platine cessait d'être perceptible. Cette échelle n'a plus qu'une valeur rétrospective : ses chiffres n'étaient pas proportionnels à la quantité de matières produisant le trouble.

DEGRÉS de turbidité.	PROFONDEURS du fil de platine.						
	Millim.		Millim.		Millim.		Millim.
7	1095	22	391	80	122	200	57,4
8	971	24	361	85	116	250	49,1
9	873	26	336	90	110	300	43,2
10	794	28	314	95	105	350	38,8
11	729	30	296	100	100	400	35,4
12	674	35	257	110	93	500	30,9
13	627	40	228	120	86	600	27,7
14	587	45	205	130	81	800	23,4
15	551	50	187	140	76	1000	20,9
16	520	55	171	150	72	1500	17,1
17	493	60	158	160	68,7	2000	14,8
18	468	65	147	170	65,4	3000	12,1
19	446	70	138	180	62,4		
20	426	75	130	190	59,8		

« En mettant l'œil à l'anneau terminal, il est toujours à 1^m, 20 du fil de platine.

« Si la turbidité est de plus de 500, il faut diluer l'eau ; si elle est de moins de 7, la méthode ne peut plus servir, et on ne peut plus que comparer avec l'étalon à la silice diluée convenablement.

« Le nombre obtenu en divisant le poids des matières en suspension (en milligrammes par litre) par le chiffre indiquant la turbidité obtenue comme ci-dessus est le *coefficient de finesse*. S'il est > 1 , cela indique que les particules sont plus grosses que dans l'étalon ; s'il est < 1 , c'est le contraire¹.

« On peut expérimenter directement dans un fleuve en un endroit calme : s'il est trop agité, on puise de l'eau dans un seau ou autre vase assez large et assez profond, et on y plonge aussitôt (avant toute sédimentation) la baguette. Il faut toujours rester en plein air, car sous un toit on a des résultats trop forts. »

Comme contrôle de cette méthode à laquelle tout le monde peut se rallier, M. Weston a cité² les expériences faites à la Nouvelle-Orléans avec un diaphanomètre analogue à celui de Parme-

1. Ce coefficient varie de 1,5 à 0,5 dans les fleuves américains. On constate que les crues provenant du haut Mississippi donnent un trouble moins fort à poids égal de matières en suspension que les crues venant de ses affluents du Sud-Ouest, la Rivière-Rouge et l'Arkansas. C'est évidemment une conséquence de la nature du sol dans leurs bassins respectifs.

2. Voir *Journal of the New England waterworks Association*, mars 1903.

*

lee et Ellms. C'est un tube d'environ 1 mètre de long, 30 millimètres de diamètre, porté sur une boîte où est logé l'appareil d'éclairage (lumière Welsbach). Le tube est fermé en bas par un verre dont on a noirci quatre quadrants laissant entre eux une croix transparente. Cette croix fortement éclairée est lumineuse, et on cherche quelle hauteur d'eau il faut verser dans le tube pour qu'on cesse de la voir d'en haut. On établit les degrés de turbidité en prenant encore l'étalon de 100 milligrammes de silice par litre et donnant à la hauteur correspondante le n° 100, puis continuant à graduer avec les dilutions comme précédemment. Cet appareil qui est bon dans les laboratoires est un peu plus exact que le fil de platine, mais en général beaucoup moins commode ; toutefois, il a l'avantage de pouvoir être utilisé à toute heure et même la nuit.

Rien ne serait plus facile que de graduer de la même manière le diaphanomètre expérimental de M. Regnard cité plus haut. De

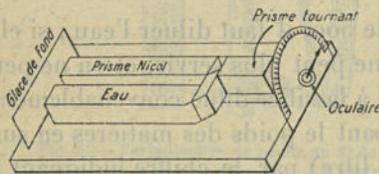


Fig. 7. — Diaphanomètre polariseur d'Anthony.

même pour le diaphanomètre d'Anthony (fig. 7) : celui-ci utilise les propriétés de la lumière polarisée, car on cherche de combien il faut tourner un Nicol mobile par rapport à un Nicol fixe pour obtenir le degré d'obscurcissement produit

sur la lumière venant de la glace de fond par une tranche de l'eau à examiner d'épaisseur déterminée ; la comparaison est facilitée par une sorte d'oculaire où le champ est divisé en deux moitiés, d'un côté la lumière ayant traversé l'eau, de l'autre celle venant des Nicols.

