

et pour faire comprendre la haute portée de cette théorie qui donne une explication naturelle de toutes les grandes actions géologiques qui ont agi sur la terre depuis sa création.

M. de Beaumont a essayé d'étendre sa théorie du parallélisme des rides d'une même époque aux principales chaînes qui traversent les autres continens; mais ce sont de simples aperçus sur lesquels il a voulu appeler l'attention des géologues. Les faits manquent pour établir de tels rapports, et nous nous contenterons ici d'avoir exposé ses vues relatives aux montagnes de l'Europe, parce qu'elles suffisent pour faire comprendre les idées du savant géologue qui les a émises ou réunies.

CHAPITRE VINGT-HUITIÈME.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

SUR LA

THÉORIE DES VOLCANS ET DES SOULÈVEMENS.

L'ACTION volcanique, en donnant à cette expression toute l'étendue possible, n'est pas un phénomène local, c'est une grande puissance qui agit sans cesse, qui modifie continuellement la croûte extérieure du globe, mais dont les effets ne sont sensibles pour nous qu'à certaines époques de recrudescence, où ils se manifestent alors avec une grande intensité. M. de Humboldt définit cette action : *l'influence qu'exerce l'intérieur d'une planète sur son enveloppe extérieure, dans les différens stades de son refroidissement.* C'est en effet cette action intérieure qui est la cause première des volcans, des tremblemens de terre et des soulèvemens. Nous l'avons déjà étudiée en parlant des eaux minérales et des tremblemens de terre; mais nous devons y revenir ici, comme ayant acquis maintenant les données nécessaires pour ramener à une même cause diversement modifiée, tous ces grands faits géologiques qui viennent de nous occuper dans les chapitres précédens.

Nous ne mettrons plus en doute la chaleur centrale, qu'un si grand nombre d'expériences ont démontrée

et qu'une foule de phénomènes attestent tous le jours ; mais nous allons essayer d'en faire l'application à la théorie des volcans et des soulèvements.

Lorsque le globe terrestre , primitivement incandescent , commença de se refroidir , les matières gazeuses , qui formaient l'atmosphère , commencèrent aussi à agir à leur point de contact avec les matières solides. Il s'établit donc une surface d'action aussi étendue que le globe lui-même et sur laquelle les phénomènes chimiques se passaient avec une activité telle qu'on peut la supposer à des matières non oxidées qui s'imprègnent d'oxigène , qui brûlent et s'oxident sur une aussi grande étendue. L'action volcanique était donc alors à la surface entière du globe , et notre planète devait projeter une vive lumière.

Nous ignorons quels étaient à cette époque les éléments qui se trouvaient à l'extérieur du globe , mais en voyant les oxides , nous pouvons connaître leurs radicaux , et nous savons que le silicium , l'aluminium , le calcium , etc. , étaient nécessairement ceux qui dominaient , et en même temps ceux que leur moindre pesanteur spécifique avait dû laisser à l'extérieur.

Ces corps , une fois oxidés , formèrent une croûte très-mince sur notre planète ; mais peu à peu elle augmenta en épaisseur , et cette croûte d'oxides fondus dut bientôt s'opposer à l'action de l'oxigène sur la terre , en formant autour d'elle une couche impénétrable. Dès lors l'action changea et diminua d'intensité. Les corps gazeux de l'atmosphère ne purent plus agir directement sur les corps oxidables de l'intérieur , et il dut s'opérer une sorte de *cémentation* , c'est-à-dire que l'oxigène était enlevé par un corps non oxidé à la couche qui le recouvrait ; celle-ci le puisait de suite dans la couche supérieure ; celle-ci au-dessus d'elle , et ainsi de suite jus-

qu'à ce qu'enfin l'oxigène fût puisé dans l'atmosphère. C'est un phénomène analogue à celui que présente le fer dans la fabrication de l'acier. On laisse pendant long-temps des barres de fer d'une certaine épaisseur en contact à une haute température avec du charbon. Ces deux substances ne peuvent agir qu'à leur surface de contact , le charbon ne peut pas entrer dans l'intérieur des barres de fer , et cependant il y pénètre , et le fer se change en acier , depuis la surface jusqu'au centre. Il est clair que cette combinaison se fait peu à peu et par un passage successif de molécules de charbon , par une sorte de déplacement au profit des parties intérieures , déplacement qui est tout de suite compensé par le charbon extérieur. Enfin , cette action cesse quand le morceau de fer tout entier est saturé de charbon.

