

rectement des terrains cristallisés, et l'on en voit même s'échapper du fond de la mer et jaillir avec force au milieu des eaux salées. Ainsi des sources d'eau chaude sortent dans le golfe de Naples, et près de l'île de Palma dans l'archipel des Canaries. A l'île de la Guadeloupe, il y a une fontaine bouillante qui jaillit sur la grève.

Beaucoup de sources ont une température extrêmement élevée. Celles de Chaudesaignes marquent de 60 à 82 degrés; celles de Trincheras, près Puerto-Cabello, s'élèvent à 97°; les sources d'Arijino, au Japon, marquent plus de 100°, et s'échappent en partie en vapeurs. L'eau des Geisers est à 100 degrés, selon plusieurs observateurs, et les dernières recherches de M. Lottin lui assignent une température plus élevée, puisqu'il a trouvé celle du grand Geiser de 124° centigrades, à 20 mètres de profondeur; celle du Strok de 111°, à la profondeur de 13 mètres, et l'eau d'un petit trou à fleur de terre à la température de 101° (1); et nous avons vu tout à l'heure la chaleur des vapeurs qui alimentent les lagonis atteindre 140°.

Les puits artésiens ont offert aussi des eaux plus chaudes que la température moyenne de la surface du sol où ils ont été creusés; et l'élévation de température est d'environ un degré centigrade pour chaque 20 à 30 mètres de profondeur, ainsi que le prouvent les exemples suivans.

PARIS.

La température moyenne de Paris à la surface du sol est. + 10°,6 cent.

La température de la fontaine jaillissante de la gare de Saint-Ouen est + 12°,9
(Profondeur, 66 mètres.)

(1) Institut, 4^e année, p. 335.

DÉPARTEMENTS DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS.

La température moyenne de la surface dans les départemens du Nord et du Pas-de-Calais est d'environ. + 10°,3

Fontaine artésienne de la Marquette + 12°,5
(profondeur, 56 mètres.)

Fontaine artésienne d'Aire. . . . + 13°,3
(Profondeur, 63 mètres.)

Fontaine artésienne de St-Venant. . + 14°,0
(Profondeur, 100 mètres.)

Sheerness, à l'embouchure de la Medway, dans la Tamise, températ. moyenne de la surface. + 10°,5

Température du puits artésien. . + 15°,5
(Profondeur, 100 mètres.)

TOURS.

Température moyenne de la surface + 11°,5

Température de la fontaine artésienne. + 17°,5
(Profondeur, 140 mètres) (1).

Ces résultats nous prouvent évidemment que les eaux sont d'autant plus chaudes qu'elles arrivent de lieux plus profonds. Aussi les sources thermales qui amènent des eaux qui marquent 90 à 100 degrés viennent d'une profondeur plus grande que celles qui marquent 50, ou bien elles perdent en route une moins grande quantité de calorique.

Pendant quelque temps, on a cru que ces eaux étaient chauffées par les volcans; mais cette opinion, qui paraissait avoir un certain degré de vraisemblance pour les sources qui sont situées dans les ter-

(1) *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

rains volcaniques, devient de nulle valeur, si l'on considère qu'il existe un grand nombre d'eaux minérales dans des terrains qui ne présentent aucune trace de volcanisation; et d'ailleurs il est évident que si cette chaleur dépendait de changemens chimiques souterrains encore en activité, on apercevrait des variations considérables, selon que les causes s'affaibliraient ou deviendraient accidentellement plus actives, comme on l'observe dans tous les volcans encore brûlans. Quant à l'hypothèse qui attribue leur chaleur à la décomposition chimique des sulfures, l'influence limitée et variable d'une telle cause, comparée à la grandeur et à la permanence de l'effet, sont des preuves suffisantes pour faire abandonner cette explication. M. Brongniart, avec la plupart des géologues, attribue la température élevée des eaux qui sortent des différens terrains, à la grande profondeur d'où elles viennent par des canaux souterrains. En admettant que la terre a une chaleur propre, croissante avec la profondeur, ce que paraîtraient confirmer toutes les observations que nous avons citées, cette opinion serait la seule vraisemblable. Mais, après ces faits si dignes d'attention, ce qu'il y a de plus remarquable, c'est la constance des phénomènes qui caractérisent ou accompagnent les eaux minérales; en effet, à quelques exceptions près, dont plusieurs même peuvent être appréciées, on observe dans les eaux dont plusieurs sont connues depuis un très-grand nombre d'années, le même volume, la même composition, les mêmes dégagemens de gaz, la même saveur et la même température. Les grands froids, les grandes chaleurs, la sécheresse et l'humidité, qui ont une grande influence sur la plupart des sources, en ont peu sur celles-ci; mais les tremblemens de terre les modifient souvent. Ils les ont quelquefois