Salback a aussi imaginé un appareil photométrique au moyen duquel on étudie par comparaison l'intensité de la lumière transmise au travers de deux colonnes liquides, celle à examiner et un étalon de turbidité connue ; mais il faut deux lumières artificielles d'intensité rigoureusement égale, et l'appareil est très embarrassant.

Enfin, tout récemment (28 juillet 1903), MM. Van den Broeck et Rahir ont présenté à la Société belge de géologie un *tholomètre* (*tholos*, trouble) qui n'est aussi qu'un diaphanomètre, assez semblable à celui de Parmelee et de la Nouvelle-Orléans : seulement

au lieu de la croix lumineuse, l'objet dont on étudie la disparition et la visibilité est un trèfle métallique émaillé dont les trois feuilles lancéolées sont l'une blanche, l'autre grise et la troisième noire. Cette mire est portée par un manchon de verre évidé, muni à l'autre extrémité d'une sorte d'oculaire pour les visées, et pouvant se mouvoir grâce au fil qui le suspend, une poulie et un contrepoids dans le grand tube gradué. On étudie les distances auxquelles s'éteignent successivement la feuille grise du trèfle, puis la noire, puis la blanche. L'appareil peut servir de *fluorescope*, au lieu du dispositif Trillat-Marboutin : pour le trouble, nous ne voyons pas qu'il présente d'avantage sur la méthode si simple du fil de platine.

Inconvénients et danger des eaux troubles. — Une eau trouble présente dans une distribution urbaine de très graves inconvénients, qui obligent d'ordinaire à la clarifier préalablement. La silice et l'argile en suspension se déposent dans les réservoirs généraux et particuliers, encombrant de boues les chaudières, usent les tuyaux, les pièces des robinets et des compteurs, etc., enfin rendent l'eau répugnante pour les consommateurs. En ce qui regarde la santé de ceux-ci, ce n'est pas que les particules siliceuses ou argileuses soient dangereuses par elles-mêmes, mais il est fort à craindre que ces particules visibles ne soient accompagnées de germes invisibles beaucoup plus nocifs : s'il s'agit d'eaux souterraines, le trouble prouve que la filtration naturelle n'est pas parfaite ou qu'il se mêle aux eaux claires des eaux peu profondes mal filtrées. Bref, là où passent les particules terreuses, les microbes peuvent passer aussi, et on peut poser presque en principe que toute eau qui se trouble a besoin d'être filtrée ou stérilisée avant d'être distribuée pour la boisson.

Correction de la saveur et de l'odeur. — Nous ne dirons que quelques mots sur ces corrections, qu'on doit ne pas avoir à faire. Si la saveur de l'eau est due à des composés chimiques, on retombe du reste sur la correction chimique, et en particulier s'il s'agit de la saveur métallique due aux composés du fer, on en vient à l'opération de la *déferri-sation*.

Quant à l'odeur, nous avons déjà vu, si elle provient d'organismes vivants ou morts qui ont pullulé à un moment donné sur un filtre ou dans un lac, qu'on n'a de chance de s'en débarrasser qu'en arrêtant cette pullulation, en nettoyant le filtre ou le résér-

voir atteint, etc. La filtration soigneuse, au besoin la double filtration, paraissent le meilleur remède. M. A. Gérardin a démontré que la terre traversée par l'air odorant en arrête l'odeur, et il n'est pas étonnant dès lors qu'elle arrête aussi les odeurs de l'eau mise en contact intime avec elle.

