

# RAPPORTS ENTRE LES EAUX THERMO-MINÉRALES

ET LES TERRAINS GÉOLOGIQUES (1)

PAR

M. le Docteur **Garrigou.**

Médecin consultant aux Eaux de Bagnères-de-Luchon.

Il est impossible, dans un simple résumé comme celui qu'on a bien voulu nous demander, de se livrer à une discussion des faits qui peuvent servir de base à une théorie rationnelle et scientifique, relative aux rapports qui nous paraissent exister entre les eaux thermo-minérales et les divers terrains, problème qui englobe celui de la formation des eaux minérales. Nous avons dû, pour atteindre le but proposé, nous appuyer, en général, sur des faits acquis à la science et, dans certains cas, nous en rapporter à des résultats d'observations encore incomplètes, mais que le bon sens abrite sous son manteau.

On sait que le globe terrestre a subi, suivant la loi commune à tous les astres de la création, une série de transformations qui l'ont fait passer successivement de l'état de vapeur à l'état liquide, puis enfin à l'état solide. Jusqu'au moment où il a atteint cette dernière phase de son existence, l'eau n'existait encore ni sous la forme du composé dont la formule chimique est  $H^2O$ , ni, à plus forte raison, sous aucune des formes que nous lui connaissons dans la nature actuelle. Ce ne fut qu'après un refroidissement suffisant de l'atmosphère encore riche en métaux, et par suite de la cessation du rayonnement des substances en fusion ignée après la formation d'une croûte solide et obscure, que le composé  $H^2O$  put se produire, se maintenir et acquérir les propriétés physiques et chimiques auxquelles il dut le rôle prépondérant dans la formation des dépôts terrestres successifs qui emprisonnèrent à jamais, à la façon d'un œuf dans la coque, le germe initial et toujours vivant de notre sphère terrestre.

Dissolvant les premières concrétions de la masse métallique liquide, opérant des métamorphoses chimiques dont nos laboratoires ne sauraient nous donner une idée, l'eau, soit par voie de dépôt mécanique, soit par voie de dépôt chimique, commença donc à produire des couches solides dans lesquelles se trouvaient réunis d'une manière plus

(1) Extrait, avec l'autorisation de l'auteur, des Documents préliminaires du *Congrès international d'Hydrologie et de Climatologie*. Session de Paris, 1889.

ou moins homogène les premiers métaux condensés. A mesure que s'abaissaient la température du sol et celle de l'atmosphère, les métaux les plus volatils tendirent de plus en plus à devenir fixes et se mélangèrent également, soit en nature, soit à l'état de combinaisons salines, aux dépôts des âges primitifs. A leur tour, les éléments de la vie se manifestèrent, et les mers ainsi que les grands lacs laissèrent déposer, avec les argiles, les grès et les calcaires, les débris des premiers organismes et des premiers végétaux qui vinrent compléter l'évolution de la matière naguère encore volatilisée dans le vide de l'univers.

Avec le temps, ces dépôts devinrent de plus en plus épais, et finirent par constituer la croûte terrestre, de plus en plus chaude dans ses profondeurs, et dont la surface refroidie servit de déversoir aux eaux thermo-minérales que nous avons à étudier. Les divers éléments constituant cette croûte nous apparaissent tantôt horizontaux, tantôt plissés et disloqués. Les premiers sont encore dans la position où ils ont été déposés au sein des eaux. Les autres portent l'empreinte des dislocations qu'ils ont subies depuis leur formation. Les plus anciens d'âge sont ceux qui sont au-dessous des autres, c'est-à-dire sur lesquels les autres reposent. Les espèces animales et végétales fossiles qu'ils contiennent servent à les classer.

Les amas stratifiés constituant les terrains sont formés d'éléments rocheux, dont il nous est indispensable, au point de vue hydro-thermal, de connaître la constitution et les propriétés physiques.

Ces roches sont les unes perméables (gravier, sables, grès, calcaire, laves, basaltes, trachytes, scories, ponces, tufs, conglomérats, tourbe), les autres imperméables ou peu perméables (argiles, marnes, roches granitiques, gneiss, roches métamorphiques, roches talqueuses, calcaires compactes et dolomitiques).

