

## Sur la cause de l'absence de coloration de certaines eaux limpides naturelles.

(Bulletin de l'Académie royale de Belgique, 3<sup>e</sup> sér., t. XXXVI, n<sup>os</sup> 9-10, pp. 266-276, 1898.)

Il est aujourd'hui reconnu, à suffisance de preuve, que l'eau pure n'est pas incolore mais bleue. Cela étant, la couleur d'azur de l'Océan et de certains lacs n'a plus rien que de très naturel, alors même que le mécanisme de la réflexion de la lumière du jour, au sein des eaux, n'est pas encore connu d'une manière satisfaisante.

L'apparition de la *couleur verte* dans d'autres eaux limpides trouve, à son tour, une explication simple, ainsi que je l'ai fait voir à la suite de nombreuses recherches (\*), dans la présence d'un *trouble* dans l'eau, trouble doué de la propriété de laisser passer plus facilement les rayons jaunâtres. Si ce trouble était suspendu dans un liquide absolument incolore, le milieu nous paraîtrait jaunâtre ou brun jaunâtre, selon l'épaisseur du trouble; mais l'eau étant bleue et non incolore, la couleur du trouble se composera, pour notre œil, avec la couleur fondamentale de l'eau et nous percevrons la *sensation du vert*; la nuance en sera plus ou moins pure, selon les cas. La matière constituant le trouble pourra être incolore par elle-même, mais le plus souvent elle sera colorée, ainsi que je l'ai dit dans un article récent(\*\*) sur le rôle des composés ferriques et des matières humiques dans le phénomène de la coloration des eaux.

---

(\*) *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 3<sup>e</sup> série, t. V, p. 55, 1883; t. XII, p. 814, 1886; t. XXXIV, p. 578, 1897.

(\*\*) *Loc. cit.*, 1897.

Si l'on s'en tenait aux faits qui viennent d'être rappelés, il faudrait nécessairement que toute eau naturelle, *limpide*, fût ou bleue, ou verte, dès qu'elle se présenterait en masse suffisante, c'est-à-dire en couche d'environ *un* mètre d'étendue, et cela sans que la profondeur doive être notable; on le voit bien dans nombre de rivières et même de ruisseaux.

L'observation nous apprend cependant que cette conclusion est très souvent en défaut : il y a des eaux limpides qui sont absolument incolores. Je citerai surtout l'eau de l'Amblève, de l'Ourthe, dans les parties de leurs cours où ces rivières ne sont pas souillées par l'industrie. Probablement en serait-il de même de l'eau de toutes nos rivières et de nos ruisseaux belges, si elle n'était pas contrainte d'aider les industriels dans leur travail.

Plus généralement, on peut dire que les cours d'eau dont l'origine n'est pas dans la région des neiges perpétuelles et des glaciers n'ont qu'exceptionnellement une couleur bleue; souvent ils ont une teinte verte, mais plus souvent encore ils sont incolores ou d'un aspect plus ou moins sombre dans leurs parties profondes. C'est cette absence de couleur ou, si l'on préfère, la discontinuité du phénomène de coloration qui fait la grande difficulté du problème qui nous occupe. Berzelius a déjà appelé l'attention sur ce point lorsqu'il a rendu compte, en 1828 (\*), d'un travail que H. Davy avait fait sur la question de la couleur de l'eau, travail dans lequel le célèbre chimiste anglais démontrait, pour la première fois, que l'eau pure est bleue. Les remarques de Berzelius sont si frappantes qu'il y a tout lieu de les reproduire *in extenso*.

Je traduis textuellement :

« Sans vouloir contester la justesse de cette explication (celle de Davy), je ne puis me déclarer convaincu de son exactitude, car s'il en était ainsi (si l'eau était bleue), il devrait y avoir quelque chose en état de lui enlever sa couleur. On sait que le lac de Wetteren, en Suède, a une couleur plus claire que celle que l'on observe d'ordinaire dans d'autres lacs. Sur les rives très escarpées, au pied de l'Omberg, le fond du lac est formé de bandes de roches calcaires dénudées. Quand l'eau est calme et que le soleil donne, on peut

