

La couleur des eaux.

(Bulletin de l'Académie royale des Sciences de Belgique, 3^e sér., t. V, pp. 55-84, 1883.)

Vue sous une épaisseur relativement faible, l'eau limpide paraît absolument incolore. Les manipulations auxquelles on soumet journellement ce liquide, tant pour les usages industriels que pour les besoins domestiques, n'ont presque jamais fourni l'occasion d'observer des couches épaisses d'eau; aussi la croyance à l'absence complète de toute couleur de l'eau a-t-elle été générale de tout temps. Les anciens s'expliquaient même la transparence de certains corps en admettant qu'ils participaient de la nature de l'eau. Ne disons-nous pas encore aujourd'hui d'un diamant qu'il *a une belle eau* pour marquer sa parfaite transparence et tout à la fois son absence de couleur propre?

Mais si, au lieu de considérer l'infime volume d'eau que nous pouvons manipuler, nous observons les masses imposantes de la nature, les mers, les lacs et même les fleuves, nous arrivons à un résultat tout autre.

Non seulement l'eau nous paraît alors colorée, mais sa couleur est variée et les nuances qu'elle présente sont de la plus riche diversité. La Méditerranée est du plus bel indigo, l'Océan est bleu céleste, le lac de Genève est célèbre par la beauté et la transparence de ses eaux d'azur; le lac de Constance et le Rhin qui s'en écoule, le lac de Zurich et le lac de Lucerne ont des eaux tout aussi transparentes, mais plus vertes que bleues, et le petit Kloenthaler See, près de Glaris, se distingue à peine des prairies qui l'entourent, tant ses eaux ont la couleur de l'herbe qui le borde. Enfin, il est des eaux

plus foncées; je citerai seulement le lac de Staffel, près de Murnau, au pied des Alpes bavaroises, qui, le jour où je l'ai vu, était complètement noir, bien que ses eaux parussent cependant limpides sous faible épaisseur.

Ce spectacle si différent et si varié fait naître une double question. Notre croyance à l'absence de coloration de l'eau pure est-elle fondée? Ne serait-elle pas simplement le résultat erroné, comme tant d'autres d'ailleurs, d'un jugement porté à la suite d'une enquête incomplète? Et si vraiment l'eau est colorée, quelle est sa couleur propre? Est-ce le bleu, le vert, ou le jaune? En un mot, d'où vient la diversité de teinte des eaux naturelles?

La solution de ces questions a exercé depuis longtemps la sagacité d'un grand nombre de savants sans qu'on puisse dire cependant que le problème soit complètement résolu. Il suffit de passer en revue les divers travaux exécutés sur cette matière, dans ces derniers temps seulement, pour s'assurer qu'on n'est pas encore unanime sur le point de savoir si l'eau est incolore ou non et même que l'on possède des données bien vagues sur le motif de la variété de couleur des eaux naturelles.

Dans ses études sur les glaciers du nord et du centre de l'Europe, M. Durocher (*) a émis l'opinion assez étrange que la couleur bleue des eaux aurait une origine glaciérique.

D'après lui, ce caractère serait tellement propre aux eaux qui s'écoulent des champs de neige et des glaciers « qu'il peut servir à reconnaître d'où l'eau vient ». Si la couleur de l'eau pure est vraiment le bleu, le remplacement de cette couleur par des teintes grises ou verdâtres tiendrait, dans beaucoup de cas, à des substances organiques, principalement végétales plutôt qu'à des matières animales.

Cette opinion, sur laquelle M. Durocher s'explique du reste trop sommairement, a été combattue par M. Martins (**). Pour ce dernier, les teintes des eaux seraient indépendantes de leur origine glaciérique. Il cite, comme preuve à l'appui de sa manière de voir, le lac de Lioson, dans le canton de Vaud, alimenté par les neiges de la Tête de Moine, qui est du plus beau bleu d'azur, alors que le Bachalp

(*) *Comptes rendus*, t. XXIV, p. 444, 1847.

(**) *Id.*, t. XXIV, p. 545.

See, situé à 2,275 mètres d'altitude et alimenté par les eaux des neiges du Faulhorn, est d'un vert jaunâtre. De plus, tandis que le lac de Brienz est d'un vert jaunâtre, le lac de Thun, qui en reçoit cependant ses eaux à travers l'isthme à Interlaken, est d'une couleur bleue qui égale quelquefois celle du lac de Genève. MM. Durocher et Martins n'ont exprimé que des opinions; des faits nouveaux, pouvant contribuer à la solution de la question qui nous occupe, font totalement défaut dans leurs écrits. Aussi ne m'arrêterai-je pas davantage devant cette discussion.

Bunsen (*) est le premier, je pense, qui ait nié, en connaissance de cause, l'absence de couleur de l'eau. Frappé de la teinte bleu verdâtre de l'eau chaude des geysers d'Islande, il remplit d'eau pure un tube en verre de 2 mètres de long et noirci intérieurement; il put voir celle-ci d'un bleu tendre sous cette épaisseur. D'après lui, le bleu serait la couleur propre de l'eau; les teintes autres que le bleu proviendraient de matières étrangères ou de la réflexion de la lumière sur un fond coloré plus ou moins foncé.

Bunsen ne s'explique pas davantage sur la manière d'agir de ces matières étrangères pour changer la couleur bleue de l'eau. Il ne dit rien non plus de leur nature. Nous verrons cependant que ceci a son importance.

Environ vingt années après le travail de Bunsen, Tyndall, Soret et Hagenbach ont repris cette question. Le premier de ces physiciens avait montré par ses célèbres et brillantes expériences sur la couleur du ciel et la polarisation de l'atmosphère (**) que le bleu du firmament n'appartenait pas essentiellement aux gaz composant l'atmosphère, ou tout au moins à l'un d'eux, comme on l'a cru parfois, mais qu'il avait une origine tout autre. Le bleu du ciel, loin d'être dû à un phénomène d'absorption, est le résultat de la réflexion de la lumière solaire sur des particules parfaitement incolores. La petitesse des dimensions est seule nécessaire à la production de la couleur bleue. Tyndall s'est assuré, en effet, par l'expérience, que de toutes les ondes composant la lumière du soleil, les plus petites, c'est-à-dire celles qui correspondent au bleu, sont aussi celles que réfléchissent le mieux les particules les plus petites. Une confir-

(*) *Jahresberichte über die Fortschritte der Chemie, etc.*, t. I, p. 1236, 1847-1848.