Dans les révolutions géologiques qui ont atteint l'écorce terrestre, ces roches ont subi des dislocations spéciales qu'il nous est utile de mentionner :

1<sup>o</sup> Le retrait résultant du refroidissement de ces masses plus ou moins chaudes et des dépôts rocheux émergés du sein des eaux les ont fait fendiller en tous sens, en produisant des fissures, qu'avec M. Daubrée et les auteurs modernes, nous nommerons *lithoclases* ;

2<sup>o</sup> Sous l'influence d'actions mécaniques qui ont agi sur les couches depuis leur consolidation complète, il s'est produit de nombreuses fractures parallèles, entamant soit horizontalement, soit surtout verticalement, sur des étendues considérables, tous les dépôts existants. Ces fractures débitent les couches atteintes en forme de polyèdres. Ce sont les *diaclasses* ;

3° Les *paraclases* enfin, ou failles, ont des formes qui se rapprochent beaucoup de celles des *diaclasses*, mais elles sont souvent courbes ou infléchies. Elles ont des dimensions horizontales très grandes, et leurs rejets peuvent être indéfinis en profondeur.

Ainsi préparée, dès le début de son existence, par la nature plus ou moins perméable des roches qui la constituent, et par les fissures et fractures qui la fragmentent ou la traversent, la croûte terrestre a permis à l'eau de jouer le rôle immense qui lui est dévolu dans le mouvement de composition et de décomposition dont le cycle ne prendra fin qu'au moment où cette eau, ainsi que l'air qui entoure notre sphère, auront été complètement absorbés par les éléments pierreux et métalliques auxquels tout ce qui vit doit un jour partiellement revenir.

Cette propriété du sphéroïde terrestre d'être un corps absorbant des gaz de l'atmosphère et de l'eau, et qui commença dès le début de la formation de la croûte solide dont il est recouvert, a été de tout temps la cause efficiente de la production des eaux minérales. L'étude des filons métallifères a prouvé, depuis déjà bien des années, que le remplissage des grandes poches, des lithoclasses, des *diaclasses* et des *paraclases*, desquelles le mineur extrait les minerais divers, est dû à l'action lente et constante des eaux minérales, d'âges géologiques différents.

Telles sont les grandes données scientifiques que nous devons avoir sans cesse sous les yeux pour essayer de nous faire une idée aussi juste que possible de la formation des eaux minérales, et de leurs allures.

Prenons l'eau qui, sous forme de pluie, tombe à la surface de la terre, et suivons-la dans son long trajet à travers l'écorce terrestre, avant qu'elle nous revienne plus ou moins chargée de substances salines et plus ou moins chaude.

L'eau de l'atmosphère est froide et presque pure, elle contient cependant de l'ammoniaque, des nitrates, de l'acide carbonique, quelques matières organiques. Arrivée à la surface du sol, elle glisse en partie et forme les ruisseaux et les fleuves, ou bien elle imbibe ce sol qui l'absorbe d'une manière plus ou moins rapide. Celle qui tombe dans une plaine formée par des cailloux roulés et du sable, disparaît presque instantanément, arrive jusque dans le sous-sol imperméable, et y constitue un fleuve souterrain qui fournit la nappe d'eau *phréatique* (celle qui alimente les puits). Ce fleuve s'écoule vers la mer, comme le fleuve superficiel. L'eau qui tombe sur un sol rocheux est absorbée d'autant plus vite que les roches sont plus fendillées et cassées, et qu'elles sont perméables. Elle descend dans les profondeurs,

soit par capillarité, soit par l'effet de la pesanteur. Lorsqu'elle trouve des cavernes, elle s'y accumule jusqu'au moment où un point d'écoulement lui permet de poursuivre son trajet. Si des couches imperméables se trouvent sur son chemin, elle en suit les ondulations et peut alors, par suite d'une simple différence de niveau entre le point de départ et le point de sortie, revenir à la surface du sol, ou bien elle se perd dans les couches inconnues où elle s'accumule, pour produire à la longue des phénomènes d'un ordre mécanique qui se rattachent à l'étude des volcans.

En descendant assez profondément dans l'épaisseur de la croûte terrestre, l'eau de la surface peut revenir chaude, car on sait que, dans les points du globe dépourvus d'éruptions de roches ignées, la température augmente régulièrement pendant un certain espace, 1 degré chaque 30 mètres. Il arrive même que la température acquise atteigne plus de 100° et que l'eau nous revienne bouillante (Aedepse en Grèce; Yung-Mak, près Makao, en Chine; Thousand Springs valley, Nevada, États-Unis; île du lac Monod, Californie; Savu-Savu, îles Fidji, etc.). Dans les canaux d'ascension des geysers, l'eau atteint même la température de 127°.

Dans le voisinage des roches franchement éruptives, la température acquise en profondeur ne suit plus la loi que nous venons de signaler. Elle paraît monter avec une rapidité d'autant plus grande que ces roches sont d'un âge géologique plus récent.

