

15 à 25 lieues, se serait formée sur un noyau qui conserve encore sa fluidité originaire, et dont la température atteint sans doute une extrême intensité. Dès lors rien de plus facile que d'expliquer la chaleur de ces nombreuses sources thermales qui paraissent de tous côtés. Rien de plus simple que de donner une théorie vraisemblable des phénomènes volcaniques, des grands dégagemens de gaz, de concevoir les tremblemens de terre et le soulèvement des chaînes de montagnes. Il nous suffira, suivant notre méthode, d'étudier les effets actuels de ces grands phénomènes, de les agrandir successivement en les éloignant de notre époque, et nous parviendrons ainsi à prendre une idée juste de la structure de notre planète, et des forces qui président encore aux changemens qui s'opèrent dans son intérieur et à sa surface.

CHAPITRE DIX-HUITIÈME.

DES DIVERS PHÉNOMÈNES PRODUITS

PAR LES FORCES INTÉRIEURES.

Tous les phénomènes qui ont pour cause l'action des forces intérieures se lient les uns aux autres, et ne sont souvent, quoique très-différens en apparence, que les résultats d'une même action. Nous ne pouvons cependant les étudier ensemble, et pour éviter toute confusion, nous les partagerons en deux groupes, en nous élevant successivement des actions les plus faibles aux plus puissantes. Dans la première division, nous étudierons ceux qui n'ont pas assez d'intensité pour occasionner des mouvemens sensibles dans la croûte du globe, et dans la seconde, ceux qui par des effets dépendans de la chaleur centrale, peuvent changer la surface du sol, en le déchirant ou le fracturant de différentes manières.

Dans la première division se trouvent, les *eaux minérales*, les *Geisers* et *lagonis*, les *dégagemens de gaz* et de *bitume*; dans la seconde, les *volcans*, les *tremblemens de terre* et les *soulèvemens*;

Enfin, une troisième division comprendra une foule de petites actions chimiques, entièrement dépendantes de ces forces intérieures, comme la *formation des filons par injection* ou par *sublimation*, la *dolomisation des roches*, les *phénomènes de liquation*, etc.

DES EAUX MINÉRALES.

Nous avons déjà dit, en parlant des sources, à quels caractères on distinguait les eaux minérales. C'est principalement à leur température, qui surpasse la moyenne du sol dont elles s'échappent; en sorte que ce ne peut être dans les couches de terrains situés au-dessus de la ligne de température invariable qu'elles prennent naissance, mais toujours au-dessous. Il y a cependant des eaux minérales froides, et alors c'est leur composition qui les fait distinguer des autres.

Les eaux minérales se rencontrent dans toutes les contrées, quelquefois dans les plaines et souvent dans les vallées. Elles semblent plus fréquentes dans les régions montagneuses que partout ailleurs, et se trouvent presque toutes situées sur le bord de l'eau, à peu de distance des ruisseaux ou des rivières.

On les voit sortir de toutes espèces de terrains cristallisés ou de sédiments, anciens ou modernes. Tantôt elles coulent d'une manière continue, comme la plupart des sources; tantôt elles ont des intermittences très-marquées et régulières. Les unes sont réduites à de simples filets, qui s'échappent avec peine d'étroites fissures; d'autres arrivent au jour sous un volume énorme, et jaillissent avec force au-dessus du sol. Quelquefois elles sont froides, comme l'eau des sources ordinaires, mais le plus souvent elles possèdent une température élevée, dont le degré varie entre celui qui indique la moyenne du sol et celui de l'eau bouillante. Leur composition varie extrêmement; rarement pures, elles renferment généralement des sels et des acides en quantité très-notable, et assez forte pour leur donner des propriétés particulières et une action marquée sur l'économie animale.

Nous allons d'abord citer quelques exemples de sources minérales, et nous étudierons successivement les principaux caractères qu'elles nous présentent.

La France possède un grand nombre de ces fontaines: tout le monde connaît les fameuses sources sulfureuses de Bagnères et de Barrèges, dans les Pyrénées; celles de Cauterets et de Saint-Sauveur, qui en sont peu distantes. Ces eaux, qui s'échappent du sol par un grand nombre de filets, marquent de 36 à 58° au thermomètre centigrade. Les eaux de Dax, dans les Landes, marquent 60°; celles du Mont-Dore, qui s'échappent des terrains volcaniques sur les rives de la Dordogne, atteignent jusqu'à 44 degrés de chaleur; celles de Vichy, qui sortent des alluvions de la rivière d'Allier, marquent aussi près de 40°; celles de Bourbonne dépassent 50°, ainsi que celles de Néris. On trouve encore en France un grand nombre de sources dans les Vosges, en Alsace, en Normandie: on en connaît dans tous les départemens.

