

que ses flots sont d'eau pure, nous pouvons en faire remonter la source jusqu'à l'Océan. Et l'eau pure, qui est l'élément principal de la mer, a été certainement formée dans un temps ou dans l'autre par l'union de ces deux corps, oxygène et hydrogène, qui, à l'état de liberté, ne sont connus que dans la condition physique de gaz.

## CHAPITRE VIII.

### COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX NATURELLES

Notre étude de la constitution chimique de l'eau, au dernier chapitre, nous a conduits à conclure que ce liquide se compose de deux gaz, oxygène et hydrogène, unis en proportions définies. Telle est assurément la composition de l'eau absolument pure, mais telle n'est pas la composition de toutes les eaux sur la surface de la terre. En effet on ne trouve jamais d'eau absolument pure dans l'économie de la nature. Le grand courant d'eau douce qu'on appelle la Seine est loin d'être absolument pur dans aucune partie de son cours. Dans le voisinage de la capitale, il est, comme chacun sait, tellement souillé d'impuretés qu'il en acquiert une sorte d'opacité. La couleur limoneuse de ses eaux, à certaines époques, est due à la présence de particules solides suspendues mécaniquement dans l'eau, particules qui tomberaient au fond en majeure partie si l'eau était débarrassée de toute cause perturbatrice, et qu'on pourrait faire disparaître plus ou moins par le simple procédé du filtrage. Mais, en dehors de ces impuretés suspendues mécaniquement, l'eau de la Seine, comme l'eau de tous les autres fleuves, contient certains composés chimiques à l'état de dissolution. Ces impuretés, quoique

existant parfois en proportion très considérable, peuvent échapper entièrement au regard, l'eau n'en restant pas moins claire et incolore. Ces éléments solubles, à la différence des impuretés en suspension, ne se déposent pas quand on laisse reposer la dissolution, et ne disparaissent pas par le seul fait du filtrage. Toute eau naturelle, ruisseau ou fleuve, lac ou mer, contient de semblables matières à l'état de dissolution, principalement sous la forme des composés divers qu'on appelle *sels*; mais elles varient considérablement en nature et en qualité, selon les variétés mêmes d'eaux naturelles.

Il n'est pas nécessaire d'aller chercher bien loin la source de ces impuretés qui existent à l'état de dissolution. Toutes les roches de la terre, au-dessus ou au travers desquelles s'écoulent les eaux, contiennent des éléments minéraux plus ou moins solubles dans l'eau. L'eau est en effet le dissolvant presque universel des solides aussi bien que des liquides ou des gaz. Il faut donc considérer l'eau de rivière, non pas comme de l'eau absolument pure, mais plutôt comme une dissolution extrêmement faible de certains composés chimiques. Nous allons expliquer maintenant ce que sont ces composés.

Dans l'évaporation de l'eau naturelle, toutes les impuretés que cette eau renferme, à l'exception de celles qui sont volatiles, se déposent et la vapeur qui s'élève est très voisine de l'eau pure. Quand la vapeur d'eau se condense, elle reproduit de l'eau pure. Mais cette eau absorbe rapidement à la fois l'oxygène, l'azote, l'acide carbonique et l'ammoniaque; c'est pourquoi la pluie, quand elle atteint la terre, n'est déjà plus de l'eau pure, car elle a absorbé certains gaz de l'atmosphère. L'eau de pluie, quoique la forme la plus pure de l'eau naturelle, contient donc certaines impuretés qu'elle a enlevées à l'atmosphère en la lavant. L'oxygène de l'air

est plus soluble que l'azote, l'acide carbonique est beaucoup plus soluble que l'oxygène ou l'azote, et l'ammoniaque est bien plus soluble encore que n'importe lequel de ces gaz. Ainsi, dans les conditions normales de température et de pression, 100 volumes d'eau dissolvent 1,48 volume d'azote, 2,99 volumes d'oxygène, 100,2 d'acide carbonique et 78,270 d'ammoniaque. On trouve donc à l'état de dissolution dans l'eau de pluie tous les éléments de l'atmosphère; en outre, d'autres corps, tels que l'acide nitrique, dérivé lui aussi de l'atmosphère, s'y rencontrent fréquemment.

