

l'état de protoxide dissout dans un excès d'acide carbonique, comme dans celles de Bussang (Vosges), de Contrexville, de Forges (Seine-Inférieure), de Provins (Seine-et-Marne), de Spa (pays de Liège), ou à l'état de sulfate, comme celles de Passy, de Pymont (Hannovre), de Cranzac (Aveyron), etc.

Eaux hydro-sulfureuses ou hydro-sulfatées. Rarement l'hydrogène sulfuré y est libre; presque toujours il est combiné à la soude, comme aux sources d'Aix-la-Chapelle (Prusse), de Bagnères-de-Luchon (Haute-Garonne), de Barrèges (Hautes-Pyrénées), de Bonnes (Basses-Pyrénées), de Cauterets (Hautes-Pyrénées), de Bagnols (Lozère), etc.

CHAPITRE DIX-NEUVIÈME.

DE L'ORIGINE DES SOURCES MINÉRALES,

ET

DE CELLE DES MATIÈRES QU'ELLES RENFERMENT.

Nous ne prendrons pas la peine de rappeler les explications plus ou moins singulières qui ont été proposées sur l'origine des eaux minérales. Les observations que nous avons faites sur leur température, celles que nous venons de rapporter sur leur composition, suffisent pour nous faire pressentir qu'elles viennent des profondeurs du globe, et que c'est là qu'elles puisent la chaleur dont elles sont douées. Descartes avait depuis long-temps assigné cette cause à la température élevée de plusieurs d'entr'elles. Cet illustre physicien supposait que les eaux de la mer se rendaient dans des réservoirs situés à de grandes profondeurs, et qu'elles y pénétraient par des fissures du terrain. Là, elles étaient réduites en vapeurs par le feu central, et ces vapeurs, élevées dans l'intérieur du sol, se condensaient en eau contre ses parois, et s'écoulaient par les fentes des roches, comme l'eau distillée coule par le bec d'un alambic.

L'acide carbonique et les matières salines qui accompagnent les eaux minérales, tendent à faire ad-

mettre qu'elles viennent de grandes profondeurs, et qu'elles sont dues à la condensation de vapeurs qui peuvent, dans certaines circonstances, arriver très-près de la surface du sol sans se liquéfier. Les diverses substances qu'elles renferment peuvent avoir été entraînées par la vapeur, puisque nous pouvons produire des phénomènes semblables dans nos laboratoires, comme M. Soubeirus l'a fait remarquer pour l'acide borique, que l'eau entraîne malgré sa fixité. La pression que doit éprouver la vapeur dans ces conduits souterrains, peut lui donner des propriétés qui nous sont à peine connues, et il est très-probable que les substances que contiennent les eaux minérales viennent de l'intérieur même du sol, car quelques soient les terrains qu'elles traversent pour arriver à sa surface, on n'a jamais remarqué qu'ils puissent modifier ou produire les substances qui sont contenues dans ces eaux.

Les volcans peuvent avoir une certaine influence sur les eaux thermales, et l'on remarque même quelques sources dont l'origine se rattache tout-à-fait à ce genre de phénomène, qui du reste est aussi lui-même intimement lié à la chaleur centrale. C'est ce que l'on observe principalement pour les sources qui renferment des acides. Ainsi, le *Rio-Vinagre*, dont les eaux contiennent une quantité très-notable d'acides sulfurique et hydrochlorique, prend naissance à 1,700 toises de hauteur, dans un endroit inaccessible du volcan de Puracé : ses sources sont très-chaudes, et se précipitent en cascades qui tombent à plus de 60 toises de profondeur dans le *Rio-Cauca*. Cette rivière est dépourvue de poisson pendant un cours de quatre lieues, à cause du mélange de ses eaux avec celles du *Rio-Vinagre*. Le volcan de Puracé est un dôme de trachyte semi-vitreux, gris bleuâtre et à cassure conchoïde ; il n'offre pas un grand cra-