La Suisse et la Savoie sont riches en eaux minérales. On cite celles de Brides, dont la température est de 33 à 36°; celles d'Aix marquent 44 à 47°; celles de Leuk, dont la chaleur atteint 52°, et un grand nombre d'autres.

Tout le reste de l'Europe en est abondamment pourvu; la Belgique et l'Allemagne en possèdent un grand nombre. Elles sont surtout très-communes dans l'Eifel, sur les bords du Rhin, contrée volcanique qui a les plus grands rapports avec l'Auvergne.

Celles de Carlsbad, en Suède, sont célèbres depuis long-temps; elles sont nombreuses, et plusieurs d'entre elles marquent jusqu'à 73°.

L'Angleterre ne possède qu'un petit nombre de sources thermales. Celles de l'Espagne sont à peine

connues. On en cite de très-chaudes en Portugal, et l'Italie, comme toutes les contrées volcaniques, est couverte d'un nombre infini de ces sources, dont la température varie autant que la composition.

On sait qu'il en existe aussi en Russie, mais on connaît à peine les sources de cette vaste contrée.

L'Asie, avec ses grandes chaînes de montagnes, produit un grand nombre de sources thermales. Elles sont fréquentes sur les flancs du Caucase, sur les pentes de l'immense chaîne des monts Himalaya. On rapporte qu'en Chine, à environ sept lieues de Macao, on trouve des quantités considérables d'eaux chaudes au milieu d'une plaine d'alluvion. La température d'une des sources atteint 85°, celle d'une autre 65°, et cette dernière donne 68 litres par minute. On en connaît plusieurs dans l'île de Ceylan.

Le sol de l'Amérique donne passage à une foule de sources qui arrivent au jour avec une température presque égale à celle de l'eau bouillante. Près de Valencia, M. de Humboldt a trouvé une source marquant 90°, située à 40 pieds de distance d'une source froide. A la Jamaïque, plusieurs fontaines minérales sortent de la base des montagnes Bleues, et quelques-unes ont une température de 52°. Les Geisiers d'Islande sont célèbres depuis long-temps.

L'Afrique possède aussi des sources chaudes, mais elles sont peu connues, comme tout ce qui concerne cette partie du monde.

Il serait du reste tout-à-fait inutile de citer un plus grand nombre d'exemples; il nous suffit d'avoir constaté la présence des sources thermales sur un certain nombre de points, pour faire voir que c'est un phénomène commun à toutes les zones, à tous les climats, à toutes les contrées et à tous les terrains.

Du volume et de l'intermittence des sources thermales.

Quelle que soit l'origine des sources thermales, un fait bien remarquable est l'extrême abondance de quelques-unes d'entre elles. Celles de Chaudesaigues, dans le Cantal, versent par minute 252 litres d'eau; celles de Carlsbad, bien plus abondantes, ont pu à peine être mesurées, tant la quantité en est grande; on l'évalue à 111,292 seaux par vingt-quatre heures. Plusieurs des sources thermales que MM. de Humboldt et Boussingault ont observées en Amérique, forment de véritables rivières à leur sortie du sol. Presque toutes sont intermittentes et donnent lieu alternativement à de violens dégagemens de gaz, puis ensuite à l'épanchement de l'eau qui se trouvait comprimée. Il en est même dont les intermittences sont parfaitement réglées. C'est souvent l'acide carbonique qui, comprimant les eaux dans leurs réservoirs souterrains, en arrête le cours et les force d'attendre qu'il se soit dégagé. On connaît plusieurs de ces sources en France, telle que la Fontaine-du-Tambour, en Auvergne, ainsi nommée à cause d'une sorte de roulement souterrain produit par le gaz qui vient s'accumuler dans une cavité intérieure; telle est celle de Jaude, à Clermont, dont les intermittences sont d'environ six minutes; telle est encore, à St-Nectaire, une source peu éloignée des anciennes fontaines minérales, qui jaillit avec force à plusieurs pieds au-dessus du sol, et qui s'arrête ensuite tout-à-coup; celles de Carlsbad, et notamment celle du Sprudel, présentent le même phénomène dû encore à la même cause, au refoulement de l'eau par le gaz qui se dégage.

L'Islande possède un grand nombre de ces sources intermittentes, dont les plus célèbres sont les *Huer* ou

Geisers de la vallée de Reikum, à une forte demi-lieue nord de la ville de Skalholt; on en rencontre plus de cent dans un circonférence de deux milles. Le jet du Grand-Geiser s'élève souvent à plus de cent cinquante pieds de hauteur, et son diamètre est quelquefois de dix-sept pieds; il s'élance avec une sorte de bourdonnement. les parois intérieures du bassin sont couvertes d'incrustrations siliceuses en forme de choux-fleurs, ainsi que les environs, à plus de trente mètres autour de la source. (Fig. XIX et XX.)