En effet tous les éléments solubles qui existent dans l'air sont absorbés par la pluie. C'est pour cette raison que dans le voisinage des villes où l'atmosphère est impure, l'eau de pluie la nettoie plus ou moins de ses impuretés et, en conséquence, la pluie recueillie dans des districts populeux est moins pure que celle qu'on recueille en rase campagne. En outre la pluie qui tombe au commencement d'une averse est plus souillée que celle qui s'abat en dernier lieu, et la pluie qui tombe après une longue sécheresse est plus impure que celle que l'on recueille vers la fin d'une saison pluvieuse. Mais même après une longue période de temps humide, la pluie contient encore des gaz de l'atmosphère jusqu'à concurrence de près de 2<sup>cmc</sup>,5 pour 100 centimètres cubes d'eau.

Quand la pluie a atteint la surface de la terre, elle commence immédiatement à attaquer les roches sur lesquelles le hasard la fait tomber. Elle les dissout plus ou moins, selon que le sol contient plus ou moins de matière meuble. Mais, quelle que soit la nature du terrain, il y en aura toujours quelque partie dissoute. Chaque fontaine, chaque ruisseau, chaque ruisselet, dérobe quelques-uns de ses éléments solubles à la roche sur laquelle il coule et les entraîne au fleuve avec son flot. Le fleuve devient

donc le réceptacle commun de toutes les matières solubles apportées par ses tributaires. A mesure qu'il s'avance, il s'enrichit de plus en plus de ces éléments solubles qu'il retire en partie de l'érosion de son propre lit et en partie de celle de ses rives. Mais ce n'est pas en coulant simplement au-dessus de la surface du sol que le fleuve et ses affluents latéraux recrutent leur contingent le plus important d'impuretés solubles; ils en doivent probablement bien plus aux sources qui alimentent principalement les courants. L'eau de source est en effet beaucoup plus riche que l'eau de rivière en éléments solubles de cette classe. Et il est aisé de voir pourquoi.

Pour former une source, il faut que l'eau de pluie s'enfonce à une profondeur plus ou moins grande dans le sol. Durant son voyage souterrain, elle exerce son action dissolvante sur les roches environnantes. Dans certains cas, l'eau pénètre à de grandes profondeurs, traversant des passages longs et tortueux; dans ces conditions, la seule prévision possible, c'est que, quand elle reparaitra à la surface, elle devra être fortement chargée d'éléments solubles. Elle peut, sous la pression, à de grandes profondeurs, absorber des volumes considérables de gaz, tels que l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré, ou bien dissoudre des matières salines de différentes sortes et acquérir ainsi des propriétés spéciales qui lui confèrent une valeur médicinale.

L'analyse de l'eau de la source de la Vanne, affluent de l'Yonne, dont les sources captées pour l'alimentation de Paris sont parmi les plus pures du bassin de la Seine, montre qu'elle contient 0<sup>gr</sup>.2253 d'impuretés solides par litre. Le plus notable des éléments minéraux qui affectent la qualité des sources dans le bassin de la Seine, est le carbonate de chaux.

Une grande portion du cours du fleuve s'étend même

à travers un terrain calcaire. Dans la partie supérieure du bassin, ce sont les calcaires des formations oolithiques qui fournissent la plupart des sources. Tous les calcaires, depuis la craie la plus tendre jusqu'au marbre le plus dur, sont constitués essentiellement par le carbonate de chaux; et comme ce composé est légèrement soluble dans l'eau, les sources et les courants d'eau des terrains calcaires le contiennent toujours en dissolution. Il est vrai, la proportion de carbonate de chaux dissoute par l'eau *pure* est extrêmement médiocre; on n'en trouve pas plus de 18 à 20 centigrammes dans un litre d'eau, si l'eau n'est pas incrustante. Mais quand l'eau est chargée d'acide carbonique, elle dissout facilement le carbonate de chaux, et, comme ce gaz se rencontre dans la plupart des eaux de sources, on comprend aisément comment ces eaux peuvent exercer une action si puissante sur les roches calcaires. On a vu que l'acide carbonique est dissous et enlevé à l'atmosphère par l'eau de pluie; toute pièce d'eau exposée à l'air doit l'absorber d'une manière analogue. Voilà pourquoi toutes les eaux naturelles peuvent dissoudre le carbonate de chaux avec plus ou moins de facilité et ronger ainsi les roches calcaires à travers lesquelles elles s'écoulent.