encore distinguer des objets, sur le fond, à 32 pieds de profondeur, sans que l'œil ne découvre le moindre vestige de bleu : tout est clair et incolore, comme si on regardait à travers un verre de cristal. A cette profondeur, la couleur bleue du lac de Genève aurait absorbé toute la lumière, et combien l'eau de la Motala ne diffère-t-elle pas, à sa sortie du lac de Wetteren, de l'eau du Rhône à l'endroit où celui-ci s'échappe du lac de Genève! Les petits lacs de Dalarna, que traverse la rivière Fahl, se distinguent par la pureté de leurs eaux qui ne sont troublées par aucun réactif, et cependant ces eaux ne montrent pas non plus, quand on les regarde en masse, la moindre pointe de bleu ou de vert. Il reste donc toujours à répondre à la question de savoir pourquoi l'eau pure des glaciers est si fortement bleue déjà à 2 pieds de profondeur, tandis qu'il existe d'autres eaux pures n'ayant aucune couleur, même en masse profonde. »

J'ai tenu à m'assurer si l'aspect du lac de Wetteren répond encore aujourd'hui aux observations de Berzelius. Je dois à l'obligeance de M. le professeur O. Pettersson, de Stockholm, les renseignements suivants, qui émanent de personnes connaissant bien ce lac : « D'après M. L. Olin, avocat, qui est originaire d'une des îles du lac, l'eau est claire comme du cristal, « *krystalclar* », au point qu'il n'est pas possible de définir sa couleur. Ce jugement se base sur le fait que par un temps calme on distingue nettement de petits objets à de grandes profondeurs. M. Olin a plongé souvent, aussi profondément que possible, et il a vu chaque fois les objets placés au-dessus de la surface de l'eau, *avec leur couleur naturelle*. Quand le ciel est nuageux, la surface de l'eau est grise; au soleil, elle est bleue ou verte. » D'autre part, M. Lindberg, qui a navigué sur le lac pendant de nombreuses années en sa qualité de capitaine d'un bateau à vapeur, a fourni les mêmes renseignements sur la clarté de l'eau, surtout pour la partie *nord* du lac, près de sa décharge dans la Motala. Mais l'eau n'est claire et transparente que là où le fond est de sable ou de pierre. Il dit que l'on peut compter alors les cailloux à une profondeur de 12 à 14 pieds, et il ajoute qu'il est parfois impossible de voir à travers l'eau du lac, même quand le soleil donne, et cela aux places où l'eau est, à d'autres moments, complètement transparente. M. Lindberg attribue la cause de ce phénomène aux *courants* qui se produisent quelquefois dans les couches profondes.

\*) *Jahresbericht für Chemie*, etc., t. IX, p. 207 (édité en 1830).

Enfin, M. Witt, assistant de M. O. Pettersson, a constaté, à l'occasion de sondages entrepris dans le lac de Wetteren, que la transparence n'est pas toujours la même et que la couleur change par places, surtout avec l'intensité de l'éclairage.

En résumé, si l'observation de Berzelius n'est pas controuvée, il n'en est pas moins vrai que l'absence de coloration du lac n'est pas constante. On doit donc en chercher la cause dans l'action variable d'un facteur étranger à l'eau.

L'objet de la présente note est de répondre à la question de Berzelius, tout en tenant compte des variations d'aspect que les eaux peuvent présenter.

On le verra, la solution du problème est d'une simplicité étonnante; elle s'adapte entièrement à l'explication que j'ai donnée de l'apparition de la *couleur verte* dans certaines eaux, car elle n'est qu'une conséquence nécessaire de la présence d'un trouble réel d'espèce déterminée. Elle peut donc être regardée comme la confirmation des considérations que j'ai fait valoir sur le problème de la couleur des eaux.

Voici le fait nouveau et ses relations avec les observations antérieures.

J'ai montré, il y a un an (\*), l'influence de l'*hydrate ferrique colloïdal* sur la couleur de l'eau; il suffit que celle-ci en renferme moins d'un dix-millionième de son poids pour paraître *verte*; une proportion plus forte de composé ferrique la rend de plus en plus jaune. Si les eaux de la nature, qui renferment cependant une plus grande quantité de fer, ne sont pas toutes *jaunes* ou *brunes*, c'est que les composés ne sont pas à l'*état ferrique*: ils sont continuellement ramenés à l'*état ferreux*, dont le pouvoir colorant est négligeable relativement à celui des composés ferriques, par l'action combinée des matières humiques et de la lumière solaire.

