variées, — la géologie a déjà prouvé qu'elle pouvait contribuer puissamment à la richesse et à la force du pays. « Elle a déjà, nous assure le professeur Philips, arrêté bien des tentatives insensées dans la recherche de la houille, dans des lieux où cette recherche ne pouvait avoir aucun bon résultat; elle a retardé, pour le moins, des essais encore trop hasardeux, et elle a encouragé des efforts qui ont été couronnés de succès au delà de l'espérance des mineurs, et même contrairement à leur attente (1). »

(1) *Geology of Oxford and the valley of the Thames*, p. 494.

CHAPITRE XIV.

CHALEUR SOUTERRAINE. — SON EXISTENCE DÉMONTRÉE PAR LES FAITS.

LA THÉORIE DES TERRAINS STRATIFIÉS SUPPOSE DES RÉVOLUTIONS DANS L'ÉCORCE TERRESTRE. — CES RÉVOLUTIONS SONT ATTRIBUÉES PAR LES GÉOLOGUES A L'ACTION DE LA CHALEUR SOUTERRAINE. — PREUVE DIRECTE DE LA CHALEUR SOUTERRAINE ET DU POUVOIR QU'ELLE A D'ÉBRANLER L'ÉCORCE DU GLOBE. — HYPOTHÈSE DE L'ORIGINE IGNÉE DE NOTRE GLOBE. — ACCROISSEMENT REMARQUABLE DE TEMPÉRATURE A MESURE QUE L'ON PÉNÈTRE DANS L'ÉCORCE TERRESTRE. — SOURCES D'EAU CHAUDE. — PUITS ARTÉSIENS. — VAPEURS S'ÉCHAPPANT DES CREVASSES DE LA TERRE. — LES GEYSERS D'ISLANDE. — UN REFLET DES FEUX SOUTERRAINS. — LE MONT VÉSUVE EN 1779. — ÉRUPTION DE 1872. — VASTE ÉTENDUE DE L'ACTION VOLCANIQUE. — L'EXISTENCE DE LA CHALEUR SOUTERRAINE EST UN FAIT ÉTABLI.

En développant la théorie moderne de la géologie, nous avons toujours supposé que l'écorce terrestre a éprouvé de nombreux changements depuis les âges les plus reculés. A différentes reprises, dans le cours de notre argumentation, nous avons parlé du déplacement du lit de la mer et de sa transformation en terre ferme, et, d'autre part, de la submersion de la terre ferme par les eaux de la mer. Nous n'avons pas hésité à admettre que ces deux mouvements opposés de soulèvement et de submersion se soient renouvelés plusieurs fois sur le même point, et qu'il existe même à peine une région à la surface du globe

qui n'ait été, à diverses reprises, submergée et puis soulevée.

Or, nous n'avons point admis tout cela sans raisons. Nos lecteurs ont vu par quelle longue série de preuves on peut démontrer que les roches stratifiées ont été, pour la plus grande partie, déposées *sous l'eau*. Ces preuves, nous les avons tirées : premièrement, de la nature et de la disposition des matériaux qui les composent; secondement, du caractère des débris organiques qu'elles contiennent. Or, puisqu'elles sont maintenant *au-dessus de l'eau*, il est clair qu'elles ont été soulevées ou que l'Océan s'est affaissé. De plus, si nous trouvons, comme il arrive souvent, deux couches en succession immédiate, l'une au-dessous, présentant les arbres d'une ancienne forêt encore debout avec leurs racines, l'autre au-dessus, abondant en débris d'animaux aquatiques, nous devrons conclure que, à l'époque où exista cette ancienne forêt, cette portion de la croûte terrestre était au-dessus du niveau de la mer; que plus tard, elle fut submergée; qu'un nouveau dépôt, dans lequel furent enfouis les restes marins, s'effectua au-dessus de l'ancienne végétation, et qu'enfin elle émergea au-dessus des eaux et devint de nouveau terre ferme. En résumé, quand une coupe verticale de l'écorce terrestre montre une série continue de couches alternant de cette façon, c'est une preuve que ce point particulier a été, à diverses reprises, au-dessus ou au-dessous des eaux, dans le cours des âges.