fait disparaître entièrement, ou bien ils ont changé les eaux thermales en eaux froides; mais souvent aussi ces altérations n'ont été que momentanées, et au bout de quelques semaines, de quelques jours, ou même de quelques heures, la source a repris son cours et sa température ordinaires.

Un autre fait peut encore, jusqu'à un certain point, prouver que la température des eaux thermales est due à la chaleur centrale, c'est leur refroidissement proportionné à la longueur du conduit qui les amène. Ainsi, en supposant que la fissure qui amène des eaux minérales d'un même niveau ait une demi-lieue de longueur depuis son point de départ jusqu'au niveau de la mer, il en résultera nécessairement que cette fissure sera plus longue, si elle vient s'ouvrir sur une montagne; or, le trajet étant plus long, l'eau sera d'autant plus froide qu'elle sortira à une plus grande hauteur. M. Boussingault a essayé de déterminer cette influence par des observations, et il cite la source de Trincheras, qui se trouve presque au niveau de la mer, dont la température est de 97°; tandis que la source de Mariana (située, comme la précédente et la suivante, en Amérique), déjà élevée de 676 mètres, a seulement une température de 64°. Enfin, l'eau de la source d'Onoto, placée à 702 mètres d'élévation, n'est plus qu'à 44° 5 centig. (1).

Il faut convenir cependant que les expériences ne sont pas assez nombreuses pour qu'on puisse regarder l'influence de l'élévation au-dessus du niveau de la mer comme une cause certaine de refroidissement pour

(1) BOUSSINGAULT, *Annales de Chimie et de Physique*, février 1833, p. 182.

les eaux thermales ; mais la théorie l'indique et ces trois observations la justifient.

Composition des eaux minérales.

Ainsi que nous l'avons déjà dit en nous occupant des sources, l'eau de pluie et de neige est toujours sensiblement pure ; mais quand elle a traversé des terrains dont elle peut dissoudre une certaine quantité, elle se charge des principes solubles, en sorte qu'il est rare qu'une eau de fontaine soit parfaitement pure. S'il en est ainsi pour l'eau des sources ordinaires, à plus forte raison pour celle qui vient d'une grande profondeur, et qui souvent possède une température très-élevée. Aussi la plupart des eaux minérales contiennent des principes salins ou gazeux, en quantité assez considérable, pour avoir une action marquée sur l'économie animale. Cette règle toutefois n'est pas sans exception ; car on cite dans plusieurs contrées des eaux à la fois très-chaudes et très-pures ; mais elles sortent ordinairement de terrains cristallisés. Telles sont, en Italie, les Pisciarelli du lac Agnano qui, malgré leur température de 93° , sortent pures et limpides ; telles sont, parmi les sources de l'île de Ceylan, celles de Cannea, près de Trenquemalle. Ces sources, selon John Davy, sont au nombre de quatre ; leur température est de 38° à 42° . L'eau est limpide et ne forme aucun dépôt ; elle n'a ni odeur ni saveur ; sa pesanteur spécifique est exactement la même que celle de l'eau distillée. Les réactifs n'ont pu y faire découvrir d'autres substances étrangères qu'une trace de muriate de soude et une très-petite quantité de gaz acide carbonique et d'azote. Ces gaz s'en dégagent aux sources mêmes, sous la forme de bulles plus ou moins abondantes.

Dans l'intérieur de l'île, non loin de Batticoola, il y a des sources semblables, mais dont la température est beaucoup plus élevée (1).

Les eaux minérales d'Onoto, en Amérique, que nous avons déjà citées, et qui sourdent à 360 toises de hauteur au-dessus du niveau de la mer, n'ont aucune odeur d'hydrogène sulfuré ; elles sont sans saveur et ne précipitent ni par le nitrate d'argent ni par aucun réactif. Evaporées, elles laissent un résidu inappréciable, qui consiste en peu de silice et une trace d'alcali. Elles n'ont que $44,5$ de température, et les bulles d'air qui se dégagent par intermittence, sont *du gaz azote pur* (2).