tère à son sommet, mais plusieurs petites ouvertures ; la bouche du volcan de Puracé est une fente verticale, dont l'ouverture visible n'a que 6 pieds de long et 3 de large ; elle est recouverte, en forme de voûte, par une couche de soufre très-pur, qui a 18 pouces d'épaisseur : le bruit qu'on entend près de cette ouverture ne peut être comparé qu'à celui que causeraient plusieurs machines à feu, au moment où l'on ferait échapper la vapeur condensée. L'ouverture communique à un bassin rempli d'eau en ébullition ; cette eau n'a pas de goût acide, mais elle exhale une forte odeur d'hydrogène sulfuré, et elle contient de l'acide muriatique. Les vapeurs qui sortent avec violence de la crevasse, sont de l'acide sulfureux ; il est probable que le soufre qui s'amasse sur les bords de cette crevasse, est produit par la réaction de l'acide sulfureux et de l'hydrogène sulfuré (1).

M. Robert a retrouvé en Islande un phénomène presque semblable.

« Après avoir traversé des coulées de laves d'une étendue considérable, nous atteignîmes les soufrières de Brisark, qu'on pourrait aussi bien nommer solfatares ; c'est à la lettre une montagne de soufre croissant continuellement, située entre des terrains balsatiques qui portent les traces du plus grand bouleversement ; cette contrée a vraiment un aspect de désolation : le sol brûlant sur lequel on marche dégage beaucoup d'acide

(1) Analyse de l'eau de Rio-Vinagre dans les Andes de Popayan, par M. de Rivero, avec des Éclaircissemens géognostiques et physiques sur quelques phénomènes que présentent le soufre, l'hydrogène et l'eau dans les volcans, par M. de Humboldt. (*Annales de Chimie*, t. XXVII, p. 113.)

sulfureux; les eaux chaudes qui en sortent contiennent, d'après les expériences que nous avons pu faire sur les lieux, de l'acide sulfurique libre; du gypse se forme au moyen de tous ces élémens (1). »

Il paraîtrait cependant que l'acide sulfurique libre pourrait exister dans des eaux thermales éloignées des montagnes ignivomes; car, à en juger par le sulfate acide de chaux qui se forme sur les parois des chambres ou cabinets dans lesquels pénètrent les vapeurs des eaux d'Aix, en Savoie, il semblerait que ces vapeurs contiennent de l'acide sulfurique libre, ainsi que l'ont avancé MM. Gimbernat, Murray et Michelotte. Mais M. Francœur (2) suppose que cet acide se forme au contact des parois qui contiennent des bases salifiables par l'action de l'air sur le soufre de l'hydrogène sulfuré. Il se passerait alors un phénomène chimique analogue à celui de la nitrification.

L'acide borique dont nous avons indiqué la présence à Vulcano et dans les lagonis, vient évidemment de l'intérieur du sol; mais à Vulcano, les parois de la crevasse où il se forme en sont entièrement couverts, et dans quelques endroits les couches ont plusieurs pouces d'épaisseur. Dans la situation où il se trouve, il ne peut avoir été formé que par sublimation, à la faveur des vapeurs aqueuses.

Celui des lagonis a la même origine, mais sa production n'est pas régulière; car Hoëfer, chimiste toscan, trouva qu'un litre d'eau recueillie en novembre 1777, dans un des lagonis de Monte-Rotundo, contenait environ 72 grains d'acide borique, tandis qu'une

(1) ROBERT, Voyage en Islande. *Institut*, 4^e année, p. 126.

(2) *Journal de Pharmacie*, 1828, p. 540.

égale quantité d'eau prise dans le même endroit, au mois de mai suivant, en renfermait une proportion à peu près double. M. Larderel, qui s'est beaucoup occupé de ces lagonis, soupçonne que l'acide borique peut se former continuellement dans le sein de la terre, par la combustion continue du bore.

