LA CRISE DES LACS ET RIVIÈRES DE L'EUROPE CENTRALE

par

le Professeur Dr. O. JAAG

Directeur de l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration
et la protection des eaux, à Zurich (Suisse).

C'est sur une distance relativement courte que les principales rivières de l'Europe centrale roulent vers les vallées les eaux provenant des régions désertiques, recouvertes de glace et de pierres. Aussi, les lacs situés dans les Préalpes et au pied des Alpes, où leurs eaux s'accumulent, appartiennent-ils à l'origine au type oligotrophe. Leur eau est pure, limpide et pauvre en matières nutritives. Par conséquent, la végétation et la faune qui s'y développent sont peu abondantes par rapport aux lacs des grandes plaines. Mais la teneur en plantes et animaux microscopiques, c'est-à-dire en organismes planctoniques, n'en est pas moins suffisante pour nourrir un bon nombre de poissons d'espèces précieuses. L'excédent de plancton, qui dépérit annuellement au cours du développement biologique, n'est pas tel que l'eau du lac ne puisse pas facilement « en avoir raison ». Cela signifie que, sans discontinuer, ces organismes sont désagregés. Les matières qui s'y trouvent retenues sont, grâce à la décomposition naturelle par voie aérobie, sans cesse restituées au régime naturel du lac.

En tant que milieu ambiant biologique, chaque lac est un individu à caractère propre. En effet, aucun lac ne ressemble entièrement à un autre ; car le jeu des facteurs biogéniques se manifeste différemment dans chacun d'entre eux. Mais tous les lacs n'en subissent pas moins une évolution. Pour les grands lacs sis au pied des Alpes, à savoir : le lac Léman, le lac de Constance, le lac des Quatre-Cantons et les lacs de l'Italie septentrionale, cette évolution est lente. En effet, si, il y a mille ou deux mille ans, nous avions, par exemple, eu l'occasion d'étudier le lac Léman au moyen des méthodes actuellement adoptées, nous aurions constaté alors un état, tant chimique que biologique, qui ne différerait guère de celui d'aujourd'hui.

En revanche, un nombre relativement grand de lacs moyens et petits ont subi, ces derniers temps et tout récemment encore, une évolution qui n'est pas sans frapper par sa rapidité et sa véhémence. Leur

régime biologique et physico-chimique, voire leur aspect extérieur, s'est modifié; riverains et limnologues ont suivi cette transformation avec un vif intérêt.

Les quelques lacs suisses, dont il sera question ici, sont (fig. 1) :

- le lac de Morat, au pied du Jura;
- le lac de Baldegg;
- le lac de Hallwyl;
- le lac de Zug;
- le Rotsee, en Suisse centrale;
- le lac de Zurich;
- le lac de Constance;
- le lac Inférieur.

Ces deux derniers constituent une partie de la frontière entre la Suisse et l'Allemagne.

FIG. 1. — Quelques lacs suisses.

1, Morat . 2, Baldegg . 3, Hallwyl . 4, Zug . 5, Rotsee .
6, Zurich . 7, Constance . 8, Lac Inférieur.

Ce fut le lac de Morat qui, le premier, attira l'attention. En 1825, son eau se colora d'un rouge intense; les riverains crurent voir monter à la surface le sang des Bourguignons noyés dans la célèbre bataille de 1476. Mais le professeur genevois A. P. de CANDOLLE, à qui on avait envoyé un échantillon de cette eau, y décela la présence d'une algue d'un bleu-vert, donc d'une Cyanophycée filamenteuse; il en compta des milliers par centimètre cube d'eau et décrivit cette algue sous le nom d'*Oscillatoria rubescens* (fig. 2); elle a gardé, depuis lors, le nom populaire de « Sang des Bourguignons ».

Nous ne savons pas d'où cette algue est venue. Elle n'avait été observée nulle part avant. Mais nous pensons qu'elle vivait inaperçue dans le lac de Morat, comme elle vit en faible quantité dans d'autres petites accumulations d'eau. Brusquement, elle trouva dans ce lac des conditions de vie qui lui permirent de se multiplier à l'excès.