Correction de la couleur. — 1° *Procédés naturels de décoloration.* — Ici encore, il vaut mieux prévenir que d'avoir à guérir. Comme la couleur provient surtout des matières organiques végétales restant en contact prolongé avec l'eau, il faudra faire dans le bassin collecteur des eaux de surface trop colorées divers travaux d'aménagement et d'appropriation capables d'éviter ce contact : nettoyage du lit des ruisseaux, régularisation de leur pente, revêtements et perrés, faucardement et enlèvement des herbes, drainage des parties marécageuses, ouverture de fossés d'écoulement, vidange fréquente des réservoirs, etc. Les travaux de ce genre, qui sont des travaux de détail, ne sont pas toujours très coûteux : ainsi Fitz-Gerald avait estimé que, moyennant 12 000 dollars, on réduirait la couleur du réservoir d'Ashland (Boston) de 56 à 45, et que, si on voulait dépenser 250 000 dollars pour creuser des fossés et canaux, on réduirait de 106 à 60 toutes les eaux du district du Cedar Swamp, d'une surface de 52 kilomètres carrés. En effet, le service des eaux de Boston a, dans ces dernières années¹, assaini dans une bonne partie du bassin de Sudbury River (y compris celui de Wachusett Reservoir) des marais

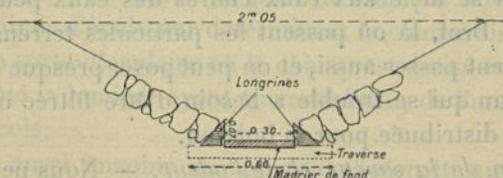


Fig. 8. — Assainissement des marais du bassin du Sudbury River pour décolorer les eaux alimentant Boston : type de fossé avec fond en bois.

occupant une surface de 433 hectares, et cela en établissant une longueur de 44 kilomètres de fossés analogues à ceux de la figure 8 : ces fossés, dont le fond est en bois et les talus en partie perreyés, sont des plus faciles à tenir propres, et ils n'ont coûté en moyenne

1. D'après M. STEARNS, in *Transactions of American Society of Civil Engineers*.
26 juin 1901.

que 69 cents par pied. Le prix de revient a été de 93 dollars par acre de marais assaini, tout compris, et moyennant ce sacrifice on a obtenu des résultats analogues à ceux figurés ci-après (fig. 9) pour l'un des principaux marais, le Crane Swamp (de 460

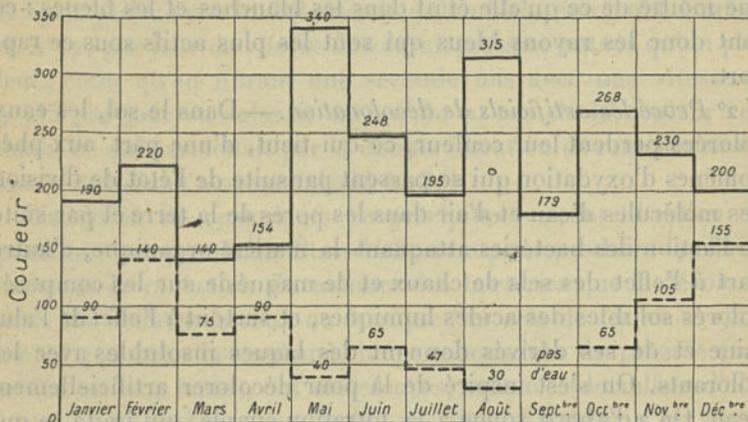


Fig. 9. — Effet de l'assainissement d'un marais sur la couleur de l'eau.

Le trait plein représente la couleur du Crane Swamp en 1895, à l'état naturel.

Le trait pointillé représente la couleur en 1900, après assainissement.

acres de surface) : la moyenne de la couleur pour l'année entière est passée de 227 à 82 ; pour un autre marais du même groupe, elle est passée de 144 à 47.