(**) *Archives des sciences physiques et naturelles*, t. XXXIV, p. 168. Genève, 1869.

mation réelle de cette interprétation a été trouvée dans la polarisation de l'atmosphère ; car tout rayon de lumière ordinaire, réfléchi par un corps transparent sous une certaine incidence, est polarisé. Le maximum de la polarisation de l'atmosphère se trouve dans une direction perpendiculaire à celle du soleil. Quant à la question de savoir quelle est la substance transparente formant ces myriades de miroirs minuscules dans l'atmosphère, Tyndall croit pouvoir répondre qu'elle n'est autre que la vapeur d'eau à un état extrême de division. Il la désigne par les mots *nuage naissant*. Si les dimensions des globules de vapeur sont plus grandes, les ondes plus longues de la lumière solaire seront réfléchies conjointement avec les ondes courtes, et le ciel prendra un aspect de plus en plus blanc.

Lorsque ces résultats intéressants furent connus, Soret (*) se demanda si la couleur bleue des eaux du lac de Genève n'aurait pas une origine analogue à celle du bleu du ciel. Il suffisait, pour s'en assurer, de vérifier si la lumière des eaux était polarisée. En regardant à l'intérieur du lac à l'aide d'un tube fermé par une glace et muni d'un Nicol oculaire, Soret constata, en effet, que l'eau émet de la lumière polarisée dans la direction perpendiculaire aux rayons solaires réfractés. L'analogie des observations de Tyndall et de Soret est telle que l'on peut admettre, dans l'eau, la présence de particules transparentes, très tenues, auxquelles l'origine de la couleur bleue pourrait être attribuée.

Hagenbach (**) a, de son côté, répété ces expériences sur le lac de Lucerne ; elles se sont pleinement confirmées. L'année suivante, Tyndall lui-même (***) a examiné de l'eau de la Méditerranée et de l'eau du lac de Genève qui lui avaient été envoyées à Londres. Un faisceau lumineux qui les traversait était bleu, et cette lumière était polarisée ; ces eaux ne sont, par conséquent, pas optiquement vides.

Enfin, je mentionnerai encore que A. Hayes (iv) s'est donné la peine de vérifier si les eaux du lac de Genève renfermaient une substance colorante bleue. Il a essayé de la fixer à l'aide d'acétate de

(*) Sur la polarisation de la lumière bleue de l'eau. (*Ann. de chim. et de phys.* [4], t. XVII, p. 517, 1869.)

(**) *Ann. de chim. et de phys.* [4], t. XX, 225, 1870.

(***) *Naturforscher*, t. IV, p. 4, 1871.

(iv) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie, etc.*, p. 4378, 1870

plomb basique et de savon. Ses résultats ont été négatifs. M. Hayes pense donc que c'est surtout à la réflexion et à la réfraction que serait due la couleur de ces eaux.

Ces dernières expériences paraissent établir d'une manière certaine que l'eau serait, par elle-même, incolore, contrairement à l'opinion de Bunsen ; cependant, je le dirai dès maintenant, rien n'est moins établi. M. Soret (*) nous le dit lui-même : « Par un temps couvert, je n'ai pas obtenu de trace de polarisation, et cependant alors le lac est encore bleu. » Ceci ne suffit-il pas à prouver que la réflexion n'est pas la seule cause de la couleur des eaux ? Il y a plus. Si le bleu de l'eau avait complètement la même origine que le bleu du ciel, la lumière transmise par l'eau devrait être d'un rouge cramoisi au moins aussi intense que celui qui enflamme les sommets des hautes montagnes ou les nuages épars que les rayons du soleil levant ou du soleil couchant rencontrent sur leur route. Il n'en est rien cependant ; M. Tyndall (**) le dit lui-même. Enfin, le Père Secchi (***) nous a fait connaître le spectre d'absorption de l'eau de mer ; le rouge et le jaune y sont effectivement défaut. Il est du reste bien connu des personnes qui ont eu l'occasion de faire une descente en mer dans un scaphandre ou qui ont visité les grottes taillées, en Suisse, dans la glace du glacier du Rhône ou de Grindelwald, que la lumière a un ton bleu ; le rouge y est si faible que les figures prennent un aspect livide.

Ces faits montrent, je crois, que cette question manque de solution définitive ; il me sera permis maintenant de toucher rapidement encore la seconde partie de cette revue ; elle se rapporte aux explications données de la diversité des couleurs des eaux naturelles.

D'après Arago (iv), l'eau posséderait deux sortes de couleurs : « une certaine couleur transmise et une couleur réfléchie totalement différente de la première ». L'eau paraîtrait bleue par réflexion et sa couleur transmise serait verte. Il est inutile de dire que cette supposition est fautive ; Arago s'en sert cependant pour expliquer les variations de couleur de l'eau dans une mer peu profonde à fond de

(*) *Loc. cit.*

(**) *Naturforscher*, t. IV, p. 4, 1871.

(***) *Id.*, t. I, p. 449, 1868.

(iv) *Comptes rendus*, t. VII, p. 219.

sable blanc. Là où la mer est assez profonde, la lumière se réfléchit sur l'eau et paraît bleue, mais si la mer n'a pas assez de profondeur, le sable du fond, éclairé, ne reçoit la lumière qu'à travers une couche d'eau; elle lui arrive donc déjà verte; en revenant du sable à l'air, la teinte verte se fonce quelquefois assez fortement pour prédominer, à la sortie, sur le bleu. « Voilà peut-être, dit Arago, tout le secret de ces nuances qui, pour le navigateur expérimenté, sont, dans un temps calme, l'indice certain et précieux des hauts-fonds. » Nous ne devons pas nous étonner de voir cette explication en défaut dès que l'on abandonne les parages pour lesquels Arago l'avait conçue; les lacs de la Suisse sont verts ou bleus indépendamment de la profondeur. Ici Arago propose, comme explication, une opinion de H. Davy, qui admettait que si la teinte d'un lac passe du bleu au vert, c'est que ses eaux se sont imprégnées de matières végétales. M. Durocher, de son côté, fait une supposition plus simple encore (*): il dit que « la teinte bleue naturelle de l'eau pure peut être modifiée et passer au vert par le mélange de substances colorées ». Ce sont là de pures affirmations; elles manquent de fondement positif, et nous ne nous y arrêterons pas.