Parmi les nombreuses descriptions de ces sources, une des plus remarquables est celle de M. de Troil, qui a été traduite du suédois (1).

« Les huer, ou jets-d'eau, qui sont en beaucoup plus grand nombre, sont plus remarquables. Je citerai seulement les trois plus curieux. Il y en a un près de Langervatn, lac d'eau douce, qui a une lieue de circonférence, à deux journées de l'Hécla: c'est là que j'ai vu le premier huer ou jet-d'eau, et je dois avouer que le coup-d'œil en est superbe. Le ciel était serein, et le soleil commençait à dorer les montagnes voisines. Il n'y avait pas de vent, et le lac, où se promenaient des cygnes, se présentait à la vue comme un miroir. Tout à l'entour, on voyait en huit endroits s'élever de ces sources chaudes, des vapeurs qui se perdaient en l'air.

» Toutes jetaient de l'eau; une entre autres s'élevait en colonne de dix-huit à vingt-quatre pieds de haut, sur un diamètre de six à huit pieds. L'eau en était extrêmement chaude. Nous y fîmes cuire pour notre déjeuner un assez gros morceau de mouton, avec

(1) *Lettres sur l'Islande*, p. 504 et suivantes.

quelques truites saumonées, et des bécassines: leur saveur n'en fut nullement altérée. Tel était le degré de chaleur, qu'au bout de six minutes ces viandes furent cuites presque à tomber en morceaux.

» Une description telle que j'aurais souhaité de pouvoir vous la donner, serait encore inférieure au sujet; mais il est certain que jamais, en aucun autre lieu, je ne me suis senti plus rempli d'admiration et de vénération pour l'auteur de la nature.

» Il se trouve à Reikum un autre huer. On assure que le jet-d'eau de celui-ci s'éleva, il y a quelques années, jusqu'à soixante-dix pieds de hauteur. Un éboulement de terre qui couvre presque toute l'ouverture par où l'eau jaillit, est cause qu'elle ne va pas au-delà de soixante pieds.

» Je ne vous ai point parlé, Monsieur, de ce qui m'a paru le plus remarquable, et que vous aurez, ainsi que moi, peine à croire. Je n'avancerai rien de plus que ce que j'ai vu, et j'en garantis par conséquent la vérité.

» Le plus grand jet-d'eau qui existe, est celui de Geiser, près de Skalholt, une des résidences épiscopales de l'Islande. Ceux de Marly, de St-Cloud, de Vinterkasten dans le Landgraviat de Cassel, et de Herrenhausen au pays d'Hanovre, ne sont rien auprès. Dans un espace moindre d'une demi-lieue à la ronde, on trouve jusqu'à cinquante fontaines bouillantes qui vraisemblablement ont toutes la même source. L'eau dans les unes est claire; dans d'autres, elle est trouble comme l'eau de chaux qui dépose; et dans quelques-unes, l'eau passe au travers d'une veine d'ocre qui la rend rouge comme du sang, tandis que celle des autres fontaines, qui coule au travers d'une glaise plus claire, est blanche comme du lait.

» Toutes ces fontaines forment des jets-d'eau, avec

cette différence, que dans une partie elle jaillit continuellement, et dans l'autre, elle ne le fait que par intervalle. La plus grande fontaine, qui est au milieu, fut celle qui nous occupa le plus. Nous y restâmes depuis six heures du matin jusqu'à sept heures du soir. Le diamètre du tuyau qui reçoit l'eau montante est de dix-neuf pieds. J'en ignore la profondeur. Le cratère qui se trouve à l'extrémité du tuyau, présente la forme d'un chaudron. Son diamètre est de cinquante-six pieds; et son bord, au-dessus de celui du tuyau, est de neuf pouces. Cette fontaine ne jette pas de l'eau continuellement, mais à différentes reprises dans la journée. Les habitans des environs nous ont assuré que l'eau va beaucoup plus haut quand il ne fait pas très-froid. Lorsque nous y arrivâmes, nous vîmes l'eau jaillir jusqu'à dix fois en cinq heures, à la hauteur de soixante pieds. L'eau étant montée au bord du tuyau, ne remplissait le cratère que peu à peu, et elle débordait à la fin. Nous nous attendions à un jet d'une grande hauteur, qui n'eut pas lieu aussitôt. M. Lind, qui nous accompagnait comme astronome, dressa son quart de cercle pour en prendre l'exakte hauteur. Dans l'après-midi, à quatre heures et quelques minutes, la terre trembla; et cette secousse se fit également sentir en divers endroits, sur la cîme de la montagne, à cinq cents brasses de l'ouverture. Elle fut accompagnée d'un bruit souterrain, comme de plusieurs coups de canon qui se succéderaient; l'instant après, le jet commença, et la colonne d'eau qui, d'après nos observations, montait à quatre-vingt-dix pieds, se divisa en différentes directions; mais ce qui ajouta à l'étonnement que nous causèrent les effets singuliers du feu et de l'air, c'est que nous vîmes remonter les mêmes pierres que nous venions de jeter dans l'ouverture. »