Il s'agit très probablement d'un élément nutritif, ayant jusque-là agi en facteur minimum et dont la concentration a soudain augmenté dans l'eau du lac, permettant ainsi cet épanouissement miraculeux d'*Oscillatoria*.

Depuis cette première floraison aquatique signalée en 1825, le lac de Morat a subi une série de changements fondamentaux successifs dans

FIG. 2. — Filaments d'*Oscillatoria rubescens* (Sang des Bourguignons), grossis.

son régime biologique, de même que dans son aspect extérieur. L'eau devint moins liquide et sa couleur bleue changea en une teinte brun-rougeâtre ; depuis lors, la pêche des Corégones, autrefois réputés par leur abondance, diminua sensiblement. Le lac à Corégones se transforma au cours de peu d'années en un lac à poissons blancs, espèces de moindre valeur.

Ce qui est important dans cette évolution, c'est que, depuis un demi-siècle, toute une série d'autres lacs suisses ont suivi l'exemple du lac de Morat.

En 1880 environ, l'*Oscillatoria rubescens* apparut dans le lac de Baldegg qui, par la suite, subit les mêmes changements que le lac de Morat. Puis, en 1898, le « Sang des Bourguignons » s'installa simultanément dans les lacs de Zurich, de Zug et de Hallwyl. En 1910, nous voyons apparaître l'algue bleue si significative dans le Rotsee, près de Lucerne. Les changements biologiques et chimiques s'y suivirent plus

rapidement qu'ailleurs et, comme nous le verrons, l'état actuel du Rotsee est pire que celui de tous les autres lacs mentionnés, que nous sommes obligés de déclarer « malades ».

FIG. 3. — Représentation graphique de la teneur en oxygène (en mg O₂/l).
Lac de Constance.

Plus récemment, l'*Oscillatoria rubescens* a pris pied dans plusieurs lacs artificiels, situés à de plus hautes altitudes, tels que le lac de barrage de Wäggital et le Sihlsee près d'Einsiedeln où la première apparition de l'algue fut suivie d'une forte mortalité parmi les poissons.

Examinons maintenant les changements qui se sont produits dans le régime interne de ces lacs et choisissons pour cet examen le régime de l'oxygène. Ce gaz est, comme on le sait, non seulement de première importance pour la vie des plantes et animaux aquatiques, mais déter-

mine de plus tout un ensemble de processus chimiques dans le cosmos que représente un lac.

Dans l'eau, l'oxygène de l'air est d'autant plus soluble que la température est basse. Il en résulte que les couches profondes dont la température, voisine de 4° C, demeure plus ou moins constante au cours de l'année, sont mieux aérées que les eaux chaudes de surface. Une teneur en oxygène de 10 mg./l. environ correspond à la saturation à la surface d'un lac, tandis qu'au fond, elle n'est atteinte que si l'eau contient 14 mg./l. environ.

Mais, comme nous le verrons, les processus bio-chimiques qui ont lieu dans l'eau peuvent, à leur tour, modifier dans une très large mesure le régime de l'oxygène et, en même temps, celui de bien d'autres facteurs biologiques de l'eau.

Quel est à l'heure actuelle l'état d'aération de nos lacs ? Dans le lac de Constance, par exemple, il est excellent (fig. 3). Dans toutes les couches, de la surface jusqu'au fond, et pendant toute l'année, son aération atteint une saturation de 100 à 80 %. C'est un biotope idéal pour tout ce qui vit dans cette eau. La vase qui se dépose au fond d'un tel lac est d'un brun clair et pour ainsi dire dépourvue de matières organiques. Les organismes morts, plantes et animaux microscopiques du plancton, sont minéralisés avant d'atteindre le fond du bassin.

Il en est de même pour la répartition de l'oxygène dans le lac Léman ainsi que dans les lacs des Quatre-Cantons, de Wallenstadt et de Neuchâtel.