Quand on emploie ces eaux calcaires pour les usages domestiques, on trouve qu'elles précipitent le savon et on les appelle, pour cette raison, *eaux dures*. Une partie du savon est perdue parce que ses acides gras forment avec la chaux des sels insolubles. Aussi longtemps donc que cette précipitation se continue, le savon se consomme inutilement et on ne peut arriver à le faire mousser. Il est évidemment utile d'avoir un moyen de comparer la dureté relative d'eaux différentes. Dans ce but, MM. Boutron et Bondet ont imaginé une échelle dans laquelle chaque degré, dit degré hydrotimétrique, indique qu'un mètre cube d'eau renferme des sels terreux (carbonates

et sulfates) en proportion suffisante pour neutraliser un hectogramme de savon ordinaire. D'après cette échelle, l'eau de Grenelle, dont le titre est de 9°,50 à 12°, neutralise par mètre cube à peu près un kilogramme de savon; l'eau de Seine, qui marque de 18° à 20°, deux kilogrammes; l'eau d'Ourcq, qui donne de 30° à 34°, trois kilogrammes; l'eau d'Arcueil, qui marque près de 40°, de 3 kilog. 50 à 4 kilogrammes. Il est possible d'améliorer la condition de ces eaux dures par une méthode aisée de correction due au savant anglais Clarke. Ce procédé consiste simplement à additionner d'eau de chaux l'eau dont il s'agit de corriger la dureté; la chaux se combine avec l'excès d'acide carbonique pour former un carbonate de chaux à peu près insoluble, qui se précipite en compagnie du carbonate de chaux primitif rendu lui-même insoluble par le dégagement de l'acide carbonique qui le maintenait à l'état de dissolution. Une eau est incrustante, c'est-à-dire qu'elle se dépouille d'une partie de son carbonate de chaux, lorsque son titre hydrotimétrique est supérieur à 20°. Mais dans ce cas on peut diminuer la propriété incrustante des eaux, « soit en s'opposant au dégagement de l'acide carbonique qu'elles contiennent, par exemple, en les emprisonnant dans une conduite forcée à leur sortie de la source, soit, au contraire, en déterminant, par l'agitation de l'eau, le dégagement de l'excès d'acide carbonique, et, par suite, la formation complète des dépôts en des points où ils ont peu d'inconvénients<sup>1</sup>. » C'est ainsi que M. Belgrand, mettant à profit la chute de l'aqueduc d'Arcueil, plaça au-dessous

1. Belgrand, *la Seine*, tome I<sup>er</sup>, p. 149. — On n'est pas d'ailleurs d'accord sur les effets de la présence du carbonate de chaux dans les eaux potables. On est porté en France à juger qu'une petite quantité de carbonate de chaux est indispensable pour donner une bonne eau potable, tandis qu'on considère en Angleterre que les eaux les moins chargées sont toujours les meilleures.

de cette chute un grand récipient en tôle criblé de petits trous. L'eau, en passant par ces ouvertures étroites, se réduisait en poussière fine, et au bout de quatre mois, on constata que, par suite de cette agitation artificielle, « des brins de balai placés là à dessein étaient entièrement pétrifiés, c'est-à-dire enveloppés de carbonate de chaux. »

On appelle dureté *temporaire* des eaux la dureté qui est ainsi susceptible de correction, pour la distinguer de celle qu'on ne peut faire disparaître par le traitement à la chaux, et qu'on nomme en conséquence dureté *permanente*. Cette dureté permanente est due à la présence de sulfate de chaux. On peut donc dire que l'eau de l'aqueduc d'Arcueil (vallée de Bièvre) a une dureté de 38° dont 16° environ représentent la dureté permanente et 22° la dureté temporaire. Les eaux des terrains gypsifères qui s'étendent entre Meulan et Château-Thierry et auxquelles est emprunté l'exemple précédent renferment donc des sulfates en proportions considérables; aussi sont-elles impropres aux usages domestiques. Le sulfate de chaux se trouve en cristaux dans la nature, et il est quelquefois désigné par les minéralogistes sous le nom assez fantaisiste de *sélénite*<sup>1</sup>; de là l'appellation d'*eaux séléniteuses* donnée aux eaux qui contiennent beaucoup de sulfate de chaux. Quand on décrit une eau simplement comme *calcaire*, on suppose en général que le sel particulier de chaux qu'elle renferme en dissolution est le carbonate.