Celles de Mariana, peu éloignées des précédentes, ne renferment aussi que très-peu de matières étrangères. Elles sont à 476 mètres au-dessus de la mer, et elles sortent du gneiss. La température des moins chaudes est de 34° et celle des plus chaudes de 64 . Elles forment quelques concrétions siliceuses sur les pierres qui se trouvent dans le ruisseau ; elles dégagent du gaz azote pur ; elles répandent une légère odeur de gaz hydrogène sulfuré. Par l'évaporation, l'eau laisse un faible résidu dans lequel on trouve de la silice, du carbonate de soude, de la magnésie, de la chaux (3).

Ce petit nombre d'exemples d'eaux *presque pures* fait voir que c'est réellement par exception que les eaux chaudes ne contiennent que si peu de matières. Presque

(1) Note sur les sources chaudes de l'île de Ceylan, d'après les observations faites dans cette île par M. John Davy, *Annales de Chimie*, t. XXIII, p. 269.

(2) HUMBOLDT, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. X, p. 117.

(3) Sur les eaux chaudes de la Cordillère de Venezuela, par MM. Boussingault et Mariano de Rivero, *Annales de Chimie*, t. XXIII, p. 272.

toutes en renferment bien davantage, et nous allons passer en revue les principales substances que l'on y rencontre.

Ce sont, *parmi les gaz* : l'oxygène, l'azote, l'hydrogène.

Parmi les corps simples : le soufre libre ou combiné, l'iode combiné, le brome.

Parmi les métaux : le fer, le cuivre, le manganèse toujours combinés à l'état salin.

Parmi les acides : les acides carbonique, sulfureux, sulfurique, hydrochlorique, nitrique, hydro-sulfurique, borique, phosphorique, fluorique.

Parmi les alcalis : la soude et bien plus rarement la potasse.

Parmi les sels : les carbonates de chaux, de magnésie, de fer, de manganèse, de strontiane, de soude, d'ammoniaque; le borate de soude; les hydrosulfates neutres de soude, de chaux, de magnésie, de fer. Ces mêmes hydrosulfates unis à l'hydrogène sulfuré ou au soufre; les hyposulfates et sulfates des mêmes bases, provenant probablement de la décomposition des hydrosulfates; les hydrochlorates de soude, de chaux, de potasse (rare), de magnésie, de baryte (rare), d'ammoniaque, d'alumine (très-rare); les nitrates de potasse, de chaux, de magnésie, de soude; les sulfates de soude, de chaux, de magnésie, d'alumine, d'ammoniaque, de potasse et d'alumine, de cuivre, de fer et de manganèse; les fluates de chaux, de baryte; les hydriodates de soude, de potasse; les phosphates de baryte, d'alumine de fer, de chaux.

La silice.

La matière organique. Presque toutes les eaux renferment de la matière organique généralement azotée. Quelquefois ces matières sont libres, et même assez

abondantes pour colorer l'eau thermale. C'est ce qu'a observé M. Berzélius pour les eaux de Porla en Suède. Elles ont une teinte jaune qui paraît due à la présence de deux nouveaux corps, l'acide chrénique et l'acide apochrénique. Ces deux acides, dérivés de la composition de substances végétales, se trouvent dans plusieurs eaux ferrugineuses de Scandinavie. Les eaux de Porla contiennent en outre divers sels, surtout des carbonates, du chlorure de potassium ou de sodium; et leurs parties gazeuses sont de l'azote et de l'acide carbonique (1).

Cette matière organique des eaux minérales est souvent combinée à la soude et forme une espèce de savon qui rend certaines eaux minérales très-onctueuses. Il paraît, du reste, qu'elle a la plus grande tendance à s'organiser, et on la voit se transformer promptement en matière vivante. C'est ainsi que M. Cotta a trouvé des animaux microscopiques dans les eaux de Carlsbad. M. Dumas et M. Bertrand, inspecteur des eaux du Mont-Dore, en ont remarqué dans celles de St-Nectaire; mais le plus souvent c'est en substances végétales que la transformation a lieu, et presque toutes les eaux thermales produisent ces filamens glaireux, d'abord incolores et passant promptement au vert, qui ont été décrits par M. Lonchamp, sous le nom de *barrégine*, parce qu'il les observa d'abord à Barrèges, et par M. Robiquet, qui les a soigneusement étudiés à Nérès, où ils semblent se produire avec plus d'abondance que partout ailleurs.