Plus récemment (\*\*), j'ai fait voir, à l'occasion de recherches sur les matières colorantes des terrains de sédiment et sur l'origine probable des roches rouges, que l'hydrate ferrique qui a échappé à l'action réductrice des matières humiques perdait lentement son eau d'hydra-

(\*) *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 3<sup>e</sup> série, t. XXXIV, p. 578, 1897.

(\*\*) *Loc. cit.*, 3<sup>e</sup> série, t. XXXV, p. 521, 1898.

tation au sein des sédiments et, passant alors de la couleur jaune d'ocre au rouge vineux, il colorait les roches et les terrains en rouge, comme si ceux-ci avaient été saupoudrés de matière colorante.

Or, si l'on fait macérer, à chaud, une roche rouge (du schiste dévonien, par exemple) dans une solution concentrée de potasse caustique que l'on renouvelle de temps en temps, on arrive, au bout de quelques semaines, à enlever l'acide silicique de la roche et à ne plus avoir qu'une boue formée de sable plus ou moins fin, auquel se trouvent mêlées des particules d'oxyde ferrique (hématite) rouge orangé, d'une ténuité extrême.

En lavant la masse à l'eau pure, par décantations répétées, il arrive un moment où la matière colorante rouge ne se dépose plus, même après un repos durant plusieurs mois. On a alors, à l'état concentré, un milieu trouble formé de particules solides d'un rouge orangé et de dimensions si petites qu'il est difficile de les distinguer à l'aide d'un microscope grossissant cent cinquante fois.

Ces particules si ténues ne sont sans doute autre chose que les poussières de l'époque dévonienne rendues à l'indépendance. En évaporant 10 centimètres cubes de ce liquide trouble dans une capsule en platine, j'ai obtenu un résidu pesant 0<sup>m</sup>0125; chaque goutte contient donc approximativement six centièmes de milligramme d'oxyde ferrique, en comptant vingt gouttes par centimètre cube.

Eh bien, si l'on mêle à de l'eau pure, bleue, quelques gouttes seulement de ce liquide trouble, la clarté de l'eau n'en paraît pas atteinte; mais si l'on examine ensuite le liquide sous grande épaisseur (dans un tube de 6 mètres), on constate, dans le cas où la proportion du trouble est convenable, la *disparition complète de toute couleur bleue*; le liquide, toujours d'apparence limpide, se montre tout au plus, sous cette épaisseur, un peu assombri.

Au lieu de ce trouble ainsi préparé, on peut se servir aussi de celui qui se forme lorsque l'on traite la *carrollite* par l'eau et que l'on élimine le sel dissous à la suite d'un lavage par décantations successives.

La préparation est plus commode, mais le trouble est ici moins persistant, parce que l'oxyde ferrique se prend aisément en *flocons* et qu'il est bien moins tenu que celui des roches dévoniennes.

Si la proportion du trouble d'oxyde ferrique est trop faible, l'eau

conserve une teinte d'un vert jaunâtre, rappelant tout à fait certaines eaux naturelles, par exemple celles de la Meuse en amont de la région industrielle du pays. Il suffit toutefois de quantités extraordinairement faibles d'hématite pour supprimer le *bleu* de l'eau.

Si la proportion de *trouble* est au contraire trop forte, l'eau se montre de plus en plus sombre, jusqu'à devenir opaque (dans le tube de 6 mètres), mais elle ne devient pas rouge par transparence; le rouge n'apparaît que par la réflexion de la lumière, c'est-à-dire lorsque l'on regarde un tube débarrassé de sa gaine opaque, en plaçant l'œil de manière que le rayon visuel *rase* la surface du tube.

Enfin, voici une observation qui est peut-être de nature à fournir quelques renseignements sur la manière optique d'agir des troubles en général.

Pour supprimer la couleur bleue de l'eau, il n'est naturellement pas nécessaire de mêler la matière troublante au liquide : il suffit que la lumière passant par l'axe du tube de 6 mètres soit réfléchi sur un plan enduit de poudre fine d'hématite. Le fait paraît clair; néanmoins, il faut prendre une précaution spéciale, qui renferme précisément le point que je désire mettre en évidence.