Comment peut s'opérer le retour de ces eaux si chaudes et si abondantes, lorsqu'elles n'ont pas la possibilité de remonter à la surface par simple différence de niveau? Nous devons nous arrêter un instant sur l'explication de ce problème.

L'eau qui imbibe les roches est sollicitée, nous l'avons déjà dit, par la pesanteur et par la capillarité. Arrivée dans les vides ou dans les cavernes qui existent dans les terrains les plus inférieurs, dont la température dépasse 100°, cette eau se surchauffe, passe à l'état de vapeur sous des pressions probablement énormes. La vapeur exerce son action expansive à la surface de la masse liquide qui la fournit, et en même temps elle tend à repousser l'eau qui arrive sans cesse de la surface. La hauteur de colonne que forme cette dernière, jointe à la résistance produite par la capillarité, fait bientôt équilibre à la pression de la vapeur. Si des paraclases n'ont pas formé des voies de retour à l'eau ainsi surchauffée et comprimée, les choses peuvent rester en l'état pendant des siècles, tant que des causes inconnues n'auront pas fait changer la force de résistance des parois de ces cavernes et l'équilibre de température. Les eaux d'alimentation suivent alors une autre voie d'écoulement.

Mais si des paraclases, entamant la croûte terrestre depuis sa surface jusque dans ses couches les plus profondes, forment au voisinage de l'eau comprimée des failles ouvertes, cette eau doit forcément s'y précipiter et remonter dans l'épaisseur de la croûte terrestre jusqu'à un niveau suffisant, qui permette à la colonne soulevée de faire équilibre à la force expansive de la vapeur. Si le niveau de cette colonne dépasse la surface du sol, l'eau, plus ou moins chaude, d'après l'espace parcouru et d'après la conductibilité des roches encaissantes, s'écoulera sous forme de source. Si ce niveau n'atteint pas la surface, l'eau chaude se maintiendra au point voulu, et s'écoulera à travers l'écorce terrestre jusque dans le grand déversoir commun de la terre, l'Océan ou toute autre mer.

Disons-le sans tarder, c'est sur cette connaissance de la marche ascensionnelle des eaux thermo-minérales, que sont basés les problèmes du captage et de l'augmentation du débit d'un très grand nombre de sources.

La direction des grandes fractures dont les ouvertures plus ou moins béantes servent d'issue aux eaux minérales, ne saurait être négligée dans une étude comme celle que nous résumons. On peut voir, en reliant entre elles les paraclases qui régissent le système hydrographique d'une région, combien le réseau ainsi formé est curieux et instructif. On démontre, en effet, par un semblable travail fait sur la carte géologique d'une région aquifère, combien sont intimes les liens stratigraphiques qui unissent entre elles non seulement les sources de même nature chimique, mais aussi des sources de composition différente.

Il nous paraît indispensable de dire quelques mots sur l'appoint que la chimie fournit à nos connaissances hydrologiques.

Si, bornant le rôle de l'eau à celui de simple dissolvant, nous suivons la marche de sa composition à mesure qu'elle s'écoule sur des couches froides du globe terrestre, nous voyons que, presque pure au moment où elle atteint la surface du sol, elle y dissout insensiblement des substances en rapport avec la nature des terrains sur lesquels elle glisse. Ainsi l'eau qui s'écoule sur les granits leur enlève de la silice et des silicates alcalins, en même temps que des matières organiques, en quantités variables. Arrivant sur des terrains calcaires et sulfatés, cette eau, primitivement siliceuse, se charge plus ou moins, soit de carbonate, soit de sulfate de chaux et de magnésie, et la quantité des matières organiques augmente sensiblement. L'analyse de l'eau de l'Ariège, par exemple, faite sur divers points de son parcours, nous a donné un semblable résultat.

L'eau de source des régions granitiques est quelquefois tellement

pure et pauvre en résidu salin, qu'elle peut, même après avoir traversé des centaines de mètres de la roche, servir comme eau distillée. Il n'en est plus de même des eaux de source des régions calcaires; elles contiennent quelquefois, à la dose de plusieurs décigrammes, du bicarbonate de chaux, des sulfates et des quantités appréciables de chlorures alcalins, après avoir traversé un massif jurassique ou crétacé.

Il est donc certain que l'eau froide elle-même acquiert promptement des qualités minérales, en s'écoulant à travers certains terrains dont la température moyenne varie de 0° à 10° ou 12°.

On peut donc comprendre sans difficulté que les faits dont nous constatons si facilement l'existence à la surface du sol, par rapport au rôle de dissolvant joué par l'eau de la pluie, doivent à plus forte raison se passer, même à froid, à l'intérieur du globe, cette eau restant en contact prolongé avec des roches dont les lithoclastes et le craquellement multiplient les surfaces soumises à cette action dissolvante, augmentée elle-même par la présence de certains gaz venus de l'atmosphère et entraînés par l'eau.