Comment se comportent à cet égard les autres lacs suisses ? Le lac Inférieur, relié par le Rhin sur une distance de 5 kilomètres au bassin supérieur du lac de Constance, possède un état d'aération tout différent (fig. 4). En effet, chaque année au mois d'octobre, la teneur en oxygène diminue à partir d'une profondeur de 15 mètres et, au fond du lac, à 44 mètres de profondeur il n'y en a même plus trace. Cependant, cet état ne dure pas longtemps. La circulation partielle de fin d'été et surtout la circulation complète d'automne amènent de l'oxygène jusqu'au fond et rétablissent des conditions de vie pour ainsi dire idéales. Mais, le lac Inférieur n'en est pas moins un lac menacé.

Nous avons vu que l'*Oscillatoria rubescens* envahit pour la première fois le lac de Baldegg en 1880 environ et que, depuis lors, ce lac subit dans son régime biochimique des transformations analogues à celles du lac de Morat. Quel est son état à l'heure actuelle ? Les relevés faits récemment nous renseignent que pendant presque toute l'année, les couches profondes sont entièrement dépourvues d'oxygène (fig. 5). Les circulations automnales et printanières de l'eau ne suffisent guère à rétablir de nouvelles conditions. Personne ne s'étonnera donc que les Corégones du lac de Baldegg, autrefois réputés, aient disparu. Il est évident que, dans un tel milieu biologique, les œufs déposés au fond ne peuvent pas se développer. De plus, dans les zones où l'eau possède moins de 1 mg./l. d'oxygène, les poissons même ne peuvent subsister.

Dans le lac de Hallwyl, le « Sang des Bourguignons » apparut pour

la première fois en 1898 ; depuis lors, son eau se colore chaque automne et des masses mucilagineuses d'un rouge violet sale de plusieurs centimètres d'épaisseur s'accumulent à la surface de l'eau. Cet état lui a fait beaucoup perdre de son charme pittoresque et, là aussi, les Corégones ont presque disparu. Cela n'est pas surprenant vu le milieu biologique actuel de ce lac. A partir d'une profondeur d'environ 30 ou même 25 mètres, il n'y a plus d'oxygène pendant toute l'année. Comme nous l'avons vu pour le lac de Baldegg, les circulations n'atteignent jamais le fond, de sorte que les couches profondes et le fond du lac constituent un milieu définitivement abiotique (fig. 6).

FIG. 4. — Représentation graphique de la teneur en oxygène (en % de saturation).
Lac Inférieur.

Ce changement de l'état chimique d'un lac peut être extrêmement rapide. Dans la figure 7, on a juxtaposé les courbes de l'oxygène relevées dans le lac de Hallwyl, en différentes saisons, en 1918, en 1941 et en 1942, donc, pas même un quart de siècle plus tard. Examinons par exemple le pair des courbes d'été. Celle de 1918 montre un maximum à une profondeur de 10 à 20 mètres ; puis, la teneur en oxygène diminue considérablement pour arriver à zéro juste au-dessus du fond. Celles de 1941 et 1942 indiquent un maximum excessivement accentué, avec sursaturation atteignant jusqu'à 271 %, mais qui diminue subitement et arrive à zéro dès la profondeur de 30 mètres. Dans toute la masse d'eau plus profonde, l'oxygène est complètement épuisé.

FIG. 5. — Représentation graphique de la teneur en oxygène (en mg O₂/l).
Lac de Baldegg.

FIG. 6. — Représentation graphique de la teneur en oxygène (en mg O₂/l).
Lac de Hallwyl.

Comment expliquer ce phénomène? Eh bien, ce sont les algues microscopiques, et en premier lieu l'*Oscillatoria rubescens* qui libèrent de l'oxygène dans le processus de l'assimilation du CO_2 . Plus le nombre des algues par litre d'eau est grand, plus aussi la sursaturation augmente.

Malheureusement, les algues ne peuvent vivre que dans les couches superficielles de l'eau. Elles ne descendent pas en dessous de 20 mètres, parce qu'à plus grande profondeur la lumière est complètement absente.

En automne et en hiver, alors que la plus grande partie de la végétation microscopique meurt, et qu'une pluie de cadavres microscopiques descend vers le fond, leur décomposition demande plus d'oxygène qu'il n'y en a dans toute la masse de l'eau profonde. Il se forme alors de la boue qui se dépose au fond. La décomposition se fait par voie anaérobie, dont les produits finaux sont le méthane, l'ammoniaque et l'hydrogène sulfuré, poisons pour tout être vivant.