En 1848, H. Sainte-Claire-Deville (**) a analysé un assez grand nombre d'eaux naturelles et il a observé que les eaux bleues des lacs de la Suisse et du Jura donnaient des résidus colorés d'une manière insensible, tandis que les eaux vertes, celles du Doubs et du Rhin, donnaient une quantité de matière organique assez forte, de manière que les sels solubles devenaient jaunes après l'évaporation. D'après cela, les eaux vertes et *a fortiori* les eaux jaunes ou brunes devraient, d'après lui, leur coloration à la présence d'une petite quantité de limon jaune. Si, en effet, l'eau pure est bleue, il suffira d'une faible quantité de matière jaune pour faire virer cette couleur au vert et même au jaune. On retrouve la même idée dans un travail publié assez longtemps après par M. Wittstein (***) sur la couleur des eaux. Ce chimiste avait analysé les eaux de plusieurs rivières, ruisseaux ou lacs de la Bavière et eut constaté qu'effectivement les eaux brunes ou jaunes renfermaient plus de matières organiques que les eaux vertes; de plus, elles étaient

(*) *Comptes rendus*, t. XXIV, p. 953.

(**) *Ann. de chim. et de phys.* [3], t. XXIII, p. 32, 1848.

(***) *Vierteljahresschrift für praktische Pharmacie*, t. X, p. 342, 1861.

moins dures que ces dernières. Il s'explique alors la variété des nuances des eaux naturelles en admettant en premier lieu, avec Bunsen, que l'eau pure a une couleur bleue, ensuite que *les substances minérales contenues dans l'eau* sont sans influence sur sa couleur et enfin que les diverses couleurs des eaux proviendraient plutôt des matières organiques dissoutes.

Ces matières organiques, naturellement colorées en brun et de nature des acides humiques, seraient tenues en dissolution grâce à la présence dans l'eau d'une quantité suffisante de matières alcalines. D'après cela, une eau renfermant peu de matière organique aurait une couleur s'écartant faiblement du bleu; si la matière organique est plus abondante, la couleur bleue passerait successivement au vert, puis au jaune, au brun et enfin au noir.

Il importe d'examiner la valeur de cette explication. A première vue, elle paraît irréprochable puisqu'elle semble s'appuyer sur des faits positifs, mais il est aisé de se convaincre qu'elle ne découle pas nécessairement des résultats des analyses; elle est, en conséquence, sans fondement certain et ne résout pas le problème proposé.

Je ne m'arrêterai pas à la question de savoir si la matière organique est déjà brune lorsqu'elle se trouve en solution dans l'eau, ou si elle ne devient pas telle et même noire par l'évaporation. D'après l'allure de l'évaporation décrite par Wittstein lui-même, il paraîtrait plutôt que la couleur foncée serait due à l'action de la chaleur (*). Mais cette discussion serait oiseuse. Bornons-nous à reprendre les résultats des analyses.

1° *Eaux brunes* (sur 1,000 grammes).

	Ily.	Regen.	Rachel- see.	Ohe.	Stecken- bach.	Höhen- brunntilz.
Matières organiques (**).	8 0378	0,0214	0,0133	0,1114	0,0550	0,0507
KOH + NaOH .	0,0101	0,0154	0,0184	0,0128	0,0095	0,0078
Rapport des matières or- ganiques aux alcalis	3,74	1,39	2,35	9,00	3,68	6,50

(*) Voir *loc. cit.*, pp 350 et 352. Les progrès de l'évaporation déterminent la formation de flocons bruns insolubles qui vont se fonçant. Si la chaleur modifie la solubilité de la matière organique elle peut aussi en changer la couleur.

(**) Wittstein donne la somme des matières organiques et de CO² dans ses tableaux; j'ai soustrait la quantité de CO² en la calculant au moyen du poids de chaux mentionné dans les analyses; les nombres représentant les matières organiques sont donc encore certainement trop forts.

2° *Eaux vert bleuâtre.*

	Isaar.	Source de Brunnthalen.
Matières organiques	0 0396	0 0656
Alcalis	0,0098	0,0047
Rapport	4,04	13,96

Ces nombres montrent, à l'évidence, que la couleur des eaux n'est en rapport direct ni avec la quantité de matières organiques, ni avec la quantité d'alcali. L'Isaar, verte, renferme plus de matières organiques que quatre des eaux brunes et à la fois plus d'alcalis que deux d'entre elles. Les eaux de la source de Brunnthalen conduisent à un résultat analogue. D'ailleurs on remarquera aussi que Wittstein n'a pas fait d'analyse d'une eau véritablement bleue : un point de comparaison réel fait donc défaut. Il y a plus encore. L'auteur, après avoir donné comme règle générale (p. 546) que les eaux bleu verdâtre sont dures, par suite de la petite quantité d'alcali qu'elles renferment, tandis que les eaux jaunes ou brunes sont douces, reconnaît que cette règle se vérifie seulement pour les eaux courantes, car les eaux du lac de Starnberg sont d'une douceur extraordinaire, quoique vertes. J'ajouterai que les eaux bleues du Rhône, à sa sortie du lac de Genève, sont également douces; le grand nombre de buanderies établies dans le courant du fleuve en sont un témoignage. La couleur des eaux n'a évidemment pas une origine différente selon qu'elles sont courantes ou au repos; il me paraît donc que l'explication de Wittstein est insuffisante. Ce n'est pas à dire cependant qu'elle ne puisse s'appliquer à certaines eaux très foncées, car si celles-ci tiennent vraiment une matière foncée en solution, ou même en suspension, leur couleur devra être foncée également.

M. Schleinitz (*), de son côté, attribue la variation de la couleur des eaux de la mer à la plus ou moins grande quantité de sels dissous. Il vit des changements subits dans la couleur de la mer, dans la traversée qu'il fit, à bord de la *Gazelle* pendant son voyage d'exploration en 1875, d'Ascension vers le Congo. Le 24 août par 5° L. S. et 9° L. W. l'eau devint verdâtre, de bleue qu'elle était; le

(*) *Naturforscher*, t. VIII, p. 59.