Si l'on dépose sur un plan de porcelaine blanche le liquide trouble rouge en quantité telle que la partie de la surface utilisée pour la réflexion de la lumière ne renferme pas plus d'hématite que l'eau pure n'en doit recevoir pour éteindre le bleu, et qu'on laisse sécher, on obtient une surface rosée, qui ne renvoie cependant pas assez de lumière rouge pour supprimer la couleur bleue de l'eau. Ce résultat incomplet démontre donc qu'une réflexion unique à la surface du trouble ne suffit pas pour éteindre le bleu, alors que l'effet est cependant complet quand les grains du trouble sont en suspension dans l'eau.

Pour réussir, il faut, de toute nécessité, déposer sur le plan de porcelaine une couche beaucoup plus épaisse d'hématite broyée.

On doit conclure de là que si, dans la nature, la lumière du jour se réfléchissait *seulement une fois* sur la surface des grains du trouble, l'extinction de la couleur bleue nécessiterait un trouble intense au point d'altérer, d'une manière très visible, la transparence de l'eau. Au contraire, si la lumière *traverse le trouble* à la suite d'un grand nombre de réflexions sur les grains d'hématite, l'extinction du bleu pourra être complète alors que l'eau ne renfermerait que de rares particules rouges.

Cette remarque répond à une objection que M. R. Abegg a faite à ma manière de voir sur le rôle des *troubles* dans le phénomène de la génération de la *couleur verte* dans les eaux des lacs et des mers (\*), quand il dit que la lumière perçue par l'observateur ne traverse pas le trouble, mais qu'au contraire elle est réfléchi par celui-ci, et qu'on doit regarder tout le chemin parcouru par un rayon lumineux dans l'eau comme tracé dans un milieu exempt de particules réfléchissantes.

#### Conclusions.

Il résulte des faits précédents que la couleur bleue de l'eau trouve son *complément* dans la couleur de l'hématite.

Une eau tenant en suspension des particules, même invisibles, de cette substance, ne peut donc plus nous donner la sensation du bleu sitôt que la proportion des particules d'hématite est en rapport avec l'intensité du bleu.

Les grains microscopiques d'hématite se trouvant répandus dans presque tous les sols, les eaux *terrestres* ne pourront que rarement être des eaux bleues, quel que soit d'ailleurs leur degré de pureté ou de limpidité apparente. Au contraire, les neiges des hautes cimes et les glaciers ne renferment pas d'hématite. Les poussières cosmiques dont on a signalé parfois la présence dans les champs de neiges perpétuelles, sont pour la plupart des grains de *fer météorique* doués d'autres propriétés optiques que l'hématite et ne pouvant entrer en ligne de compte ici. Les eaux descendant des glaciers et des neiges des cimes élevées sont donc dans les meilleures conditions pour étaler leur couleur avec le moins d'altération.

Le rôle des composés ferriques dans le phénomène de la coloration des eaux est tout différent selon que ces composés sont à l'état d'*hydrate* ou à l'état d'*oxyde anhydre*. A l'état d'hydrate, ils sont jaunes, comme toutes les combinaisons de  $Fe_2O_3$ , avec une proportion suffisante d'une combinaison oxygénée non chromogène (\*\*).

(\*) *Naturwissenschaftliche Rundschau*, t. XIII, n° 14, p. 169, 1898.

(\*\*) Voir mon travail sur les matières colorantes des terrains de sédiment, *loc. cit.*

Répendus en *minime* proportion dans l'eau, ils ont à lutter avec les *matières humiques*, ou, plus généralement, avec les *matières organiques* de l'eau, mais aussi longtemps qu'ils n'ont pas succombé dans la lutte, ils font virer la couleur bleue de l'eau au vert, au moins pour notre œil. Quand, au contraire, les composés ferriques sont à l'état anhydre, ils ont une nuance rouge-orange qui compense exactement le bleu de l'eau et ils ne sont plus soumis au travail réducteur des matières organiques. Leur présence se trahit par la suppression de la couleur bleue de l'eau.

Un mot encore.

Si les observations que je viens de faire connaître ne prouvent pas *directement* la présence de particules d'hématite dans les eaux incolores de la nature, elles établissent néanmoins un parallélisme si étroit entre les expériences du laboratoire et les faits de la nature, que je ne puis me défendre de regarder comme fondée la réponse qu'elles apportent à la question déjà posée par Berzelius au sujet des eaux incolores de la Suède.

---