Telles sont les principales matières qui constituent les eaux minérales; mais toutes ces substances n'exis-

(1) *Institut*, n° 56, p. 49; et *Annales de Chimie*, octobre 1833, p. 219.

tent jamais dans l'eau d'une même source, d'autant plus qu'il en est qui ne peuvent se trouver ensemble sans se décomposer aussitôt; tel est, par exemple, le sous-carbonate de soude, relativement aux sulfates, nitrates et hydrochlorates de chaux et de magnésie. La même eau n'en contient jamais plus de huit à dix, et la proportion de chacune d'elles est toujours très-limitée. Les substances salines, qui sont les plus abondantes et les plus variées dans les eaux, sont les hydrochlorates et les sous-carbonates à base de chaux, de soude et de magnésie, le sous-carbonate de fer, les hydrosulfates de chaux et de magnésie, la silice et les gaz.

Kirwan a fait observer dans la composition des eaux minérales, certaines associations particulières de substances salines qu'il ne donne pas comme constantes et exclusives, mais comme assez remarquables par leur généralité. Ainsi, l'on trouve ordinairement ensemble le carbonate et le sulfate de chaux, le fer et le sulfate d'alumine, l'hydrochlorate de soude et celui de chaux. L'hydrochlorate de soude est toujours accompagné de sulfate de chaux, à moins qu'il n'y ait du carbonate de soude; le carbonate de magnésie est ordinairement accompagné de carbonate de chaux; le carbonate de soude, de sulfate et d'hydrochlorate de soude; l'hydrochlorate et le sulfate de magnésie, d'hydrochlorate de soude, tandis que l'inverse de ces associations n'est pas également vrai. Le sulfate de chaux se trouve dans la plupart des sources et accompagne tous les sels, excepté le carbonate de soude.

Les eaux minérales sont très-répandues, mais on connaît surtout les plus abondantes, ou celles dans lesquelles certains principes deviennent prédominants. Tantôt ce sont les gaz, d'autrefois les sels, et si, parmi ceux-ci, ce sont des sels à base de fer ou des hydrosulfates, les

eaux acquièrent des propriétés assez distinctes pour qu'on les sépare des eaux salines. Enfin, il en est qui sont acides. Nous allons énumérer quelques-unes des principales sources minérales, rangées d'après leur composition chimique :

Eaux salines. Elles sont presque sans action sur les couleurs bleues végétales et renferment peu de corps gazeux. Telles sont les eaux froides de Passy (Seine), de Forges (Seine-Inférieure), de Néris (Allier), de Plombières (Vosges), de Bourbonne-les-Bains (Haute-Marne).

Eaux gazeuses et acides. Les unes doivent leur acidité aux acides borique, sulfureux, sulfurique, hydrochlorique; telles sont les eaux de certaines sources qui alimentent les *lagonis* de Toscane, celles qui se trouvent autour des volcans en activité (grottes du Vésuve et de l'Etna, Rio-Vinagre, au volcan de Puracé dans le Popayan, etc.); les autres la doivent à l'acide carbonique qui leur communique une saveur aigrelette et la propriété de mousser fortement, qualités qu'elles perdent par l'action de la chaleur et l'exposition à l'air; telles sont celles de Seltz, près Francfort, de Pougues (Nièvre), de Châteldon (Puy-de-Dôme), d'Alfter, près Cologne, etc.

Les eaux alcalines doivent leurs propriétés à la soude et principalement à son bi-carbonate, quelquefois à celui d'ammoniaque. On n'a pas encore trouvé la magnésie, la potasse et la chaux à l'état de liberté dans les eaux. On regarde comme sources alcalines, celles de Reikum, en Islande, de Plombières (Vosges), de Vichy (Allier); on y place aussi celle de Chaudesaigues (Cantal), quoiqu'elles ne contiennent qu'une très-petite quantité de matières alcalines.

Les *eaux ferrugineuses* paraissent contenir le fer à

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-