25 elle était bleuâtre; le 26, par 5°,5 L. S. et 5°,5 L. W. de nouveau vert foncé, puis vert sale et enfin brune en approchant du Congo.

Plus tard, en allant du Congo vers le Cap, l'eau devint verte, puis vert bleuâtre et, enfin, bleu clair. Or, chaque fois que l'eau devenait verdâtre, on put constater une diminution de son poids spécifique et, inversement, une augmentation quand elle redevenait bleue. Schleinitz conclut de là que l'eau plus salée est plus bleue et que la raison de la couleur se trouve dans la présence du sel. Cette observation, qui a conduit à une conclusion erronée, renferme cependant au fond la confirmation des résultats que je ferai connaître; j'aurai l'occasion d'y revenir plus tard.

Enfin, je signalerai encore que M. J. Brun (*) a trouvé, dans les eaux du lac de Neuchâtel ainsi que dans sa glace, une algue qui est verte, orangée, rouge ou brune selon les différentes phases de son développement, et noire après sa mort. Sa présence ne serait pas sans influence sur la couleur des eaux du lac.

Cette revue rapide montre assez, je pense, que le problème de la couleur des eaux comporte encore quelques recherches. Il me sera permis de faire connaître celles que j'ai exécutées actuellement; il se peut qu'elles soient de quelque utilité.

Je me suis proposé de déterminer la couleur de l'eau pure ainsi que de connaître les variations de teintes produites par la présence de diverses matières.

J'ai monté, pour cet examen, deux tubes en verre de 5 mètres de long et de 4 centimètres environ de diamètre intérieur; ils étaient fermés par des plans de verre et munis, à chaque bout, d'un ajutage en verre destiné à l'introduction des liquides. Les tubes passaient par une gaine noire interceptant complètement l'éclairage latéral; ils étaient placés perpendiculairement à un carreau dépoli d'une des fenêtres du laboratoire et recevaient par conséquent de la lumière diffuse dans la direction de leur axe (**).

(*) *Jahresbericht über Chemie*, p. 4512, 1880.

(**) Cet arrangement rappelle celui que prend M. V. Meyer pour montrer à ses élèves la couleur de l'eau. Le chimiste suisse vit l'eau distillée vert bleu; la véritable couleur de l'eau est cependant le bleu pur. On trouvera, par la suite, à quoi il faut attribuer le ton vert de l'eau distillée ordinaire.

L'emploi simultané de deux tubes s'imposait par les examens comparatifs que l'on voulait entreprendre sur des liquides divers.

J'ai rempli d'abord les tubes d'eau distillée, préparée pour les usages courants du laboratoire. La première fois, cette eau était d'un vert clair reproduisant assez bien la teinte d'une solution étendue de sulfate ferreux. Quelques jours après, les tubes furent remplis d'eau fraîchement distillée, comme la première, dans l'alambic du laboratoire. On put observer cette fois-ci une teinte bleu céleste assez pure, mais après soixante-dix heures de séjour environ dans les tubes, cette eau était devenue aussi verte que la première, sans perdre rien cependant de sa limpidité. Cette expérience préliminaire montre bien que l'eau distillée des laboratoires est loin d'être pure, elle renferme des substances qui subissent des changements avec le temps puisqu'une eau bleue devient verte petit à petit. Ces matières étrangères peuvent être de nature minérale ou de nature organique; il ne serait pas impossible même qu'elles fussent de nature organisée et vivante; voici une observation qui tendrait à le prouver :

L'un des tubes a été rempli d'eau distillée ordinaire, la lumière transmise était bleue et l'autre tube a été rempli de la même eau additionnée d'un dix millième de bichlorure de mercure. L'addition de cette faible quantité d'un sel n'a changé en rien la couleur de l'eau; il n'y avait aucune différence à saisir dans le bleu des deux tubes. Or, après six jours, l'eau du premier tube était devenue verte, tout en restant limpide, tandis que l'eau additionnée de bichlorure de mercure conserva sa teinte bleue d'une manière immuable; même après trois semaines de séjour dans le tube, on ne put saisir la trace d'aucun changement. Une contre-épreuve fut instituée ensuite. L'eau verdie du premier tube fut additionnée de bichlorure de mercure et l'on put constater, au bout de trois jours déjà, un retour lent du vert au bleu; au bout de neuf jours environ, le virement parut arrêté, l'eau était d'un vert bleuâtre évident, mais elle ne retourna jamais au bleu pur.

Si l'on se rappelle que le bichlorure de mercure est une des substances les plus meurtrières connues, surtout pour les petits organismes, on sera certainement porté à croire que la vie se rencontre jusque dans l'eau distillée des laboratoires et, conséquence nécessaire aussi, que cette eau renferme d'ailleurs les aliments nécessaires au développement de ses habitants.

Quelle peut être l'origine de ces matières organisées? On admettra avec peine que les germes vivants aient résisté à l'acte de la distillation de l'eau sans trouver la mort. Ils n'ont pas passé de la cucurbitate dans le serpentin, mais il y a tout lieu de supposer qu'ils auront été engloutis par l'eau au moment où celle-ci coulait à travers l'air dans le récipient destiné à le recevoir. Il me sera permis de rappeler ici les démonstrations brillantes que Tyndall a données de la présence dans l'air et dans l'eau de corpuscules microscopiques échappant à l'œil le plus perçant. Cet illustre physicien observa qu'en lançant à travers un milieu transparent un puissant rayon lumineux, la trace de celui-ci devient visible sitôt que des particules étrangères peuplent le milieu, quelle que soit d'ailleurs leur petitesse. Entre ses mains, la lumière devint le plus puissant moyen pour découvrir et pour montrer aux yeux des observateurs les plus faibles traces de matières en suspension dans un gaz ou dans un liquide. Or Tyndall vit que même l'eau produite par la combustion de l'hydrogène dans l'oxygène et condensée par le fond d'un bassin en argent rempli de glace, est chargée de particules « si serrées et si petites qu'elles produisent un cône lumineux continu ». L'eau s'est chargée de cette matière en traversant l'air (*).