Or , c'est une action tout-à-fait analogue qui a eu lieu sur la terre. Dès qu'une couche d'oxide a intercepté le contact immédiat de l'atmosphère , alors la cémentation a commencé et tout nous prouve qu'elle dure encore ; tout nous fait présumer qu'elle continuera tant qu'il y aura dans l'intérieur du globe des matières à oxidier , tant qu'il y aura à l'extérieur des matières oxidantes.

A mesure que la cémentation et le refroidissement auront lieu , l'eau devra nécessairement pénétrer dans la masse oxidée , et celle-ci devra s'en imbiber comme le ferait une sphère d'argile desséchée que l'on plongerait dans ce liquide et que l'on aurait préalablement échauffée auparavant. La surface , qui serait la première portion refroidie , absorberait l'eau la première. L'eau absorbée par la première couche passerait bientôt dans la seconde couche refroidie. Une troisième couche s'imbiberait du liquide qu'elle prendrait à la seconde , et pendant ce temps l'eau extérieure continuerait de

pénétrer. Il y aurait encore là un phénomène de cémentation ; car l'eau qui finirait par arriver jusqu'au centre, aurait nécessairement passé par toutes les couches extérieures. Si, dans cette supposition, le liquide était en très-petite proportion relativement à la sphère solide, il en résulterait que toute l'eau serait absorbée sans que l'affinité de cette sphère pour l'eau fut satisfaite.

La terre se trouve encore dans la même situation. L'eau y pénètre par imbibition ou par des fissures, à mesure qu'elle se refroidit ; il doit donc y avoir à la fois diminution d'eau et d'air à sa surface. Notre époque historique est trop courte, pour que nous ayons pu nous en apercevoir encore ; mais, selon toute apparence, des planètes plus petites sont déjà arrivées au point que nous atteindrons plus tard. La lune est privée d'eau et d'atmosphère, parce que probablement elle n'avait, comme la terre, qu'une couche d'eau et une masse d'air beaucoup trop petite pour qu'il y ait un reste après la saturation.

En admettant cette opinion, que les observations sont loin de démentir, l'avenir de notre planète serait gravement compromis, puisqu'elle finirait par manquer d'eau et d'air, ou du moins d'air oxigéné ; car rien ne nous prouve encore que l'azote soit absorbé comme l'oxigène.

Il résulterait de cette manière de voir qu'il existe dans chaque planète qui ne serait pas complètement éteinte, une surface d'action située à des profondeurs variables pour chacune d'elles, mais que nous savons du moins être au-dessous de la surface pour toutes celles de notre système planétaire, puisque aucune, le soleil excepté, n'est lumineuse à l'extérieur.

Pour la terre, il est bien difficile de déterminer la

position actuelle de cette surface d'action. Elle doit s'abaisser toujours, quoique très-lentement, et nous allons essayer de démontrer comment les phénomènes volcaniques ont toujours été en rapport avec son plus ou moins de distance de l'extérieur.