La commission qui a fait à l'Académie agrario-économique de Florence, le rapport sur son travail, serait à peu près de l'avis de Guerrazzi relativement à la théorie de la formation de cet acide. Il pensait que l'acide borique peut exister dans le sol qui le produit, uni à des bases terreuses, et en être séparé par des réactions chimiques particulières. Il fondait cette opinion sur ce que cet acide n'est pas le seul produit des lagonis: on l'y trouve mêlé à quelques pyrites, à du soufre, des sulfates, de l'acide hydro-sulfurique à l'état de gaz. Le phénomène de sa production serait peut-être plus facilement expliqué par l'existence souterraine de ces pyrites et de l'eau, celle-ci, par son contact avec les sulfates, pouvant être décomposée de manière à faire figurer sous deux aspects un de ses élémens, l'oxigène, de sorte que:

1^o Une portion de cet oxigène se combinerait avec une partie du soufre des pyrites, et formerait de l'acide sulfurique, tandis que l'autre servirait à oxider le fer de ces mêmes pyrites.

2^o L'hydrogène correspondant, par son union avec une autre partie du soufre, donnerait naissance à de l'acide hydrosulfurique, et celui-ci, ne pouvant s'unir à aucune base sous l'influence d'une température aussi élevée, serait entraîné par le courant du *soffione*.

3^o Le sulfate de fer résultant de l'union du soufre acidifié et du fer oxidé par l'oxigène de l'eau, agirait, à l'aide de la chaleur, sur les borates terreux qu'on

suppose exister à l'intérieur du sol, et déterminerait à la fois la production de nouveaux sulfates et l'expulsion de l'acide borique ;

4° Et comme cet acide n'a qu'une faible affinité pour les bases salifiables, il peut, sans s'unir à l'oxide de fer abandonné par l'acide sulfurique, être entraîné par le courant de vapeur dont la température élevée serait le résultat de la décomposition de l'eau et des diverses combinaisons que nous venons d'indiquer.

Bien que cette manière d'envisager les phénomènes des lagonis soit assez d'accord avec les théories admises dans nos laboratoires, il restera toujours difficile d'expliquer comment de pareilles actions rencontrent toujours les mêmes substances et des circonstances assez favorables pour donner, depuis tant d'années, naissance aux mêmes produits et dans les mêmes localités.

Les faits positifs, les conjectures même, manquent pour déterminer à quelle époque géologique appartient la formation des lagonis. Cependant on a fait, depuis quelques années, une remarque qui peut être très-importante pour la science, c'est qu'on voit tous les jours changer la position des soffioni, qui s'élèvent vers le sommet de la montagne. Ceux de Monte-Cerboli se dirigent vers ceux de Castelnuovo, et ces derniers prennent la direction opposée, de sorte qu'ils semblent tendre réciproquement à se rapprocher et à franchir la montagne qui les sépare ; le même foyer paraît leur servir d'aliment. Cette circonstance est importante en ce qu'elle met en droit de conclure que l'éruption des sources chaudes sur le sol de la Maremma appartient à l'époque actuelle, bien que les élémens en soient empruntés à des substances minérales dont la formation remonte à des temps plus anciens.

L'acide carbonique est de tous les acides celui qui se

rencontre le plus fréquemment dans les eaux minérales, et l'on peut expliquer son origine de différentes manières. On peut supposer que des masses calcaires sont soumises à une température élevée, et que l'acide carbonique qui s'en dégage, rencontrant des fissures, les suit, et s'échappe avec violence. On peut également croire que les acides sulfurique ou hydrochlorique, en contact avec ce même carbonate de chaux qui est très-commun dans la nature, le décomposent, le transforment en sulfates et hydrochlorates que l'eau entraîne au dehors en même temps que l'acide carbonique qui s'est formé. Pour admettre l'une ou l'autre de ces explications, il faudrait prouver qu'il existe des calcaires à de grandes profondeurs, ce qui est improbable, car nous voyons l'acide carbonique se dégager en abondance des sources qui s'échappent des roches cristallisées les plus anciennes, telles que le granite et le gneiss, et qui, selon toute apparence, n'ont pas traversé de carbonate de chaux. Il faut donc encore supposer que cet acide vient des profondeurs de la terre. M. Cordier semble admettre cette idée dans son beau travail sur la température du globe. « Le refroidissement séculaire actuel augmentant continuellement l'épaisseur de l'écorce de la terre, on peut demander si la matière incandescente qui est soumise à cette action passe en entier à l'état solide, ou si elle est décomposée de manière à former des parties solides et des parties gazeuses, décomposition qui n'a rien d'improbable, dit ce savant géologue, puisque la coagulation des laves nous en offre tous les jours un exemple bien frappant (1). »

(1) CORDIER, Essai sur la température de l'intérieur de la terre, *Annales des Mines*.