Voici le tableau des élancemens du Geiser, pendant la journée que M. de Troil passa sur les bords.

» Au moment de notre arrivée au Geiser, l'eau était basse dans le tuyau à la profondeur de quatre pieds. Dans cet état, elle jaillissait comme on peut en juger par les observations suivantes :

N ^o .	HEURE.	HAUTEUR.	DURÉE.
1	VI	42 min.	30 pieds.
2		51	6
3	VII	6	6
4		31	12
5		51	60
6	VIII	17	24
7		29	18
8		36	12

Le tuyau en ce moment-ci commença à se remplir et déborda peu à peu dans le cratère.

9	IX	25 min.	48 pieds.	1 min. 10 sec.
10	X	16	24	1
	XII	35		

Nous entendîmes sous terre comme trois décharges d'un canon qui ébranlèrent la terre; l'eau déborda un peu le cratère, ce qui ne dura qu'un instant, car aussitôt elle s'abassa.

11	II	8		L'eau déborda de nouveau du cratère.
12	III	15		Le bruit souterrain recommença, mais moins fort que la première fois.
13	IV	43		Considérable débordement d'eau durant une minute entière.
14	IV	49		Plusieurs décharges souterraines extrêmement fortes; elles se firent entendre, non-seulement près de la source, mais encore dans la chaîne des montagnes voisines, et il se fit un élancement.
15	VI	51 min.	92 pieds.	4 sec.

» Ce dernier jet, qui était le plus considérable, étant fini, l'eau descendit très-profondément dans le tuyau, où elle resta tranquille pendant quelques minutes, au bout desquelles elle recommença à bouillonner, sans monter cependant plus haut que jusqu'aux bords du tuyau.

» Vous imaginerez aisément, Monsieur, le plaisir avec lequel nous passâmes une journée en cet endroit. Je ne suis plus surpris qu'une nation aussi portée à la superstition que le sont les Islandais, se persuade que cette ouverture est l'entrée de l'enfer. C'est aussi par cette raison qu'aucun Islandais ne passe jamais devant une de ces ouvertures sans y cracher, en prononçant ces paroles : *Uti fandem mund*, ce qui veut dire : *dans la gueule du diable*. »

Depuis l'époque où M. de Troil rapporta cette naïve description du Geiser, plusieurs voyageurs ont exploré l'Islande et ont reconnu qu'il s'était opéré des changemens dans le nombre et la puissance de ces sources jaillissantes. Un autre jet considérable, que l'on nomme le Strok, a commencé à paraître lors d'un tremblement de terre qui eut lieu en Islande en 1784.

Mais ces éruptions sont devenues depuis bien plus violentes et bien plus considérables. Les habitans l'affirment unanimement, et on le trouve en outre confirmé dans les mémoires de la Société littéraire islandaise ; le tremblement de terre fut cause que d'anciennes fontaines bouillantes disparurent, et que de nouvelles parurent dans d'autres endroits.

Le lieutenant danois Ohlsen, qui visita l'Islande en 1804, fut témoin de l'éruption de cette dernière source, dont les accès sont fort irréguliers. Il y avait près de 18 heures qu'il était arrivé, et le Strok n'avait pas encore éprouvé le moindre mouvement, excepté

le petit bouillonnement ordinaire dans le tuyau d'où montent toujours quelques vapeurs, comme cela a lieu pour d'autres sources plus petites. « Mais avant la fin d'une éruption du Geiser, qui arriva à neuf heures du matin, le Strok fit une éruption avec le plus grand fracas ; la terre trembla autour de la source, et subitement on vit une colonne épaisse de fumée monter avec rapidité. L'eau fut rejetée du tuyau avec une violence épouvantable ; elle se réduisit dans la colonne même en un brouillard fin qui s'éleva dans l'air à une hauteur extraordinaire ; on vit de temps en temps quelques jets-d'eau se frayer une route à travers la colonne de vapeurs, soit perpendiculairement, soit obliquement, et parvenir à des hauteurs différentes ; quelques-uns des jets-d'eau, que je pouvais voir, semblaient s'élever à une hauteur d'environ 150 pieds.