L'air et l'eau ne doivent pas atteindre la même profondeur. Cette dernière doit s'arrêter à une certaine distance qui n'est probablement pas la limite de l'air, en sorte qu'en tenant compte des affinités capillaires qui permettent à ces deux corps de pénétrer à une assez grande profondeur, il doit encore exister deux surfaces d'action superposées, ou du moins, les réactions doivent s'opérer entre les deux limites. Nous ne savons pas maintenant quel est le genre d'action qui s'exerce à une si grande profondeur et sous une aussi forte pression ; il en résulte, selon toute apparence, des matières solides oxidées qui s'échappent naturellement des volcans sous la forme de laves plus ou moins modifiées, et qui autrefois ont formé les autres roches d'épanchement, plus, des matières gazeuses qui sortent aussi par les soupiraux volcaniques, par les fentes du terrain, avec les eaux minérales, etc. Mais à l'exception des gaz qui s'échappent avec ces eaux, on ne connaît rien de la nature des émanations gazeuses des volcans en activité. On sait qu'ils laissent dégager de l'acide hydrochlorique, de l'acide sulfureux, de l'azote et de l'hydrogène peut-être carboné, ou plus souvent sulfuré, et de l'acide carbonique ; mais en quelle proportion ces matières s'échappent-elles de leur bouche, et d'ailleurs a-t-on jamais recueilli les gaz pendant les paroxismes, et sur plusieurs volcans en éruption ? Il faut donc attendre des analyses faites dans les conditions convenables, et en assez grand nombre, ce qui sera toujours très-difficile à obtenir.

Les mêmes inconvéniens n'existent pas pour les matières solides qui ont fait éruption à travers la croûte du globe, à différentes époques; car pour celles-ci on observe réellement des différences. Les granites, les porphyres, les siénites, les trachytes, les basaltes et les laves modernes offrent dans leur composition des différences très-remarquables, et le quartz, à l'état de pureté, semble diminuer en quantité dans toutes les roches, à mesure qu'elles approchent de l'époque actuelle. Il semblerait donc que le silicium qui a produit le quartz et qui est aussi un des corps simples solides les plus légers, était à la partie supérieure du bain de matières fondues, lorsqu'il commença de se consolider.

Il semble qu'il y ait eu aussi pour les matières gazeuses un ordre successif d'apparition; car jusqu'à présent on n'a guère reconnu l'acide carbonique dans les éruptions volcaniques, et il est au contraire très-commun quand les volcans s'éteignent, dans les sources thermales, dans les salses, enfin chaque fois que l'action volcanique est sur son déclin ou présente peu d'activité.

Il se passe donc dans l'intérieur de la terre des actions chimiques et d'autres qui sont tout-à-fait mécaniques, et qui sont dues principalement à la vapeur d'eau; mais celle-ci seule ne saurait occasionner les grands phénomènes de dislocation ni les éruptions volcaniques, tandis que l'on peut très-bien supposer que certaines actions chimiques produisent des matières gazeuses dont la tension détermine quelques effets dynamiques sur la croûte du globe. Cela est d'autant plus probable, que l'on voit les laves qui sont fortement comprimées avant leur sortie, être chassées et soulevées par des gaz abondans. Ces mêmes laves, quand elles sortent, se gonflent, se tuméfient et laissent encore dégager une grande quantité de gaz.

L'inégalité de refroidissement dans la partie extérieure et intérieure de la terre peut aussi contribuer aux phénomènes volcaniques. Aussi, M. Cordier les considère-t-il comme un simple effet de retrait, comme un résultat simple et naturel du refroidissement extérieur du globe, un effet purement thermométrique. La masse fluide interne, dit ce savant géologue, est soumise à une pression croissante qui est occasionnée par deux forces dont la puissance est immense, quoique les effets soient lents et peu sensibles. D'une part, l'écorce solide se contracte de plus en plus, à mesure que la température diminue, et cette contraction est nécessairement plus grande que celle que la masse centrale éprouve dans le même temps; de l'autre, cette même enveloppe, par suite de l'accélération insensible du mouvement de rotation, perd de sa capacité intérieure, à mesure qu'elle s'éloigne davantage de la forme sphérique. Les matières fluides intérieures sont forcées de s'épancher au dehors, sous forme de lave, par les événements habituels qu'on a nommés volcans, et avec les circonstances que l'accumulation préalable des matières gazeuses qui sont naturellement produites à l'intérieur, donne aux éruptions.