Les remarquables expériences de M. Thilorier viennent ajouter un nouveau degré de vraisemblance à la présence souterraine d'une grande quantité d'acide carbonique, car sa solidification que ce savant a obtenue sous une forte pression, peut nous faire supposer que, malgré la chaleur centrale, il peut exister dans l'intérieur du globe d'énormes masses d'acide carbonique solide, ou du moins du carbone qui se combine successivement avec l'oxygène, à mesure que celui-ci pénètre, par une sorte de cémentation, jusqu'à la partie non oxidée de la terre. Les singuliers caractères que présente encore l'acide carbonique dans sa dilatabilité, peuvent aussi mettre sur la voie de quelques phénomènes relatifs aux tremblemens de terre, aux dégagemens de gaz, etc. On ne peut pas non plus attribuer l'acide carbonique à la décomposition de matières organiques profondément enfouies; indépendamment des considérations chimiques qui s'opposent à cette explication, il faudrait encore tenir compte de l'énorme quantité de gaz qui se produit et de la constance du dégagement, en sorte que l'on ne peut pas à présent reconnaître à cet acide gazeux une autre origine qu'aux acides borique, sulfurique et hydrochlorique, dont les bases sont enfouies à des profondeurs qui sont peut-être considérables, et font partie de cette réunion d'éléments non oxidés qui, selon toute apparence, forment le noyau intact de notre planète.

L'*acide hydrosulfurique* ou hydrogène sulfuré, qui caractérise un grand nombre de sources, doit avoir aussi une origine analogue à celle des acides précédens. Le soufre, qui, dans certains cas, s'unit à l'oxygène et se dégage à l'état d'acide sulfureux, peut, dans d'autres circonstances, se combiner à l'hydrogène; peut-être même cet acide est-il dû simplement à l'action

de l'air sur des sulfures métalliques qui existeraient à de grandes profondeurs, et notamment sur du sulfure de sodium, car alors on expliquerait à la fois, et l'apparition de l'hydrogène sulfuré, et la présence de la soude caustique, dont M. Longchamp a constaté l'existence dans les eaux des Pyrénées. L'azote de l'air qui produirait cette action se dégagerait avec l'eau, phénomène qui se produit assez constamment dans les eaux sulfureuses, comme l'ont prouvé, d'un côté M. d'Anglada (1), et de l'autre M. Longchamp (2), bien qu'ils diffèrent sur plusieurs points théoriques.

D'autres sulfures que celui de sodium peuvent donner naissance à de l'hydrogène sulfuré, qui, du reste, paraît tenir en dissolution un peu de soufre en excès. La présence de l'hydrogène sulfuré explique celle des hydrosulfates.

L'azote, dont nous venons déjà d'indiquer l'existence dans les eaux sulfureuses, se montre aussi dans la plupart des sources minérales. Il accompagne fréquemment l'acide carbonique, et se dégage aussi seul et assez abondamment. M. Daubeny en a trouvé dans la source de Mallow et dans celle de St-Patrick une quantité très-notable, et ce gaz ne contenait que 6 p. 100 d'oxygène (3). On connaît aussi dans le comté de New-York, à six lieues du village de Bennington, d'immenses dégagemens d'azote, qui s'élève de terre au travers du gravier, et fait bouillonner avec violence l'eau de plusieurs sources.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, p. 132.

(2) *Idem*, t. XIX, p. 190.

(3) Société Asmoléenne d'Oxford, séance du 26 juin 1835.