Dans les profondeurs terrestres, dont la température devient de plus en plus élevée, l'action dissolvante de l'eau ne peut que gagner, dans la majeure partie des cas, car nos expériences de laboratoire nous apprennent que les corps les plus insolubles ne le sont jamais d'une manière complète, et que la chaleur favorise la dissolution de certains d'entre eux.

C'est ainsi que l'eau peut dissoudre, en même temps que les alcalis, les terres alcalines, les acides divers et les nombreux métaux qui, en dehors des filons, entrent, ainsi que l'a prouvé le regretté professeur Dieulafait, dans la composition intime des roches. La pauvreté ou la richesse en métaux du milieu imprégné par l'eau rendra cette eau pauvre ou riche au point de vue métallifère.

La matière organique et même organisée abonde dans les roches diverses, surtout dans les roches calcaires, ainsi que l'a démontré Béchamp en mettant au jour les propriétés de ferment que possède cette matière soluble dans l'eau. Elle joue dans les eaux minérales un rôle des plus importants, au point de vue de l'action vitale. Ces éléments organiques et organisés deviennent, au-dessous de 100°, les agents efficients de certaines réactions chimiques qui président à la transformation de plusieurs corps (soufre, azote, sulfates, nitrates, etc.), ainsi que l'ont montré Boussingault, Dehérain, Gayon, Planchud, Miquel, Olivier, Certes, nous-même, etc., et surtout de Rey Pailhade, l'un des plus savants et des plus judicieux observateurs que possède la science provinciale.

Portée à une température supérieure à 100°, l'eau et sa vapeur produisent sur les roches des phénomènes qu'on a pu fixer par les études synthétiques modernes auxquelles se rattachent les noms de de Sénarmont, Ebelmen, Sainte-Claire Deville, Daubrée, etc. Par leurs travaux, ces savants ont fait voir qu'au-dessus de 100° l'eau joue dans l'intérieur du globe un rôle de dissolvant et de transformateur des roches, plus considérable encore que le feu central. Il y a plusieurs motifs pour cela, nous ne pouvons les énumérer ici. Contentons-nous de dire que la simple vapeur d'eau surchauffée a la propriété d'attaquer les roches silicatées, de les dissoudre, et de donner naissance, en présence même de petites quantités de sulfates, à des produits sulfurés. Dans les profondeurs de la croûte terrestre, à des températures et sous des pressions dont il nous est difficile de nous faire une idée exacte, mais dépassant des milliers d'atmosphères et des centaines de degrés, certains sels facilement décomposables, même un peu au-dessous de 100° (chlorures et nitrates), se décomposent en mettant leur acide en liberté. Il est facile de comprendre dès ce moment quelle doit être la vigueur de l'action altérante de la vapeur d'eau chargée de vapeur d'eau régale, elle-même surchauffée, oxydant tout à ses points de contact, pouvant, dans certains cas, transformer le soufre naissant en acide sulfurique, ce grand générateur des décompositions chimiques les plus actives et des composés les plus fixes. Les récentes recherches faites par M. A. Gautier, au sujet de l'action probable du sulfure de carbone sur les roches, à des profondeurs considérables, sont sur le point de nous révéler la véritable théorie de la formation des eaux sulfurées.

La chimie de ce grand laboratoire souterrain ne doit ressembler en rien à celle de nos laboratoires les mieux outillés. Et les dernières découvertes de M. Cailletet, qui permettent aujourd'hui de faire la chimie sous pression et à des températures de plusieurs milliers de degrés, nous portent à penser que la chimie hydrologique est, au point de vue de l'analyse, encore plus éloignée de la vérité, que l'étude de la formation artificielle des roches ne l'est de la minéralogie naturelle.

C'est pour cela que rien ne doit être négligé pour perfectionner l'étude complète des eaux minérales, surtout leur étude chimique et biologique.

Les matières organiques dissoutes par les eaux descendantes, de même que celles contenues dans les roches, principalement dans les roches calcaires, ne peuvent, dans les conditions variées de température et de pression où elles se trouvent dans les couches profondes du globe, rester intactes et uniformes dans leur composition: Il se produit là, forcément, des distillations organiques donnant naissance à ces com-

posés goudronneux et sulfurés que les eaux dissolvent en partie et ramènent à la surface. Souvent des terrains entiers, à travers lesquels circulent des eaux minérales, sont imprégnés sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur des produits de la distillation de ces matières organiques végétales ou animales. C'est ainsi que nous voyons le terrain crétacé inférieur des Basses-Pyrénées et des Landes absolument imbibé, sur certains points, de goudron et de soufre, que l'industrie a cherché à exploiter, et que les eaux de Bastènes et de Saint-Boès, surtout, nous amènent en quantité relativement considérable.