Toutes ces conclusions sont maintenant adoptées universellement parmi les géologues. L'écorce du globe, nous disent-ils, n'est point aussi immobile ni aussi inébranlable qu'on serait porté à le croire tout d'abord. Au contraire, depuis son commencement, elle a été sans cesse en mouvement : s'élevant ici, s'affaissant là; quelquefois avec un ébranlement soudain et convulsif qui soulève, plisse ou brise les roches les plus dures et les

plus résistantes, comme de faibles lits d'argile (1); quelquefois avec un mouvement lent et gradué, qui, tout en soulevant les îles et les continents, conserve à la surface des terres son aspect général, aux strates leur disposition et aux plus tendres fossiles leurs formes intactes. Des changements de ce genre ont eu lieu sur divers points du globe, même dans la période historique. On attribue ces changements à l'action de la chaleur souterraine. Une théorie si étonnante et si inattendue a besoin de s'appuyer sur des faits; les géologues en citent un grand nombre. Nous nous proposons d'en porter quelques-uns à la connaissance de nos lecteurs.

Et d'abord, il est important d'exposer clairement la doctrine que nous voulons examiner et confirmer. Nous n'avons point à nous occuper de l'origine de la chaleur interne du globe. C'est un point sur lequel les géologues eux-mêmes ne s'entendent pas. Les uns conjecturent que notre globe, lorsqu'il fut pour la première fois lancé dans l'espace, était à l'état de fusion ignée, c'est-à-dire que toute la matière solide qui le compose était alors fondue sous l'action d'une chaleur intense; que dans le cours des temps, cette chaleur diminuant peu à peu par l'effet du rayonnement, la surface se refroidit graduellement et se solidifia; qu'il en est résulté une sorte d'enveloppe extérieure de matière solide qui a crû en épaisseur à mesure que le refroidissement s'est poursuivi, et que l'état actuel de notre planète est le résultat de ce mode d'action continué jusqu'au jour présent, une masse ardente de matière minérale liquéfiée à l'intérieur, et à l'extérieur une croûte relativement mince de roche solide. D'autres supposent que la cha-

(1) On voit que l'auteur, si admirateur qu'il soit de la *théorie des causes actuelles*, ne rejette pas absolument les soulèvements brusques, les cataclysmes. (*Trad.*)

leur interne du globe est développée par l'action de combinaisons chimiques qui s'effectuent constamment dans les profondeurs de la terre. D'autres, encore, en cherchent la cause dans l'électricité et le magnétisme; mais ce ne sont là que des théories encore en discussion, dont la meilleure ne peut être considérée que comme une hypothèse satisfaisante. Du reste, ce n'est pas des causes de la chaleur interne que nous avons à nous occuper, c'est du fait de son existence et de la nature de ses effets. Est-il vrai qu'il règne très généralement une chaleur intense au-dessous de l'enveloppe superficielle du globe? Cette chaleur est-elle capable de produire les terribles révolutions qu'on lui attribue dans notre théorie géologique? Telles sont les questions auxquelles nous voulons consacrer toute notre attention.

C'est un fait très significatif que *plus on pénètre dans l'écorce terrestre, plus il y fait chaud.* Sans doute, pour une courte distance c'est le contraire qui est la vérité; lorsque nous commençons à descendre, nous trouvons qu'il fait plus froid qu'à la surface, parce que nous sommes soustraits à l'influence du soleil; mais, à un certain point, — à environ 15 mètres de profondeur dans nos climats, — l'influence de la chaleur solaire cesse de se faire sentir; au delà de cette limite, la température commence à s'élever, et plus l'on descend, plus la terre devient chaude. Ce fait général a été vérifié et confirmé par des expériences que l'on a faites dans toutes les parties du monde, sous tous les climats, sous toutes les latitudes, soit dans les houillères, soit dans les mines, soit dans les profondes cavernes souterraines. « Dans une même mine, dit sir John Herschel (1), chaque profondeur particulière a son degré particulier de chaleur qui ne varie jamais;

(1) *Familiar lectures on scientific subjects.* Londres, 1867, p. 9-10.

mais le point le plus profond est toujours le plus chaud, et cette chaleur augmente, non pas d'une manière insignifiante, mais avec une rapidité vraiment étonnante, environ dans la mesure d'un degré centigrade par 30 mètres (1), ce qui fait à peu près 33° par kilomètre! De sorte que si nous avions un puits qui fût profond d'un mille (1,600 mètres), on y trouverait la roche à la température de plus de 50°, température qui dépasse de beaucoup celle de nos jours d'été les plus chauds. » Or, si cette température continue de croître dans la même proportion jusqu'au centre de la terre, il est parfaitement certain que, à une distance assez faible de la surface, on aura une chaleur suffisamment intense pour réduire le granite le plus dur et le métal le plus réfractaire à l'état de fusion ignée.