M. d'Anglada explique la présence de ce gaz dans les eaux sulfureuses en le regardant comme le produit de la décomposition de l'air, dont l'oxygène se porterait sur le soufre, et il pense que le contact de l'air peut ainsi détruire et faire dégénérer un grand nombre de sources sulfureuses. Il pense que, dans ces sortes de sources, l'azote vient encore de l'air décomposé dont l'oxygène brûlant du charbon s'est transformé en acide carbonique, explication qui serait admissible si le dégagement d'azote était proportionné à celui de l'acide carbonique; car, quoique on sache très-bien que l'air qui est entraîné en dissolution par les eaux de pluie ou par les eaux courantes contient plus d'oxygène que l'air atmosphérique, il renferme cependant toujours les $\frac{2}{3}$ d'azote, qui devrait, dans ces cas, se dégager en proportion double de celle de l'acide carbonique. Nous avons cependant tout lieu de croire que l'azote des eaux vient de l'atmosphère. Nous reviendrons un peu plus loin sur ce sujet.

L'oxygène est contenu dans presque toutes les sources, quoique rarement dans les eaux minérales. Il accompagne l'azote, mais en petite quantité. Il ne forme guère que 5 à 6 pour cent du volume de ce gaz, excepté dans les sources non minérales, qui renferment de l'air composé le plus souvent de 32 d'oxygène et de 68 d'azote, tandis que l'air atmosphérique se compose de 21 d'oxygène et de 79 d'azote; mais la plus grande solubilité de l'oxygène explique suffisamment cette différence de proportion.

L'iode et le brôme ne se trouvent qu'en très-petite quantité dans les sources minérales, et jamais à l'état libre; c'est à l'état d'acides hydriodique et hydrobromique combinés à la soude, à la potasse ou à la magnésie.

Avant 1825, M. Boussingault découvrit la présence de l'iode, ou plutôt de l'hydriodate de magnésie, dans un liquide provenant d'une saline de la province d'Antioquia, liquide employé avec succès contre le goître. A cette époque, ce savant chimiste ignorait que déjà on avait reconnu l'iode dans plusieurs eaux minérales (1).

Toutes celles du pays de Darmstad contiennent de l'acide hydriodique en quantité plus ou moins grande. L'eau de la saline de Kreutznach (Théodorshalle) est remarquable par la grande quantité qu'elle en renferme (2).

L'iode et le brôme, comme le soufre et le carbone, doivent exister dans l'intérieur du globe, puisque les eaux les amènent à la surface; mais il faut remarquer que c'est toujours à l'hydrogène que ces corps sont unis.

Le phosphore, le fluor ne se rencontrent qu'en quantité excessivement petite, et toujours à l'état d'acides phosphorique et fluorique combinés à des bases. C'est ainsi que M. Berzélius a trouvé quelques-uns de ces sels dans les eaux de Carlsbad, et M. Girardin dans celles de St-Alyre.

Le fer et le manganèse existent tous deux en quantité bien différente: le fer est très-fréquent, le manganèse est très-rare. Il a été trouvé à l'état de carbonate dans le dépôt des eaux chaudes de Coconuco près du volcan de Puracé, non loin de Popayan, par

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXX, p. 91.

(2) LIEBIG, *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXI, p. 335.

M. Boussingault, et dans les eaux de St-Alyre, par M. Girardin. Le fer, au contraire, existe dans un très-grand nombre d'eaux minérales à l'état d'oxide hydraté et peut-être de bi-carbonate. Quelquefois il est combiné à des matières organiques, et forme les sels que M. Berzélius a désignés sous les noms de chrénate et d'apochrénate de fer. C'est ainsi qu'il existe dans l'eau de Jaudé, à Clermont.

L'origine du fer et du manganèse est toujours la même que celle des autres substances. Nous ne pensons pas que les eaux chaudes, et même des eaux chargées d'acide carbonique, aient dissout le fer pendant leur trajet, bien que nous leur en reconnaissons la puissance; mais nous croyons qu'il vient d'une grande profondeur, comme les autres matières contenues dans les eaux.