Nous connaissons aussi un autre procédé naturel de décoloration : c'est l'action de la lumière, surtout de la lumière solaire, qui *mange* la couleur de la tranche d'eau superficielle. On le met également à profit à Boston, où l'on a construit de grands réservoirs (notamment celui de Wachusett), où l'eau séjourne longtemps : on admet qu'elle y perd encore un tiers de sa couleur à l'entrée. Fitz-Gerald a démontré, par une série d'expériences faites en 1894¹ sur des échantillons en bouteilles, que l'eau conservée indéfiniment dans l'obscurité ne perd rien de sa couleur, tandis que l'ammoniaque albuminoïde ou libre diminue et que les nitrites et nitrates augmentent ; au soleil, au contraire, la couleur disparaît totalement en 500 heures d'exposition, tandis que l'ammoniaque augmente et les nitrates diminuent². Dans un grand ré-

1. *Nineteenth annual report of the Boston Water Board.*

2. L'oxygène des nitrates se reporte sur les matières organiques végétales pour les oxyder.

servoir (ouvert, bien entendu), il faut près de deux ans pour une décoloration complète : pendant l'hiver, sous la glace, l'action est très faible. Enfin, au moyen de bouteilles colorées, on constata que la décoloration n'était, dans les bouteilles rouges et jaunes, que moitié de ce qu'elle était dans les blanches et les bleues : ce sont donc les rayons bleus qui sont les plus actifs sous ce rapport.

2° *Procédés artificiels de décoloration.* — Dans le sol, les eaux colorées perdent leur couleur, ce qui tient, d'une part aux phénomènes d'oxydation qui se passent par suite de l'état de division des molécules d'eau et d'air dans les pores de la terre et par suite de l'action des bactéries attaquant la matière organique, d'autre part à l'effet des sels de chaux et de magnésie sur les composés colorés solubles des acides humiques, et surtout à l'effet de l'alumine et de ses dérivés donnant des laques insolubles avec les colorants. On s'est inspiré de là pour décolorer artificiellement l'eau. On a d'abord songé à la filtration simple, qui imite ce que fait la nature dans les premières couches du sol, puis à l'addition de précipitants chimiques avec filtration subséquente, enfin à l'action des oxydants seuls.

Dans un filtre à sable, la silice n'agit pas par elle-même sur la couleur ; mais, si bien purgé soit-il, le sable contient toujours un peu d'argile qui, elle, retient la matière colorante ; puis la principale action est sans doute celle d'oxydation indiquée ci-dessus et produite en grande partie par les bactéries détruisant la matière organique. Des expériences faites dans ces dernières années par le *State Board of Health* du Massachusetts¹, tant à Lawrence (où on ajoutait artificiellement à l'eau de la couleur provenant de matières végétales en décomposition) qu'à Springfield (où on opérait sur les eaux naturellement colorées du réservoir de Ludlow), il résulte qu'un simple filtrage au sable avec une vitesse comprise entre 1 mètre et 2^m,50 par jour, enlevait 60 à 80 p. 100 de la couleur des eaux artificiellement très chargées, tandis que sur les eaux naturelles, dont la couleur variait de 40 à 86, il enlevait de 17 à 63 p. 100. On en conclut aussi que la décoloration se fait mieux quand la couleur provient de matières végétales anciennes plutôt

¹ I. CLARK, « Removal of color, organisms and odor from water », in *Journal of New England waterworks Association*, mars 1903.

que de feuilles fraîches, quand la décomposition est plus active, et par suite quand la température élevée la favorise et favorise aussi l'action bactérienne : c'est ainsi qu'en été, bien que la couleur soit naturellement plus intense, l'eau filtrée sort moins chargée. A Springfield, on a trouvé encore qu'un filtre marchant à raison de 4^m,70 par jour de vitesse décolorait presque autant qu'un plus lent; enfin qu'en filtrant une seconde fois avec une vitesse de 9^m,35 par jour on enlevait encore 30 p. 100 de la couleur restante, ce qui permettait par la double filtration de ramener en été la couleur d'une moyenne de 64 à 13.