Les eaux qui traversent des terrains calcaires sont généralement chargées de ce sel; et souvent elles le sont tellement que si l'eau est exposée à l'air, le carbonate de chaux se dépose spontanément sous une forme solide. Les sources de ce genre sont appelées vulgairement *sources pétrifiantes*. Mais « pétrifier » signifie littérale-

1. *Sélénite*, de σελήνη, la lune.

ment changer en pierre; il faut donc bien entendre, ainsi que nous l'avons vu plus haut, que tout ce que peuvent faire ces sources, c'est de recouvrir simplement les objets plongés dans leurs eaux d'une croûte de carbonate de chaux, et non pas les convertir réellement en matière minérale. Ainsi, à Clermont-Ferrand, en Auvergne, les eaux de la fontaine Sainte-Allyre déposent leur carbo-

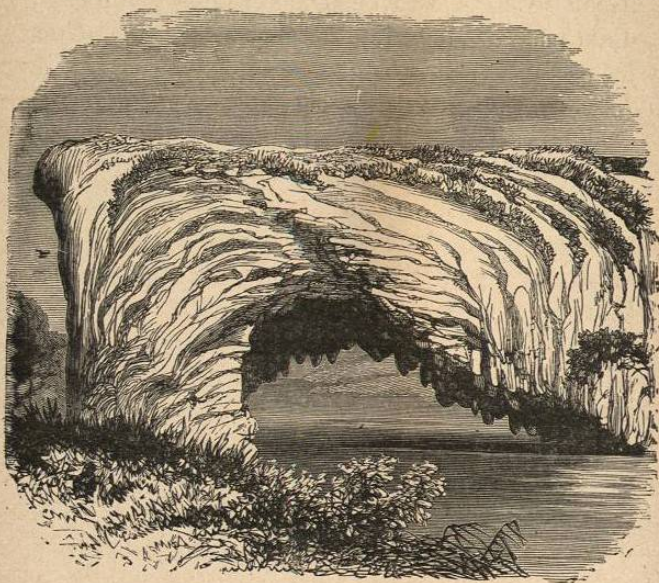


FIG. 32. — Pont de travertin à Clermont (Puy-de-Dôme.)

nate de chaux, après avoir traversé une fine ramée qui les divise en gouttelettes et favorise l'élimination de l'acide carbonique; divers objets exposés à leur action se revêtent d'une couche pierreuse, et c'est ainsi qu'on produit les nids d'oiseaux et autres curiosités réputées pétrifiées. Les sources calcaires forment souvent d'épais dépôts de carbonate de chaux à l'endroit où elles jaillissent. La figure 32 représente un pont naturel de carbonate de

chaux, formé par l'eau calcaire à Clermont, en Auvergne, tel que l'a décrit, il y a un certain nombre d'années, M. Poulett Scrope<sup>1</sup>. On y voit que l'eau s'est formé à elle-même un aqueduc de 72 mètres de longueur qui se termine par une arche, dont la largeur mesure celle du courant par où l'eau s'écoulait jadis. Toute cette masse solide doit avoir existé primitivement, à l'état de dissolution invisible, dans l'eau de la source. On donne d'ordinaire à ces dépôts de carbonate de chaux le nom de *travertin*; on le suppose dérivé du vieux nom *Lapis Tiburtinus* qu'on appliquait jadis à cette pierre, parce que les eaux calcaires de la rivière l'Anio en formaient de vastes dépôts à Tivoli, l'ancien Tibur, près de Rome. Aux chutes de l'Anio, le travertin a formé, couche sur couche, un lit d'une épaisseur de 120 à 150 mètres.

Par suite de la facilité relative avec laquelle le calcaire cède à l'action dissolvante des eaux chargées de gaz acide carbonique en dissolution, cette roche est souvent creusée par l'eau en grottes et en cavernes. Quand l'eau calcaire est arrivée à la voûte d'une caverne, elle dépose lentement sa charge de carbonate de chaux, ou tout au moins une partie de cette charge, sous une forme solide, et si cette action se continue longtemps, elle finit par produire un corps conique ou cylindrique suspendu à la voûte rocheuse à la façon d'un petit glaçon. On appelle *stalactites*<sup>2</sup> ces sortes de tiges pendantes. De la pointe de la stalactite, l'eau dégoutte lentement sur le sol, et comme cette eau contient probablement du carbonate de chaux, il se forme un autre dépôt calcaire, présentant l'apparence d'une petite masse conique tassée sur le sol; on appelle ce dépôt *stalagmite*<sup>3</sup>, pour le distinguer de la stalac-

1. *The Geology and Extinct Volcanoes of Central France*, par G. Poulett Scrope. 2<sup>e</sup> édition, p. 22, 1858.

2. *Stalactite*, de σταλάσσω, dégoutter.

3. *Stalagmite*, de στάλαγμα, goutte.