La soude, la chaux, la magnésie, la potasse, la baryte, qui, très-rarement à l'état caustique, mais presque toujours combinées, se trouvent si souvent dans les eaux à l'état de carbonate, sulfate, hydrochlorate, etc., doivent provenir aussi de l'action de l'oxigène sur les métaux alcalins que le noyau du globe doit renfermer. Mais il se présente ici une objection que l'on ne manque jamais de faire, c'est que la plupart des terrains qui sont déposés sur la terre renferment les différens sels que nous venons de citer, et qu'il est bien naturel que l'eau qui les traverse avec une température élevée, et qui souvent est en même temps saturée d'acide carbonique sous une forte pression, puisse dissoudre ce qu'elle trouve sur son passage, et amener ces matières à sa sortie. Cette objection devient surtout sérieuse pour le carbonate de chaux, si commun dans toutes les eaux thermales et si répandu dans la nature. Nous sommes loin de nier que les eaux dont nous nous occupons puis-

sent attaquer le sol qu'elles traversent; mais une simple observation prouvera qu'il ne faut pas attribuer à cette action la composition des eaux minérales: c'est qu'un grand nombre d'entre elles, et ce sont ordinairement les plus chaudes, sortent immédiatement de terrains cristallisés, et déposent à leur sortie les sels que l'on considère comme puisés dans des terrains préexistans, et notamment du carbonate de chaux, en sorte qu'au lieu d'avoir dissout, dans les terrains de sédiment, les matières qu'elles charrient, il y a beaucoup plus de probabilité pour qu'elles aient déposé, au contraire une grande partie des roches qui les composent.

La silice, que l'on rencontre de nos jours dans une foule d'eaux thermales, n'est bien abondante que dans les Geisers d'Islande et dans les sources chaudes de Reikium qui sont situées dans la même contrée. Cependant presque toutes les sources thermales en contiennent une petite quantité. Comme la soude accompagne presque toujours cette substance, on a cru que cette dissolution s'opérait à la faveur de cet alcali; mais les belles expériences de M. Berzélius ont suffisamment démontré que la silice à l'état naissant, c'est-à-dire au moment de sa création par le contact et la combinaison de l'oxigène et du silicium, était entièrement soluble dans l'eau: dès lors il n'y a rien d'étonnant que certaines sources en amènent en abondance. Elle perd bientôt sa solubilité et acquiert en se déposant assez de cohésion pour rester inattaquable à l'eau pure.

Si, ensuite, nous admettons, comme tout porte à le croire, le silicium au nombre des élémens qui composent le noyau de la terre, il nous suffira de la présence de l'oxigène pour expliquer la transformation du métal en oxide, et dans ce cas, nous aurons encore un dégagement d'azote. Cette dernière circonstance

pourra cependant ne pas avoir lieu, car, à une température aussi élevée que celle qui doit régner à ces profondeurs, une portion d'eau peut être décomposée, et tandis que son oxygène fait la silice, son hydrogène peut, comme le suppose M. Longchamps, s'unir à du soufre, à du chlore, à de l'iode, à du brome, et se dégager sous forme d'hydracides ou d'hydro-sels.

Enfin, quant à la matière organique que contiennent presque toutes les eaux thermales, nous pensons qu'elle se forme dans les conduits qui les amènent au jour, ou du moins à une petite profondeur. Du moment où l'azote, l'hydrogène, le carbone et l'oxygène se rencontrent à l'état naissant et sous l'influence d'une chaleur qui est inférieure à 100°, et presque toujours même inférieure à 50°, nous croyons que ces corps, dont se composent tous les êtres organiques, la forment immédiatement par leur combinaison, et que le contact de l'air et de la lumière finit de la constituer être vivant et organisé. Nous pensons qu'il se forme naturellement dans les eaux qui réunissent les conditions nécessaires, c'est-à-dire qui ne contiennent pas d'acide puissant, ni d'alcali libre, ni des sels trop abondans, des créations spontanées comme celles que nous obtenons à volonté avec des infusions diverses; et nous croyons que l'on doit voir dans ces créations les premiers élémens vivans des règnes animal et végétal.

La majeure partie des matières que contiennent les eaux minérales sont analogues ou identiques à celles que rejettent les volcans dans les différentes phases de leurs éruptions. Ces principes que les bouches ignivomes répandent en grande abondance au moyen de la force des gaz qui les projettent, se retrouvent en petite quantité charriés par l'eau thermale de ces sources profondes; et cette tendance à l'organisation, si remar-

quable dans les eaux de cette nature, nous en retrouvons, pour ainsi dire, l'équivalent dans la fertilité dont jouissent les contrées couvertes des débris décomposés des roches volcaniques.