Écoutons un autre observateur qui ne le cède pas au physicien anglais par les qualités de son esprit : notre célèbre confrère Stas, dans ses travaux classiques sur les rapports réciproques des poids atomiques (**), a constaté que l'eau de pluie ou de source, distillée deux fois, fournit un liquide qui, évaporé immédiatement après dans un vase de platine, se volatilise sans laisser de résidu. Cette même eau distillée, conservée pendant quelques jours, évaporée ensuite, laisse un résidu jaune brunâtre très sensible. Ce résidu jaune se brûle complètement au rouge dans l'air.

L'eau distillée, dit encore M. Stas, contient donc des matières organiques volatiles qui, au bout d'un certain temps, deviennent spontanément fixes.

On voit comment cette conclusion s'adapte aux observations que

(*) *Fragments scientifiques*, par J. Tyndall, traduits par HENRY GRAVEZ, p. 84, Paris, 1877.

(**) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 2^e sér., t. X, 1860.

j'ai pu faire. Si longtemps que l'eau distillée renferme ces matières organiques dissoutes et à l'état volatil, comme le dit notre confrère, l'eau est bleue par transmission de la lumière, mais à mesure que ces matières s'organisent par la vie, qu'elles deviennent fixes, l'eau paraît de plus en plus verte. Un fait analogue a déjà été observé par M. Paul Glan (*) dans ses études sur l'absorption de la lumière. Il appelle l'attention sur les difficultés qu'apportent, dans ces études, la présence de matières étrangères presque impossibles à éliminer. Il eut l'occasion de remarquer que de l'eau distillée, ayant séjourné quelque temps dans un vase, laisse passer moins de lumière, tout comme si elle devenait trouble.

Ces expériences préliminaires établissent que l'eau distillée des laboratoires est absolument impropre aux recherches qui nous occupent, car elle n'est pas comparable à elle-même à des époques différentes.

M. Stas a fait connaître un procédé pour obtenir de l'eau distillée pure (**). Il consiste à distiller l'eau de source sur un mélange de manganate et de permanganate de potassium en ayant soin de condenser la vapeur dans un réfrigérant de platine. L'eau obtenue de cette manière ne renferme aucune trace de matière organique fixe ou susceptible de le devenir.

J'ai appliqué ce procédé en m'entourant des plus grandes précautions. L'eau ordinaire a d'abord été maintenue en ébullition sur du permanganate de potassium alcalin, pendant quatre heures, dans un vase en verre, puis elle a été distillée *deux fois* dans un appareil complètement en platine et reçue dans un vase en argent fermé, à l'abri du contact de l'air. Pour laver l'appareil, j'ai distillé d'abord 3 litres d'eau qui furent rejetés, puis le premier cinquième de la quantité d'eau distillée ensuite, a toujours servi à laver toute la surface du récipient. Je me suis assuré que l'eau préparée de cette manière était volatile, sans résidu. A cet effet, j'ai poli l'intérieur d'une capsule en platine avec de la silice précipitée et séchée, de manière à obtenir une surface brillante où la dernière trace de matière devait se révéler. L'eau évaporée dans cette capsule couverte

(*) *Ann. von Poggendorff*, t. CXLI, p. 66, 1870.

(**) *Mémoires de l'Acad. roy. de Belgique*, t. XXXV, p. 110, 1863.

n'a laissé aucun dépôt visible sur le miroir que j'avais préparé. A mon avis, on ne pourrait affirmer qu'une telle eau renfermerait encore des matières *fixes* sans faire du mysticisme scientifique.

Cette eau pure, versée dans les tubes, a fait voir une couleur bleue dont on se représentera difficilement la pureté. Le plus beau bleu du ciel tel qu'on peut le voir par une journée sereine, quand on se trouve au sommet d'une montagne élevée au-dessus des émanations grossières du sol, peut seul lui être comparé. J'ai abandonné les tubes à eux-mêmes pendant deux semaines et je n'ai pu constater aucun changement dans la pureté de la coloration. Cette fixité de la couleur est peut-être un indice de la grande pureté de l'eau.

J'ai appliqué à cette eau la méthode d'investigation de Tyndall : je l'ai éclairée au moyen de la flamme du magnésium, concentrée en un lieu du liquide par un miroir concave. Si les installations imparfaites dont je pouvais user pour une expérience de ce genre ne m'ont pas induit en erreur, le cône lumineux traversant le liquide était à peine visible. Il m'est difficile d'affirmer si sa trace était marquée ou non.

Quoi qu'il en soit du doute qui entache ce dernier point, il demeure établi que l'eau, aussi pure qu'on peut la préparer, est d'un bleu parfait si on la regarde sous une épaisseur suffisante. Cette couleur appartient-elle en propre à l'eau ou bien est-elle due à une réflexion de la lumière incidente, comme c'est le cas pour le bleu du ciel? Je crois que tout le monde sera d'accord pour exclure une origine accidentelle de cette couleur. En effet, dans les dispositions prises, on regardait l'eau suivant l'axe des tubes qui la contenaient, c'est-à-dire dans la direction même du rayon lumineux éclairant. Or, si le bleu avait été produit par la réflexion de la lumière sur des particules invisibles même et insaisissables, le maximum de la couleur bleue aurait dû se trouver dans une direction perpendiculaire au rayon lumineux; c'est précisément le contraire qui a eu lieu. En outre, dans cette hypothèse, la lumière transmise aurait dû être rouge ou mêlée de rouge, mais il n'en a absolument rien été, la pureté du bleu témoignait suffisamment de l'absence du rouge. Du reste, j'ai fait une contre-épreuve qui me paraît décisive. Si la couleur bleue de l'eau n'est pas le propre de cette substance, mais si elle est due à la présence de matières étrangères provenant de l'air, il faut nécessairement que tout liquide ayant été manipulé dans les

mêmes conditions que l'eau présente, comme l'eau, une teinte bleue. En un mot, il ne pourrait pas exister de liquide incolore. Voilà le point à vérifier.