Quel est l'état du Rotsee près de Lucerne? Du printemps jusqu'en automne, il n'y a plus trace d'oxygène déjà à partir de 5 ou 6 mètres au-dessous de la surface. Les périodes de circulation améliorent alors l'aération dans une faible mesure, mais sans atteindre le fond du lac.

Les produits de la vase en décomposition, tels que l'hydrogène sulfuré et l'ammoniaque montent dans les couches d'eau supérieures et arrivent parfois jusqu'à 5 mètres de la surface. Au-dessus du fond, on a trouvé jusqu'à 7 mg./l. d'hydrogène sulfuré.

FIG. 7.
Variations dans le temps
de la teneur en oxygène
(en % de saturation).
Lac de Hallwyl.

Il est évident qu'une pareille eau ne se distingue guère d'une eau corrompue et fétide, et cela aussi bien par ses caractères extérieurs que par sa composition chimique. Il n'en reste pas moins que, dans les couches supérieures du Rotsee, on rencontre encore des poissons appartenant à des espèces peu exigeantes. Mais, à la fin de l'hiver, on en trouve parfois par milliers asphyxiés sous la glace.

Parmi les lacs suisses, celui de Zurich est particulièrement intéressant par rapport à son récent développement. Comme nous l'avons dit, il attira l'attention des riverains et des biologistes, lorsque son eau se colora d'un brun vert par suite de l'invasion d'une diatomée : *Tabellaria fenestrata* (fig. 8). Deux années plus tard, cette invasion fut suivie de celle du « Sang des Bourguignons ». Ces deux fléaux et ceux qui suivirent ont complètement modifié le régime biochimique du lac.

Dès lors, la limpidité de l'eau a diminué et il en est de même pour les lacs de Morat, de Baldegg, de Hallwyl, du Rotsee, etc. En automne et au printemps, l'eau du lac de Zurich se colore en rouge brun sale. Même en plein été, quand, à la suite d'un temps pluvieux, les couches superficielles de l'eau sont brassées, on voit parfois l'*Oscillatoria*, vivant alors à une profondeur de 8-12 mètres, remonter à la surface, de sorte que la peau des nageurs sortant de l'eau est couverte de grands flocons rouges.

FIG. 8. — *Tabellaria fenestrata*, grossi.
Lac de Zurich.

Les analyses chimiques, faites au cours des dernières années, nous montrent que les régions profondes de ce grand lac sont presque complètement dépourvues d'oxygène pendant toute l'année. Il n'en a certes pas été ainsi au temps qui a précédé l'invasion des algues. Malheureusement, on n'a alors pas fait d'analyses chimiques.

* * *

Nous n'avons envisagé jusqu'à présent qu'un seul facteur : l'oxygène, pour caractériser les changements récents et l'état actuel du milieu biologique que représente nos lacs. Il va sans dire qu'un grand nombre d'autres facteurs, tels que le pH, l'alcalinité et l'ensemble des sels minéraux, dissous dans l'eau, jouent un rôle non moins important pour la vie des plantes et des animaux aquatiques. Mais le régime de l'oxygène est le plus significatif dans l'analyse biochimique et, comme nous l'avons mentionné au début, de nombreux facteurs en dépendent.

En effet, les courbes indiquant la teneur en gaz carbonique sont en général l'inverse de celles de l'oxygène. Plus la teneur en oxygène diminue, plus celle du gaz carbonique augmente.

Les nitrates, présents dans un milieu aéré, sont transformés en ammoniacque ou en sels d'ammonium, aussitôt que l'oxygène fait défaut. Dans un milieu dépourvu d'oxygène le fer reste en solution sous forme de carbonate ferreux ; mais il est oxydé et précipité sous forme d'hydroxyde ferrique dans un milieu aéré.