L'addition de coagulants ou précipitants avant filtration est pratiquée en grand aux États-Unis, tant pour produire la clarification et la réduction du nombre des bactéries que la décoloration. Les sulfates ferreux ou ferrique (les sels de fer ne se combinent pas avec la couleur), le permanganate de potasse (son action est trop lente), ont été essayés, mais c'est le sulfate d'alumine qui est de beaucoup le plus pratique. En théorie, on admet que ce sel, rencontrant dans l'eau des carbonates alcalins et alcalino-terreux (c'est la quantité totale de ces carbonates que l'on désigne parfois sous le nom d'*alcalinité*), se décompose en donnant des sulfates d'une part, et d'autre part de l'hydrate d'alumine qui se précipite à l'état floconneux, en entraînant ses combinaisons avec les matières colorantes, les bactéries et généralement la plupart des corps en suspension : si les carbonates alcalins sont en quantité insuffisante pour décomposer tout le sulfate d'alumine ajouté, on aurait intérêt à augmenter artificiellement la *dureté* de l'eau. Cependant, Whipple a démontré qu'en ce qui concerne la couleur seule, cette théorie n'est pas exacte, et qu'en fait les eaux plus dures exigent pour se décolorer des quantités plus grandes de coagulant : les quantités employées dans ses expériences pour divers degrés de couleur sont représentées par la figure 10.

En pratique, il faut deux grains par gallon, soit 34^{gr},2 par mètre cube, pour décolorer une eau qui a la couleur 100, et proportionnellement plus ou moins pour des eaux plus ou moins colorées¹; il y a une grande importance à assurer un mélange

1. On admet donc qu'il faut 1/10 de grain par gallon, soit 1^{gr},71 par mètre cube, pour 5 degrés de couleur.

immédiat avec toute la masse d'eau. Il semble qu'il se produit une double action : une partie du sulfate d'alumine réagit direc-

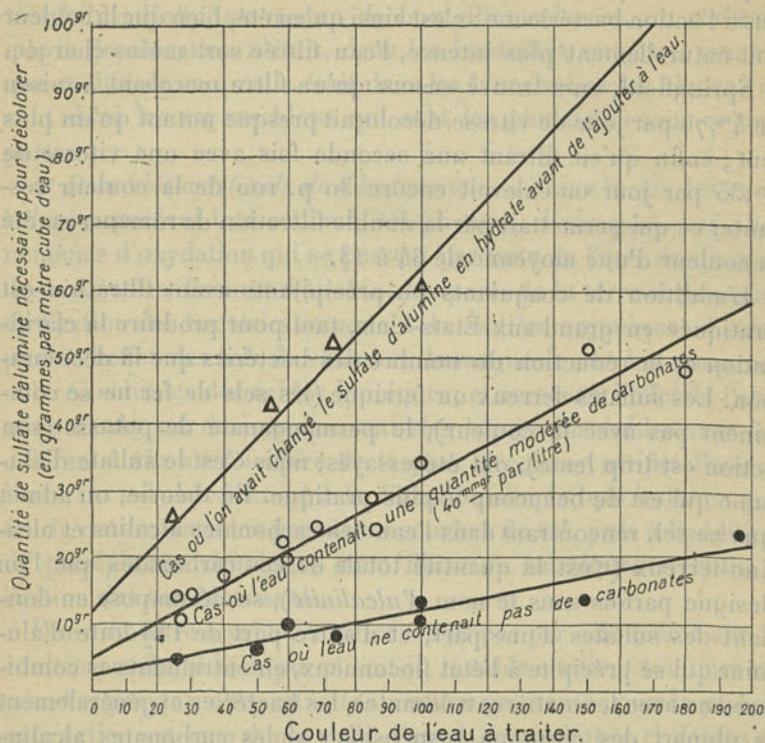


Fig. 10. — Diagramme montrant les poids de sulfate d'alumine nécessaires pour décolorer l'eau plus ou moins colorée, suivant que celle-ci contient ou non des carbonates alcalino-terreux.