Or, j'ai distillé, dans l'air du laboratoire et dans un appareil en verre, 5 litres d'alcool amylique pendant plusieurs semaines, et le liquide ainsi maltraité, qui avait englouti beaucoup de poussière du laboratoire, n'a donné lieu à aucun phénomène de coloration dans le tube sous une épaisseur de 5 mètres. Le manque de matière m'a empêché de l'examiner sous 10 mètres d'épaisseur,

J'avais essayé d'abord l'acide acétique cristallisable et l'alcool éthylique absolu, mais ces substances se sont montrées *jaunes* sous une épaisseur de 5 mètres. Cette couleur jaune s'effaçait graduellement quand on examinait les liquides sous des épaisseurs plus faibles, sans jamais montrer ni du vert, ni du bleu. Je n'oserais affirmer, cependant, que la couleur jaune soit propre à ces corps, l'acide acétique et l'alcool éthylique renfermant très facilement des produits empyreumatiques, dont il est bien difficile de les débarrasser.

Il me paraît établi par là que l'eau, aussi pure qu'on puisse l'obtenir, n'est pas incolore, mais douée d'une couleur bleue provenant, non d'une réflexion de la lumière incidente, mais d'une absorption du jaune.

Je passe maintenant à l'exposé des expériences faites en vue de connaître la raison de la diversité des couleurs des eaux naturelles.

L'analyse n'ayant pas révélé, d'une manière constante, la présence d'une matière colorée, verte, jaune ou brune, dans les eaux vertes, puisque, je le répète, Wittstein a reconnu lui-même l'absence d'un limon jaune dans les eaux vertes du lac de Starnberg, les investigations devaient être poussées dans une direction tout autre. Je passerai sous silence les recherches infructueuses que j'ai faites, bien qu'il puisse arriver que leur connaissance ne soit pas complètement inutile, et, pour ne pas trop étendre les limites de cette note, je me bornerai à mentionner les faits indispensables.

Cinq litres d'eau pure, bleue, ont été traités par quelques grammes de chaux, exempte de fer, provenant de la calcination du marbre de Carare. L'eau de chaux ainsi préparée, parfaitement limpide après un repos de cinq jours, a été additionnée d'une solution d'anhydride carbonique dans l'eau jusqu'à formation d'un précipité à peine visible, puis versée dans l'un des tubes d'observation. *Elle était entiè-*

rement opaque. Le résultat n'eût pas été différent si j'avais versé de l'encre dans le tube au lieu de cette eau de chaux. Retirée du tube, convenablement étendue d'eau pure, elle a reçu ensuite un courant d'anhydride carbonique pour précipiter la chaux à l'état de carbonate et pour dissoudre enfin le carbonate à l'état de carbonate acide de calcium. De temps en temps, le courant d'anhydride carbonique était interrompu, et le liquide examiné, après dépôt, dans le tube. On put voir l'opacité primitive disparaître lentement pour laisser percer une lumière brune, puis brun clair, puis jaune, puis verte et, enfin, après une circulation d'anhydride carbonique de dix-huit heures, le liquide était redevenu bleu avec une pointe dans le vert cependant.

On le voit, par l'action combinée de l'anhydride carbonique et du carbonate de calcium, on peut reproduire toutes les couleurs des eaux naturelles, depuis l'opacité jusqu'au bleu verdâtre.

Comme contre-épreuve, j'ai préparé une solution saturée de bicarbonate de calcium et d'acide carbonique dans l'eau pure; elle avait une couleur verte sous 5 mètres d'épaisseur. Je l'ai exposée ensuite dans le vide pour expulser une certaine quantité d'anhydride carbonique et amener la dissociation du bicarbonate, puis je l'ai examinée dans le tube. Cette manœuvre a été répétée un certain nombre de fois. A chaque reprise, on constatait une accentuation de la couleur jaune, le vert disparut bientôt et à la fin le tube devint opaque. Une goutte d'acide chlorhydrique suffit à rétablir la couleur bleu verdâtre.

Avant de tirer de ces faits les conséquences qu'ils comprennent, il est nécessaire d'en vérifier davantage l'exactitude.

L'eau de baryte qui a reçu une bulle ou deux d'anhydride carbonique est opaque comme l'eau de chaux. Ensuite l'anhydride carbonique produit exactement les mêmes phénomènes que précédemment; l'eau devient brune, jaune, verte et vert bleuâtre. En employant de l'acide chlorhydrique ou de l'acide nitrique au lieu d'anhydride carbonique, les effets sont beaucoup plus rapides.

En troisième lieu, une solution de silicate de sodium renfermant un peu d'acide silicique libre s'est montrée opaque sur une épaisseur de 5 mètres. Sous 1 mètre d'épaisseur, elle était jaune brunâtre. En l'additionnant ensuite d'une solution de soude caustique, suffisamment concentrée, on redissolvait la silice libre et, dans la même mesure, la teinte jaune disparaissait.

Enfin, de l'eau pure, tenant en suspension un léger voile de chlorure d'argent non encore cristallisé, est opaque ou jaune suivant l'épaisseur de la couche considérée. L'ammoniaque, en dissolvant le précipité, efface l'opacité ou la couleur jaune.

Ces expériences nous mettent sur la trace de plusieurs faits qui seront vérifiés à leur tour.

I. — En premier lieu, un rayon lumineux d'une intensité donnée ne passe absolument pas par une couche assez épaisse d'un liquide tenant des corps étrangers en suspension, alors même que ceux-ci seraient transparents ou incolores si leurs dimensions sont suffisamment fortes.

En effet, un tube chargé d'eau tenant assez de carbonate de calcium en suspension pour être opaque à la lumière diffuse du jour laisse passer de la lumière si on l'éclaire par la lumière solaire ou par la flamme du magnésium. Il en est de même pour l'eau renfermant du carbonate de baryum, de la silice ou du chlorure d'argent. De plus, ces substances sont transparentes; la proposition que j'ai énoncée se trouve donc vérifiée.

II. — L'état solide des corps en suspension dans l'eau est sans influence sur le phénomène.

Ce point se vérifie de la manière suivante :

On sait que si l'on verse de l'eau dans de l'alcool éthylique tenant de l'alcool amylique en solution, il se produit un trouble persistant dû à la formation de gouttelettes minuscules d'alcool amylique qui ne se dissolvent pas dans l'eau.