Tout le monde connaît l'existence des sources d'eaux chaudes qui, de profondeurs inconnues, parviennent à la surface du sol, et qui, apparaissant comme elles font sur tous les points du globe, témoignent de l'existence d'une chaleur interne. A Bath, par exemple, en Angleterre, l'eau arrive des entrailles de la terre à une température de 117° Fahrenheit (47° centig.), et aux États-Unis, près du fleuve d'Arkansas, il y a une source dont les eaux indiquent une température de 180° (82° centig.), très voisine du point d'ébullition. Ce remarquable phénomène peut être étudié avec plus de facilité encore dans les *puits artésiens*, ainsi appelés de la province d'Artois, en France, où ils furent en usage

(1) Il serait plus strictement exact de dire que la mesure de l'accroissement de température varie considérablement, selon les lieux, bien qu'il soit toujours parfaitement vrai que la chaleur augmente avec la profondeur. Sir Charles Lyell rapporte un certain nombre d'expériences faites en Angleterre, en France, en Allemagne et en Italie, et montrant qu'un accroissement d'un degré Fahrenheit par 65 pieds (c'est-à-dire d'un degré centig. par 35 mètres), représente assez exactement la moyenne générale. — Voir *Principes de Géologie*, t. II, p. 262.

pour la première fois. Ces puits sont formés artificiellement en perçant les couches superficielles de la terre quelquefois à d'énormes profondeurs, jusqu'à ce qu'on atteigne l'eau. On a remarqué que l'eau est toujours chaude lorsqu'elle arrive de ces grandes profondeurs, et en outre, que sa température est en proportion de la profondeur du trou de sonde. Un puits de ce genre fut percé en 1834 à Grenelle, l'un des faubourgs de Paris, à une profondeur de plus de 550 mètres, et l'eau, qui jaillit avec une force surprenante, avait une température de 82° Fahrenheit (28° centig.), alors que la température moyenne de l'air dans les caves de l'observatoire de Paris n'est que de 53° (12° centig.). L'eau a depuis continué à jaillir et la température n'a jamais varié. A Salzwerth, en Allemagne, où le trou de sonde est encore plus profond, puisqu'il a 650 mètres environ, l'eau qui arrive à la surface est à 91° de notre thermomètre (33° centig.).

Nous avons aussi, en plusieurs contrées, les jets de vapeur qui s'échappent à une haute température des crevasses de la terre et qui nous révèlent l'existence d'eaux chaudes au-dessous, aussi clairement que la vapeur qui s'échappe de la cheminée de la locomotive ou du bec de la bouilloire. Les phénomènes de ce genre sont très communs en Italie, où ils se montrent quelquefois à divers intervalles sur une étendue de pays de 30 kilomètres de longueur. Mais c'est en Islande qu'ils se déploient dans leur plus haut degré de splendeur et de puissance. Sur la partie sud-ouest de l'île, dans un circuit de trois kilomètres, il y a près de cent sources jaillissantes appelées *geysers*, dont quelques-unes projettent violemment dans l'air, par intervalles, d'immenses volumes de vapeur et d'eau bouillante. Le grand geyser est un conduit naturel qui a trois mètres de large, qui descend dans la terre à une profondeur de 20 mètres, et qui s'élargit à sa partie supérieure

en un large bassin de 15 à 18 mètres de diamètre. Ce bassin, aussi bien que le conduit qui le fait communiquer avec l'intérieur de la terre, est tapissé d'une croûte siliceuse parfaitement unie, et généralement est rempli jusqu'au bord d'une eau admirablement limpide, à une température très voisine du point d'ébullition. L'état ordinaire de la source est un état de repos relatif, l'eau s'élevant lentement dans le conduit et se déchargeant ensuite par-dessus les bords du bassin pierreux. Quelques heures seulement séparent les éruptions. On entend d'abord des explosions souterraines analogues au bruit produit par une décharge lointaine d'artillerie. Puis une ébullition violente se produit, des nuages de vapeur se forment et des jets d'eau bouillante sont vomis dans les airs. Au bout de quelque temps, l'éruption cesse et tout redevient calme. Une fois par jour, ou à peu près, ces phénomènes se manifestent sur une échelle d'une grandeur extraordinaire; les explosions qui annoncent leur approche sont plus nombreuses et plus violentes que d'ordinaire; les volumes de vapeur lancés du cratère obscurcissent l'atmosphère dans l'espace de près d'un kilomètre de circuit, et, pendant un quart d'heure, une vaste colonne d'eau est projetée à une hauteur de 30 à 60 mètres. On trouve dans la Nouvelle-Zélande des geysers à peine moins grands et moins frappants, qui vomissent de l'eau à la température de 214° Fahrenheit (101° centig.), c'est-à-dire à deux degrés au-dessus du point d'ébullition.