» Cette source lança peu d'eau, mais beaucoup de vapeurs, et les jets élevés se soutinrent peu de temps dans l'air.

» La source continua sans interruption à jeter de l'eau et des vapeurs pendant deux heures dix minutes ; cette colonne de vapeurs paraissait se réunir aux nuages.

» Cette éruption du Strok se termina à onze heures dix minutes du matin, après quoi la source redevint tranquille, en bouillonnant cependant comme auparavant.

» Pendant l'éruption du Strok, le Geiser fut en mouvement, et vers les onze heures jeta de l'eau assez haut, durant quinze minutes, sans que le bassin, de même qu'aux autres éruptions, fût tout-à-fait rempli. Comme il ne se passa que deux heures entre la dernière éruption du Geiser et celle-ci, il paraît que la violente éruption du Strok avait causé celle du Gei-

ser, ou plutôt qu'ils sont en communication l'un avec l'autre. »

Les observations de M. Ohlsen sur le Geiser lui-même ne se rapportent pas exactement à celles de M. de Troil, et il semble assez naturel qu'il soit survenu quelques changemens dans les caractères de ces éruptions, depuis le tremblement de terre qui a donné naissance au Strok. M. de Troil vit les éruptions du grand Geiser se succéder presque toutes les heures et atteindre à peine la hauteur de 90 pieds, tandis qu'à l'époque où M. Ohlsen visita les mêmes lieux, ils étaient bien moins fréquens, et élevaient des jets d'eau jusqu'à la hauteur de 212 pieds. Ce magnifique phénomène se présentait à lui à peu près toutes les six heures.

Sir G. Makensie n'a jamais vu les jets du Geiser s'élever au-delà de 90 pieds, et même, dans la plupart des éruptions, la colonne n'en atteignait pas 50. Le Strok, qui commence aussi, comme le grand Geiser, par des jets qui s'élèvent graduellement, lui a offert le spectacle d'une colonne de 70 pieds.

Il s'en faut de beaucoup, comme on le voit, que les éruptions de ces sources singulières présentent toujours la même durée et la même intensité.

Les lagonis sont un phénomène qui semble avoir de grands rapports avec les Geisers et les sources minérales. On donne ce nom à de petites mares remplies d'eau, à travers lesquelles se dégage une grande quantité de vapeurs qui s'échappent des fissures des roches. Ces vapeurs, dont la température est très-élevée, sont ordinairement chargées d'acide borique. (*Fig. XXI.*)

C'est en Toscane que se rencontrent ces singulières émanations; c'est là du moins qu'elles ont été étudiées. C'est près de la route royale de Volterra à Massa, dans un terrain aride couvert de fragmens d'un calcaire

stratiforme coquillier, au milieu de pyrites et de schistes grisâtres, que se trouvent les lagonis de Monte-Cerboli et de Castelnuovo, distans d'environ 4 milles, tandis que plusieurs autres se rencontrent à Monte-Rotondo, à la Leccia, à Castignano, à Serrazzano, formant une espèce de cercle autour des sources de la Cornia, au revers méridional de la montagne sur le sommet de laquelle s'élève le pays de Castelnuovo. L'acide borique produit ne se trouve pas tout entier dans les lagonis, mais une bonne portion est continuellement portée à la surface du sol par des courans gazeux ou *soffioni*, ayant leur cratère dans des lieux parfaitement secs. La température des gaz qui se dégagent des *soffioni* est de 120 à 140°, tandis que celle des lagonis ne dépasse pas 70°.

On trouve de semblables dégagemens à travers une crevasse du sol dans l'île de Vulcano. Il s'y dépose aussi de l'acide borique analogue à celui des lagonis.

De la température des eaux minérales.

Nous avons déjà dit qu'il existait des eaux minérales froides comme l'eau des sources ordinaires, dont la composition chimique peut les distinguer, quoique assez difficilement. Ces eaux minérales froides sont, selon toute apparence, des eaux chaudes qui se sont refroidies en traversant les couches extérieures de la terre. Aussi voit-on rarement des sources dont le volume est considérable arriver au jour avec une basse température. Ce sont, au contraire, les plus abondantes qui sont ordinairement les plus chaudes, parce que leur volume s'oppose à un trop prompt refroidissement lors de leur arrivée par les fissures des roches. On trouve un grand nombre de ces sources chaudes sortant di-

507.

FACULTAD DE INGENIERIA