En proportionnant convenablement la quantité d'alcool éthylique et d'eau pour une quantité d'alcool amylique donnée, on peut graduer le trouble et lui donner une intensité aussi faible qu'on le désire. Il est clair que chaque globule d'alcool amylique est liquide et transparent. Eh bien, un liquide trouble ainsi préparé est opaque sous une épaisseur suffisante et pour une intensité de lumière donnée; il est jaune sous un éclairage plus fort, et incolore par l'action d'une lumière plus puissante encore; sous des épaisseurs de plus en plus faibles, il se comporte de même pour un éclairage donné.

La raison de ces faits est facile à concevoir. Quand un rayon lumineux *blanc* traverse un milieu tenant en suspension une infinité de

réflecteurs, chaque onde simple composant le rayon lumineux blanc se réfléchit indépendamment des autres ondes. Il est clair que si la réflexion n'est pas totale, ce qui sera généralement le cas, l'intensité de chaque onde ira faiblissant avec l'épaisseur du milieu. Or, les diverses ondes de la lumière blanche n'ayant pas la même intensité lumineuse, les plus faibles succomberont les premières, les couleurs extrêmes du spectre, le rouge et le violet s'éteindront d'abord et finalement le jaune, la lumière la plus vive pour nos yeux, quoique affaibli aussi, survivra seul à cette lutte. On pourra sans doute donner une autre formule à l'explication proposée et dire, plus simplement, que si de la lumière blanche traverse un milieu optiquement résistant, le jaune qui la compose concurremment avec les autres couleurs s'éteindra en dernier lieu.

J'ajouterai que ce phénomène, pour se produire, n'a pas besoin d'un liquide tenant des parcelles réfléchissantes en suspension; il a lieu aussi dans notre atmosphère. Tout le monde a observé, en effet, que l'ombre projetée par une fumée ou par une vapeur en voie de condensation, sur un fond blanc, n'est pas seulement grise, mais qu'elle a toujours un certain aspect jaune-brun auquel on entend souvent donner la désignation de *jaune de fumée* ou *fumée brunâtre*.

D'après ce qui précède, un liquide tenant un corps incolore en suspension paraît blanc exclusivement par la lumière réfléchie. Un lait de chaux, par exemple, bien blanc, est tout aussi opaque que de l'encre et sa couleur blanche n'est que le témoignage de ce que la lumière qui l'éclaire ne peut pas le traverser.

III. — Il est un troisième point sur lequel je désire appeler maintenant l'attention.

Si la couleur jaune d'un liquide est due à la suspension d'un certain nombre de particules solides ou liquides, elle devra disparaître avec la chute de ces dernières; en un mot, la couleur jaune ne peut être qu'éphémère. Si ceci était vrai, l'explication que l'on a pressentie déjà de la variété de teintes des eaux rencontrerait une difficulté réelle, mais il n'en est rien.

J'ai abandonné, pendant dix-sept jours, de l'eau de chaux trouble dans un des tubes d'observation. A l'origine, la lumière ne passait pas, c'était naturel, mais au bout de peu de temps on put suivre les progrès du dépôt de la chaux dans le tube; le liquide devenait de

plus en plus vert. Au bout de douze jours déjà, la limpidité de l'eau était rétablie au point qu'on pouvait voir, à travers le tube, un trait léger tracé au crayon sur une feuille de papier. La couleur de l'eau de chaux était verte cependant et elle resta telle d'une manière constante. Il était évident qu'on avait affaire ici à une *solution* de chaux dans l'eau sans suspension proprement dite de matières solides, et cependant il restait assez de jaune pour former du vert avec la couleur de l'eau.

Des eaux troubles renfermant du carbonate acide de calcium ou du carbonate acide de baryum, en suspension, ont produit le même phénomène.

Il résulte de là que la résistance opposée au passage de la lumière se manifeste aussi quand celle-ci traverse des solutions *saturées*, où il se forme peut-être déjà un précipité.

On pourrait peut-être appeler ce dernier *précipité naissant*, par analogie avec les *nuages naissants* que Tyndall nous a fait connaître. Pour vérifier le dernier point par l'expérience, j'ai fait une solution à peu près saturée à 18° de chlorure de calcium pur, dans lequel la présence du fer n'a pu être démontrée.

Dans le tube d'observation, la solution s'est montrée d'un beau jaune verdâtre. En l'étendant d'eau ou en diminuant la longueur de la colonne liquide, le vert s'accroissait de plus en plus.

Ensuite, une solution à peu près saturée de chlorure de magnésium pur a présenté une couleur jaune d'or très pure.

En troisième lieu, une solution saturée de chlorure de sodium, également pur, a donné une teinte vert de chrome magnifique, d'une transparence parfaite. Enfin, une solution saturée de bromure de potassium avait une couleur d'un beau vert émeraude.

Je n'ai pas examiné de solutions d'autres sels à cause de la difficulté de les préparer, de manière à avoir au moins la conviction de l'absence complète de fer. Je crois cependant que l'on peut considérer comme établi que la couleur jaune produite par une solution d'un sel dépend moins de la quantité de sel dissous que du voisinage immédiat du sel de son point de solidification. De petites quantités de sel peu soluble produiront le même effet que de grandes quantités d'un corps plus soluble.

Pour vérifier directement encore cette dernière conséquence, j'ai fait bouillir pendant quelque temps de l'eau distillée, pure et bleue,

dans un vase en verre. On sait que le verre est un peu soluble dans l'eau. L'eau versée dans le tube d'observation, après refroidissement, était complètement opaque. Au bout de quelques heures, elle laissa passer de la lumière jaune foncé, puis, après deux jours, elle devint verte et demeura telle. Sa limpidité était alors irréprochable, mais le peu de matière qu'elle avait enlevé au verre, transparent pourtant, suffisait à la colorer en vert. Il me reste encore à montrer comment les faits observés peuvent servir à expliquer la variété de couleur des eaux naturelles.

On peut admettre que l'eau absolument pure est d'un beau bleu, sous une épaisseur suffisamment grande. Voilà le point de départ. Si l'eau tient en dissolution *complète* des sels incolores cependant en petite masse, la couleur de l'eau ne sera pas changée, elle restera bleue; mais si, au contraire, l'eau contient un précipité naissant, plus ou moins abondant, la lumière traversant l'eau sera d'un jaune plus ou moins foncé; il arrivera même que l'eau ne laissera plus passer de lumière, elle paraîtra opaque, c'est-à-dire noire. Cette lumière jaune se combine nécessairement avec la lumière bleue de l'eau; il se produira de cette manière des teintes bleu verdâtre, vert bleuâtre ou vertes, selon la proportion du jaune. Et même, si le jaune l'emporte de beaucoup, le bleu pourra être étouffé complètement: l'eau présentera alors une couleur jaune-brun, ou plus foncée encore.