Tels sont les symptômes évidents de la chaleur souterraine, — sources chaudes, jets de vapeur, fontaines d'eau bouillante, — qui se manifestent incessamment à la surface de la terre dans chaque quartier du globe. Mais il nous est donné quelquefois de contempler, pour ainsi dire, le feu souterrain lui-même, et d'obser-

ver son pouvoir sous une forme plus frappante et plus imposante. De temps en temps, l'élément igné, dans la fureur de sa rage, brise la prison qui le retient et se précipite vers la lumière du jour. Alors on voit des flammes jaillir du sein de la terre, des gouffres béants apparaissent, des mugissements sinistres se font entendre des profondeurs du sol, des nuages de cendres rouges sont projetés dans l'air à une grande hauteur, et des torrents de matière liquide incandescente, vomis de chaque crevasse, se répandent au loin sur les riantes campagnes et les paisibles villages, semant partout sur leur passage la désolation et la mort. Tels sont les phénomènes ordinaires d'un volcan en activité pendant la période d'éruption; et ces phénomènes, on peut les observer de nos jours encore sur la terre classique du mont Vésuve, où ils se manifestent assez fréquemment. Nous prendrons cependant pour exemple typique l'éruption de cette montagne en 1779. Elle ne fut pas, il est vrai, plus remarquable que les autres par sa violence ou par les catastrophes auxquelles elle donna lieu; mais elle eut l'avantage d'être soigneusement décrite par un témoin, sir William Hamilton, qui représentait alors le gouvernement anglais à la cour de Naples. Les circonstances diverses de cette éruption nous sont donc mieux connues que celles d'aucune autre éruption d'égale importance.

La montagne avait été pendant deux ans dans un état d'agitation presque continuelle. De temps à autre, des grondements souterrains se faisaient entendre, d'épaisses masses de fumée sortaient du cratère, des laves liquides et brûlantes s'écoulaient des crevasses sur les flancs de la montagne, et çà et là, au travers de ces crevasses, apparaissait le vif éclat des cavernes rocheuses, devenues semblables « à des fours chauffés au rouge ». Mais, au mois d'août 1779, l'éruption atteignit son plus haut degré. Le

dimanche 8, vers neuf heures du soir, d'après la description graphique de sir William Hamilton, « il y eut une forte détonation qui ébranla tellement les maisons de Portici et du voisinage que les habitants alarmés sortirent sur la rue. Plusieurs fenêtres furent brisées, et, comme je l'ai vu depuis, des murs furent lézardés par suite de l'ébranlement de l'air que détermina l'explosion. En un instant, une colonne transparente de matière liquide incandescente commença à s'élever, et, s'accroissant graduellement, atteignit une telle hauteur que tous ceux qui furent témoins de ce prodigieux spectacle furent frappés de crainte et d'admiration. On me croira à peine si j'affirme que, d'après l'appréciation qui me paraît la plus exacte, la hauteur de cette formidable colonne n'était pas moins de trois fois celle du Vésuve lui-même, qui, on le sait, s'élève à 1,200 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. D'énormes bouffées de fumée, aussi noires qu'on peut l'imaginer, se succédaient rapidement et accompagnaient les laves liquides, rouges et transparentes, dont le vif éclat était remplacé çà et là par une couleur plus sombre. Dans ces bouffées de fumée, au moment où elles sortaient du cratère, je pus apercevoir une lumière électrique, brillante, mais pâle, qui se répandait en zigzag. Les laves liquides, mêlées à des scories et à des pierres, après s'être élevées à une hauteur que je crois n'être pas inférieure à 3,000 mètres, retombaient perpendiculairement sur le Vésuve et recouvraient tout son cône, celui de la Somma en partie et la vallée qui les sépare. Les matières qui retombaient étant à peu près aussi ardentes et aussi embrasées que celles qui s'élevaient sans cesse du cratère, il en résultait un immense corps de feu qui pouvait avoir quatre kilomètres de large et qui, avec la hauteur extraordinaire mentionnée ci-dessus, échauffait les alentours à une distance de dix kilomètres. Les bois qui recouvraient la