L'expérience directe nous a prouvé que, du plus au moins, le même phénomène a lieu pour la plupart des sources thermo-minérales. C'est là ce qui nous a conduit à chercher et à trouver dans chacune de celles que nous analysons les substances organiques, goudronneuses, acides ou alcaloïdes, que des dissolvants spéciaux peuvent isoler les unes des autres.

Mais, en dehors de ces produits organiques, soufrés et goudronneux dus à la distillation sous pression, et à une température élevée, des matières animales végétales, les micro-organismes existant dans les roches, et ceux portés par les eaux venus de la surface, produisent à leur tour, par leur propre vie, une série de décompositions dont les résultats constituent des sortes de ptomaines sur lesquelles agissent les dissolvants spéciaux, mais qu'il ne nous a pas encore été possible de distinguer des substances issues du goudron et isolées par l'alcool, l'éther, la benzine, le chloroforme, etc. Tout un monde de recherches nouvelles est ouvert, dans cette voie, aux savants désireux de suivre dans l'intimité de leur composition vitale ces admirables produits de la nature qui permettront avec le temps, au médecin hydrologue consciencieux, d'utiliser des ressources précieuses qu'on néglige aujourd'hui, et qui, nous commençons à en avoir la certitude expérimentale, jouent un rôle des plus actifs dans la thérapeutique thermale.

C'est ainsi constituées, minéralogiquement et organiquement, que les sources thermo-minérales ont, à toutes les époques géologiques, gagné les profondeurs du sol, puis sa surface, en remontant le long des paraclasses qui ont entamé toute l'épaisseur de la croûte terrestre. A mesure qu'elles échappent aux lois chimiques, physiques et biologiques régissant les actes de la nature dans les profondeurs du globe, elles déposent les substances qu'elles y avaient dissoutes, elles forment encore à notre époque les filons et les amas métallifères que l'industrie utilise, et empruntent sans cesse à la terre les éléments de réparation vitale que l'homme, même le plus sauvage, a su de tout temps mettre à profit.

Nous aurions beaucoup à dire sur les expériences synthétiques que

nous avons entreprises pour régénérer les eaux thermo-minérales affaiblies par un long séjour dans des vases fermés, et pour la formation de toutes pièces de diverses classes d'eaux. Les limites de ce travail ne nous permettent pas de développer ici ce nouveau genre d'étude. Nous devons nous contenter de jeter un coup d'œil comparatif sur les rapports de composition qui existent entre les terrains qu'elles traversent et la nature des composés chimiques dominant dans chaque source.

Les eaux sulfurées chaudes et froides (monosulfurées et sulfhydriquées), à base de sodium surtout, et quelquefois à base de calcium, émergent principalement des terrains granitiques et des terrains de transition, dans lesquels elles paraissent bien prendre naissance, et rarement des terrains secondaires.

Les eaux sulfurées calciques, sulfhydriquées naissent toujours en dehors des terrains granitiques.

Les eaux chlorurées faibles proviennent quelquefois du granit, généralement des terrains de transition et des terrains tertiaires et quaternaires. Les terrains secondaires (trias principalement) constituent le milieu de prédilection des eaux chlorurées fortes, qui sont chaudes ou froides.

Les eaux carbonatées existent à tous les niveaux géologiques, et les bicarbonatées alcalines également, même (et l'on pourrait dire surtout) dans les terrains granitiques. Elles avoisinent les volcans actifs et éteints.

Les eaux sulfatées alcalines proviennent généralement des terrains granitiques et de transition. Les sulfatées calciques abondent dans les terrains secondaires (trias et jurassique principalement) et sont fréquentes dans les terrains tertiaires et quaternaires.

A tous les niveaux se trouvent les eaux ferrugineuses, soit faibles, soit fortes. Les eaux ferrugineuses bicarbonatées abondent au voisinage des volcans; les eaux ferrugineuses sulfatées semblent être spéciales à certains schistes de transition; les eaux crénatées, aux terrains récents. Il y en a de chaudes et de froides.

Les eaux nitratées, très rares dans les terrains granitiques, sont surtout abondantes dans les terrains récents. On peut dire que toutes les eaux phréatiques (alimentant les puits) sont plus ou moins nitratées.

Toutes ces eaux sont *ascendantes* (ou filoniennes), ou *descendantes*, c'est-à-dire se produisant à la surface du globe.