Voyons comment ces conditions peuvent être réalisées dans la nature. En général, les substances peu solubles contenues dans les eaux naturelles, et pouvant se présenter peut-être sous forme de précipités naissants, sont le carbonate de calcium ou de magnésium, la silice, le silicate d'aluminium ou l'alumine elle-même. Il n'y a pas lieu de considérer ici les corps plus solubles dans l'eau, tels les chlorures de sodium, de magnésium, les sulfates, etc., parce qu'ils n'interviennent pas pour une quantité insuffisante à réaliser les conditions indiquées.

Or, une eau bleue, comme celle du lac de Genève ou mieux du lac d'Achen, dans le Tyrol, devra renfermer son calcaire dissous d'autant plus complètement qu'elle sera plus bleue. Il devra se trouver dans l'eau une quantité suffisante d'anhydride carbonique pour produire du carbonate acide de calcium. Une eau verte, au contraire, telle que celle du lac de Constance, devra contenir du

calcaire moins parfaitement dissous, circonstance qui pourra être due à un défaut d'anhydride carbonique. Il est intéressant de s'assurer jusqu'à quel point ces conséquences se vérifient. Sainte-Claire-Deville a analysé en 1848, à Strasbourg, les eaux du Rhin, qui sont vertes comme on sait, et celles du Rhône prises à Genève (*), en y dosant aussi l'anhydride carbonique dissous. Voici les résultats obtenus pour ce qui nous concerne :

	Rhin.	Rhône.
CaCO ³	1356	789
CO ² libre	76,0	79,5

(L'unité est le milligramme, et les analyses ont été faites sur 40 litres.)

Si l'on rapporte la quantité d'anhydride carbonique au calcaire, on a :

pour le Rhin 76 : 1356 = 0,05604
 pour le Rhône 79,5 : 789 = 0,10076

d'où

$$\frac{0,10076}{0,05604} = 1,80$$

ce qui montre que pour la même quantité de carbonate de calcium, l'anhydride carbonique figure pour près du double dans les eaux du Rhône que dans les eaux du Rhin. Le calcaire doit par conséquent être mieux dissous dans le Rhône que dans le Rhin; les eaux du premier fleuve sont en effet bleues.

Allons plus loin. Si, vraiment, toutes choses étant égales d'ailleurs, une eau calcaireuse est plus bleue quand son calcaire est mieux dissous, il faut qu'en traitant une eau bleue par du calcaire, elle devienne verte. L'anhydride carbonique libre se trouvera alors immobilisé, pour ainsi dire, à l'état de carbonate acide de calcium. Or, le lac d'Acken, dont les eaux sont d'un bleu foncé dans les endroits profonds du lac, est du plus beau vert de chrome sur son bord septentrional. Là les eaux sont peu profondes; elles viennent

(*) *Loc. cit.* Il est surprenant que ces deux analyses soient seules mentionnées dans la littérature chimique. N'en existerait-il pas d'autres?

jouer sur les cailloux calcaireux de la rive et entraînent, par leur flux et reflux précipité, des parcelles invisibles de calcaire qui les obligent à changer de couleur. Les tons verdâtres de tous les hauts-fonds dans les mers ou bien les bords des lacs ont très probablement la même origine. Les sables de la mer renferment des débris de coquilles broyés et les terres des berges des lacs sont toujours assez calcaireuses pour saturer en partie l'anhydride carbonique des eaux.

On n'a tenu compte jusqu'à présent que du rôle du calcaire, mais comme il a été dit plus haut, la silice et l'alumine peuvent produire les mêmes effets. L'action est compliquée. Il se pourrait même qu'une eau verte ne renfermât pas trace de calcaire; c'est qu'alors la silice ou l'alumine se serait chargée de fonctionner à sa place. Mais une eau chargée ainsi d'alumine et de silice pourra-t-elle présenter des tons différents? L'alumine s'élimine-t-elle par un procédé simple que la nature nous offre? La réponse à cette question est des plus simples. On sait, en effet, que l'argile ou le silicate d'aluminium, sans être soluble dans l'eau dans l'acceptation propre du mot, forme cependant avec elle une pseudo-solution : de l'eau d'un fleuve roulant sur un limon gras, argileux, ne devient jamais complètement limpide par le repos. L'argile, sans être dissoute, est comme émulsionnée dans le liquide. Mais si l'on vient à ajouter à l'eau une solution d'un sel, du chlorure de sodium, par exemple, alors le silicate d'aluminium se précipitera rapidement. On observe ce fait sur une échelle énorme à l'embouchure des grands fleuves. Leurs eaux restent troubles bien que le courant soit presque éteint, tant qu'elles ne sont pas mêlées aux eaux de la mer; mais alors elles se dépouillent rapidement de leur limon. C'est ainsi que l'on explique la formation de ces deltas qui, bien que déposés parcelle par parcelle, finissent par tenir tête au fleuve qui les a produits et l'obligent à changer sa route.

Eh bien, à ce moment, l'alumine étant déposée, le bleu des eaux pourra reprendre le dessus. On a cité plus haut des observations faites par M. Schleinitz, à bord de la *Gazelle*, sur les changements brusques de la couleur de l'océan. D'après ce savant, le retour de la couleur bleue était accompagné d'une augmentation du poids spécifique de l'eau. Il en avait conclu que le sel marin amenait la couleur bleue. Tout s'explique si l'on tient compte du fait que le sel hâte la précipitation du silicate d'aluminium, dont la présence dans

l'eau sous la forme de précipité naissant contribue au développement de la couleur verte des eaux.

Un mot encore. La polarisation de la lumière, qui a été observée par MM. Soret et Hagenbach dans les lacs de la Suisse, ne serait-elle pas plutôt l'indication des réflexions subies par la lumière et qui ont pour effet de l'éteindre en la jaunissant que celle des réflexions qui amènent le bleu des eaux? C'est là une simple question que je me permets de poser.