tement sur les matières colorantes, tandis que l'autre partie donne avec les carbonates la décomposition ci-dessus, laquelle aboutit bien à la formation d'hydrate d'alumine, mais cet hydrate est moins actif pour enlever la couleur que le sulfate lui-même. En d'autres termes, une partie du réactif est employée à détruire la couleur, et il en faudra dès lors une plus forte proportion pour clarifier une eau colorée que pour une eau de même turbidité non colorée. Quand la couleur dépasse 50, c'est même elle et non plus la turbidité qui devient la plus importante à considérer. Il faut du reste toujours rechercher la dose suffisante tant pour décolorer que pour clarifier simultanément, une dose insuffisante ne produisant que peu ou pas d'effet. La température joue encore un rôle important (la filtration se fait plus vite avec une eau plus

chaude) : ainsi à 21° il faut un sixième de coagulant en moins qu'à 7° et l'opération se fait en six heures au lieu de dix-huit. Enfin, on n'arrive jamais à enlever toute la couleur, mais on la ramène généralement aux environs de 10 ; toutefois, une eau très colorée (300), traitée avec 110 grammes par mètre cube, laisse une couleur résiduaire de 50.

Signalons encore les expériences de décoloration par le sulfate d'alumine faites par MM. Fuller et Weston sur l'eau de puits profonds (environ 200 mètres), examinés en vue de l'alimentation de la Nouvelle-Orléans. Ces eaux avaient une couleur élevée, comprise entre 150 et 350, et elles contenaient de 365 à 441 milligrammes par litre de carbonates de K et de Na (pas de Ca, ni de Mg). Pour une moyenne de cinq échantillons, correspondant à la couleur 208 et à la teneur de 408 milligrammes de carbonates alcalins, il a fallu 102^{gr},6 de sulfate d'alumine par mètre cube pour opérer un commencement de décoloration et 171 grammes pour la décoloration complète : si on neutralisait préalablement l'eau, il ne fallait plus que 34^{gr},2 pour la décolorer ensuite. De pareilles eaux diffèrent naturellement beaucoup des eaux de surface et, n'étant pas colorées par les mêmes substances, sont bien plus difficiles à décolorer.

On sait depuis longtemps que le charbon de bois et surtout le noir animal décolorent les liquides mis en contact intime avec eux. On pensait qu'il se produisait dans ce contact une oxydation, mais on croit aujourd'hui que les phosphates de chaux jouent un rôle important. L'emploi du noir animal n'est pas à recommander, parce qu'il donne un aliment trop facile aux bactéries qui pullulent bien vite dans ses pores.

Enfin, les oxydants énergiques réussissent bien pour décolorer l'eau, et parmi eux il faut surtout retenir les composés oxygénés du chlore et l'ozone. Nous décrirons plus tard en détail leur emploi pour la stérilisation de l'eau : nous nous rappellerons alors qu'ils opèrent du même coup la décoloration ; mais, bien entendu, il faut d'autant plus de peroxyde de chlore ou d'ozone qu'il y a plus de matières organiques colorantes à oxyder.

Correction de la turbidité : clarification. — Nous ne pouvons entrer ici dans l'étude détaillée des procédés de clarification, qui nous entraînerait beaucoup trop loin. Il nous suffira de dire qu'ils se ramènent principalement à deux : la *sédimentation* ou décan-

tation et la *filtration*, chacune de ces opérations pouvant être effectuée, soit directement, soit seulement après traitement chimique, notamment par les coagulants. La précipitation des matières en suspension par les coagulants vient déjà d'être esquissée ci-dessus, et nous savons qu'on y recourt fréquemment aux États-Unis avant de faire passer l'eau dans les *filtres rapides*, dits encore *filtres américains* (par opposition aux *filtres lents* ou *filtres à sable européens*). Comme en même temps que la clarification on obtient par le filtrage une diminution très notable du nombre des bactéries — ce qui, au point de vue hygiénique, est le plus important, — on rattache d'ordinaire cette opération à l'épuration biologique et bactériologique des eaux.