L'exemple du lac de Brent, situé au-dessus de Lausanne, se prête particulièrement bien à illustrer cette corrélation. Ce lac contient une eau que nous appelons « eutrophe », c'est-à-dire riche en sels nutritifs et, partant, riche en plancton. Ses couches profondes sont dépourvues d'oxygène et maintiennent par le fait même le carbonate ferreux en solution. Finalement, l'évolution se poursuivant, la prise d'eau qui sert à l'approvisionnement en eau potable et en eau d'usage, plongeait dans une nappe d'eau dépourvue d'oxygène. Au contact de l'air, cette eau précipitait l'hydrate ferrique (rouille), qui apparut aux robinets, dans les baignoires et dans les baquets de lessive.

Il va sans dire qu'une telle eau ne peut être utilisée. On a créé alors, d'après les projets du physicien Pierre MERCIER, de Lausanne, une installation d'aération pour l'eau du lac de Brent et depuis lors, le fer y est précipité avant d'arriver à la prise d'eau. Ainsi, l'eau du lac de Brent a été rendue potable. Elle peut servir à tous les besoins du ménage et de l'industrie.

* * *

Il résulte de ce qui précède que les lacs suisses se trouvent actuellement en grande partie dans un état biologique fort critique. Il en est de même de beaucoup d'autres lacs préalpins en Autriche et en Italie. Mais les cours d'eau, eux aussi, sont menacés sur une grande échelle, qu'il s'agisse d'un fleuve tel que le Rhin, ou de grandes rivières telles que l'Aar ou la Limmat, ou encore de petits cours d'eau tels que l'Ergolz, dans le canton de Bâle-Campagne, la Suhr, dans le canton de Lucerne, la Glatt, qui traverse la campagne zurichoise. Tous ces cours d'eau et bien d'autres encore présentent des conditions déplorable : eau sale, fond couvert de vase putride. Autrefois, les eaux claires en faisaient le paradis des baigneurs, aujourd'hui, leurs eaux insalubres répugnent.

N'est-il pas honteux pour la population responsable de ce fâcheux état de choses que, même le long du Rhin, dont la beauté a été chantée dans d'innombrables poèmes, il ait fallu, pour des raisons d'hygiène, fermer les bains publics et des plages ? Et ce fut le cas aussi bien en Suisse qu'en Allemagne et en Hollande.

Selon une publication récente, l'approvisionnement en eau potable et l'agriculture des Pays-Bas sont aujourd'hui menacés non seulement par l'eau salée de la mer, mais de plus en plus aussi par celle qui s'écoule dans le Bas-Rhin. En effet, en aval de Kembs déjà, les eaux du Rhin transportent une quantité de 1.000 tonnes de sel commun par jour.

Elles en véhiculent 5.000 tonnes journallement lorsque les eaux de la Rhur, qui mettent le comble à la salinité des eaux du Rhin, en portent à 15.000 tonnes la quantité de sel qu'elles entraînent par jour.

L'eau du Rhin est, en outre, polluée dans une large mesure par des phénols, des huiles et par de nombreuses autres substances encore, déchets et résidus provenant des habitations humaines et des entreprises industrielles, voire des bateaux qui circulent jour après jour en nombre considérable sur le fleuve entre les ports des Pays-Bas et la ville de Bâle.

L'eau potable et l'eau d'usage sont en Suisse, comme ailleurs, devenues une matière précieuse si rare que nous devons de plus en plus avoir recours à l'eau de nos lacs et de nos rivières. Il est donc nécessaire que nous fassions tout notre possible pour enrayer l'évolution catastrophique que je viens d'esquisser. En conséquence, il se pose la question suivante : Que faut-il, ou plutôt que pouvons-nous faire pour enrayer ce développement ou, mieux encore, pour ramener nos lacs à un état physico-chimique et biologique normal ?

Nous avons constaté que la surproduction d'algues est la cause directe de l'épuisement de l'oxygène dans les couches profondes de nombre de nos lacs. C'est à ce manque d'oxygène qu'est due la décomposition, par voie anaérobie, des matières organiques provenant des organismes morts du plancton. Il se forme donc des gaz toxiques pour tout être vivant, tels que l'hydrogène sulfuré, le méthane et l'ammoniaque.