M. Cordier regarde comme le *maximum* de la masse des matières qui s'échappent à chaque éruption, le volume d'un kilomètre cube, masse bien peu considérable relativement à celle du globe. Répartie à sa surface, elle formerait une couche qui n'aurait pas $\frac{1}{500}$ de millimètre d'épaisseur. En termes exacts, si l'on suppose à l'écorce de la terre une épaisseur moyenne de vingt lieues de 5,000 mètres, il suffirait dans cette enveloppe d'une contraction capable de raccourcir le rayon moyen de la masse centrale de $\frac{1}{494}$ de millimètre pour produire la matière d'une éruption. Si, en par-

tant de ces données, continue M. Cordier, on veut supposer que la contraction seule produit le phénomène, et que par toute la terre il se fait cinq éruptions par an, on arrive à trouver que la différence entre la contraction de l'écorce consolidée et celle de la masse interne, ne raccourcit le rayon de cette masse que d'un millimètre par siècle. S'il n'y a que deux éruptions par an, le même raccourcissement s'opère en deux siècles et demi. On voit que, dans tous les cas, il suffit d'une action excessivement petite pour produire les phénomènes (1).

M. Cordier part d'un principe qu'il met lui-même en doute la *flexibilité de l'écorce terrestre*; mais en supposant que les effets dont il parle, la *flexibilité* et le *retrait* de la partie extérieure aient eu lieu dans le principe et aient occasionné les premières éruptions, qui n'avaient à percer qu'une enveloppe encore très-mince, il ne s'ensuit pas que les mêmes résultats doivent encore se produire. Il est à peu près certain que le refroidissement s'opérant d'abord à la surface du globe, l'extérieur a dû se contracter plus que la partie interne. L'inverse peut maintenant avoir lieu, et tandis que M. Cordier explique par la pression, les éruptions et les phénomènes volcaniques, M. de Beaumont essaie de remonter aux causes primitives des soulèvements par des effets contraires. Loin d'admettre que la croûte extérieure se contracte par le refroidissement de manière à comprimer la masse intérieure encore liquide ou pâteuse, M. de Beaumont pense que dans l'état avancé où se trouve maintenant le refroidissement séculaire de notre globe, il doit exister un rapport tout différent de

(1) CORDIER, *Annales des Mines*, 2^e série, 1827, p. 131.

celui qui est exprimé par M. Cordier entre la capacité de son enveloppe solide et le volume de sa masse interne. « Dans un temps donné, dit M. de Beaumont, la température de l'intérieur des planètes s'abaisse d'une quantité beaucoup plus grande que celle de leur surface, dont le refroidissement est aujourd'hui presque insensible. Nous ignorons sans doute quelles sont les propriétés physiques des matières dont l'intérieur de ces corps est composé; mais les analogies les plus naturelles portent à penser que l'inégalité de refroidissement, dont on vient de parler, doit mettre leur enveloppe dans la nécessité de diminuer sans cesse de capacité, malgré la constance presque rigoureuse de leur température, pour ne pas cesser d'embrasser exactement leurs masses internes dont la température décroît sensiblement. Elles doivent par suite s'écarter légèrement et d'une manière progressive de la figure sphéroïdale qui leur convient, et qui correspond à un *maximum* de capacité; et la tendance graduellement croissante à revenir à une figure à peu près de cette nature, soit qu'elle agisse seule, ou qu'elle se combine avec les autres causes intérieures de changement que les planètes peuvent renfermer, pourrait peut-être rendre complètement raison de la formation subite des rides et des diverses tubérosités qui se sont produites par intervalles dans la croûte extérieure de la terre, et probablement aussi de tous les autres corps planétaires (1). »

En admettant la théorie de M. Cordier, relativement au retrait et aux phénomènes de pression, les soulèvements des chaînes de montagnes seraient l'effet des érup-

(1) ÉLIE DE BEAUMONT, *sur les Soulèvements des montagnes*, dans Labèche, p. 665.