L'augmentation de la production d'algues, due à l'enrichissement en sels nutritifs, provient, du moins en partie, de la pollution des eaux par les égouts. Actuellement, villes, villages et entreprises industrielles déversent en général directement, c'est-à-dire sans épuration préalable, les eaux usées dans les rivières et les lacs.

Mais cet enrichissement en matières organiques et inorganiques est la conséquence aussi de l'intensification de la fumure naturelle ou chimique des fonds agricoles : prés, champs et coteaux bordant nos lacs. Il provient, en outre, des terrains assainis, dont une partie importante des engrais est emportée par l'eau d'écoulement. Ces engrais sont donc non seulement perdus pour l'agriculture, mais nuisent aux lacs en les enrichissant en sels minéraux.

Il s'agirait donc, en premier lieu, de supprimer cet apport de matières nutritives dans nos lacs et nos ruisseaux, c'est-à-dire d'éviter cette fumure involontaire. Ainsi, nous diminuerions la production végétale et animale de plancton. L'oxygène dissous dans l'eau pourrait alors, nous l'espérons, suffire pour désagréger la matière organique par voie aérobie.

Nous avons la possibilité d'épurer jusqu'à un certain point les eaux usées. Divers systèmes d'épuration ont été expérimentés tant en Suisse que dans les autres Pays ; il s'agit maintenant de les perfectionner en poursuivant et en étendant les recherches propres à déceler les phénomènes fondamentaux qui se manifestent dans les installations d'épuration.

Il s'agit surtout d'éliminer, autant que possible, les sels et éléments qui permettent le développement des organismes du plancton. Les techniciens et ingénieurs auxquels incombe l'épuration des eaux usées sont à l'œuvre pour perfectionner les installations servant à ce but.

Mais ce sont les biologistes, botanistes, zoologues et chimistes qui sont appelés à fournir à cet effet les bases scientifiques. Les techniciens ne peuvent remplir leur tâche et s'attendre à des progrès essentiels que dans la mesure où ils pourront se baser sur les résultats obtenus par la recherche biochimique.

Science biologique et technique doivent marcher de pair si l'on veut aboutir à des méthodes permettant de lutter efficacement pour la sauvegarde de nos lacs et rivières.

Aujourd'hui, la protection des eaux est une tâche nationale, urgente pour tous les pays de l'Europe.

C'est aux autorités nationales et communales, ainsi qu'aux entreprises industrielles et artisanales, qu'incombe en premier lieu la tâche de prendre les mesures nécessaires pour épurer les eaux usées ; mais chacun doit y mettre du sien, chacun doit se rendre compte de l'importance de la lutte et être prêt à consentir les sacrifices qui s'imposent pour écarter le danger imminent des eaux polluées. C'est pourquoi, dans chaque Pays, il faut rendre conscients de ce danger les habitants et tous les milieux qui ont intérêt à disposer d'une eau pure et saine : les énumérer serait reconnaître qu'ils englobent toute la population.

On peut voir qu'en Suisse, même dans les lieux les plus reculés, tout le monde connaît aujourd'hui l'importance de la tâche qui consiste à maintenir la salubrité des eaux.

Chaque Pays est responsable de l'épuration des eaux polluées sur son territoire, mais ni les cours d'eau, ni les eaux souterraines ne s'arrêtent aux frontières. Dans les grands lacs tels que le lac de Constance ou le Léman qui forment frontière, les habitants des deux rives ont à supporter les mêmes effets du dépérissement de ces lacs. Chaque Pays doit reprendre les eaux qui lui parviennent des Pays situés à l'amont. Le Rhin, par exemple, amène en Hollande les résidus d'un grand nombre de Pays européens ; la pollution du Rhône commence en Suisse et s'accroît de plus en plus, au fur et à mesure que le fleuve s'approche de la mer. Dans le Danube, les déchets de nombreux Pays de l'Europe centrale s'accumulent et sont portés à la mer.

Une collaboration internationale est donc indispensable dans la lutte menée contre la pollution des eaux. Cette collaboration trouve déjà son expression dans la *Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution*, où des délégués et experts officiels de France, des Pays-Bas, du Luxembourg, de l'Allemagne et de la Suisse travaillent en commun pour établir les bases nécessaires à la protection du Rhin contre une pollution progressive.