

Ce document est extrait de la base de données textuelles Frantext réalisée par l'Institut National de la Langue Française (InaLF)

Note sur les émanations volcaniques et métallifères [Document électronique] / par M. Élie de Beaumont

p1

Dans les leçons que j' ai faites au collège de France pendant l' année scolaire qui vient de finir / l 846-l 847 / j' ai traité des *émanations* volcaniques et métallifères ; *j' ai fait à cette occasion quelques recherches, et je me suis livré à divers rapprochements dont je demande à la société la permission de lui soumettre brièvement les principaux résultats. Le globe terrestre renferme dans son intérieur un immense foyer, dont l' incessante activité nous est révélée par les éruptions volcaniques et par tous les phénomènes qui s' y rattachent. Les éruptions volcaniques amènent à la surface du globe, d' une part, des roches en fusion, des laves, et tous leurs accessoires ; de l' autre, des matières volatilisées ou entraînées à l' état moléculaire, de la vapeur d' eau, des gaz, tels que l' acide hydrochlorique, l' acide hydrosulfurique, l' acide carbonique ; des sels, tels que les hydrochlorates de soude, d' ammoniaque, de fer, de cuivre, etc. Ces matières volatilisées se dégagent, tantôt des cratères en activité,*

p2

*tantôt des laves qui coulent, tantôt des fissures voisines des volcans, comme les étuves de Néron, les geysers, et on se trouve naturellement conduit à y rattacher d' autres jets de vapeurs chaudes qui se dégagent à des distances plus ou moins grandes des volcans actifs, comme les soffioni et les lagonis de la Toscane, ainsi que les sources thermales et la plupart des sources minérales. Ces émanations des foyers intérieurs du globe donnent généralement naissance à des masses plus ou moins consistantes, tels que le soufre et les sels des solfatares, les dépôts des eaux minérales, etc. On peut donc distinguer deux classes de produits volcaniques, ceux qui sont volcaniques à la manière des laves , et ceux qui sont volcaniques à la manière du soufre, du sel ammoniac , etc. à toutes les époques de l' histoire du globe, les phénomènes éruptifs ont donné des*

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

*produits appartenant à ces deux classes, mais la nature des uns et des autres a varié avec le temps. Si on remonte le cours des périodes géologiques, on voit les matières volcaniques à la manière des laves devenir de plus en plus riches en silice. Les plus riches en silice, les granites, sont, en masse, les plus anciennes. On voit en même temps les matières volcaniques à la manière du soufre devenir de plus en plus variées. Je désigne l'ensemble de ces produits par la dénomination d'émansions volcaniques et métallifères, parce que la plupart des filons métalliques me paraissent s'y rapporter. Il faut même y comprendre un grand nombre de gîtes de minéraux pierreux. Dans l'état actuel de la nature, les deux classes de produits sont presque complètement distinctes. Mais à l'origine des choses elles l'étaient beaucoup moins. On est conduit à concevoir qu'au moment où la surface du globe terrestre en fusion a commencé à se refroidir les différents corps simples s'y trouvaient répandus sans aucun ordre déterminé. Tout semble avoir été confondu dans ce chaos primitif où les premières masses granitiques ont pris naissance ; mais peu à peu les matières éruptives à la manière des laves sont devenues moins siliceuses, et les émanations volcaniques à la manière du soufre, qui à l'origine renfermaient presque tous les corps simples, sont devenues de plus en plus pauvres. C'est sur cette marche graduelle des phénomènes chimiques naturels que je désirerais fixer un moment l'attention de la société. M De La Bèche a signalé depuis longtemps ce fait extrêmement remarquable, que, parmi les 59 ou 60 corps simples dont se compose*

p3

*aujourd'hui le répertoire de la chimie, 16 seulement sont généralement répandus en quantités appréciables à la surface du globe. Ces 16 corps, indiqués par des astérisques dans la première colonne du tableau placé à la fin de cette note / où les corps sont rangés dans l'ordre adopté récemment par M Berzelius, en commençant par les plus électro-positifs /, sont le potassium, le sodium, le calcium, le magnésium, l'aluminium, le manganèse, le fer, l'hydrogène, le silicium, le carbone, le phosphore, l'azote, le soufre, l'oxygène, le chlore et le fluor. Quoique généralement répandus à la surface du globe, ces 16 corps simples sont bien loin de s'y présenter avec une égale abondance. Quelques uns d'entre eux, comme le manganèse, le phosphore et le fluor, ne se rencontrent que rarement en quantité un peu notable. D'un autre côté, quelques corps simples, qui ne sont pas compris au nombre des 16 signalés par M De La Bèche comme les plus généralement répandus, ne le cèdent que peu à quelques uns de ces derniers. Ainsi on peut remarquer que, d'après le tableau même, le titane est très généralement répandu dans l'écorce minérale du globe terrestre ; mais il ne se présente que très rarement avec abondance. On peut ajouter que le brome et l'iode accompagnent très habituellement le chlore, et sont par*

conséquent à peu près aussi répandus que lui, quoique en proportion beaucoup moindre. On peut dire à peu près la même chose du *selenium*, satellite assez habituel du soufre. Ces remarques porteraient à 20 le nombre des corps simples très généralement répandus. Mais sur ces 20 corps simples, 12 seulement, c'est-à-dire (..) environ des corps simples connus, se rencontrent fréquemment et en abondance. Les substances minérales fixes et solides à la température ordinaire, dont se composent les diverses espèces de laves produites par les volcans actuels, renferment 14 corps simples, indiqués par des astérisques dans la deuxième colonne du tableau placé à la fin de cette note. Ces corps sont le *potassium*, le sodium, le calcium, le magnésium, l'aluminium, le *manganèse*, le fer, l'*hydrogène*, le *silicium*, le titane, le soufre, l'oxygène, le chlore, le fluor. Ces 14 corps simples sont tous compris, à l'exception du titane, parmi les 16 corps simples signalés comme les plus généralement répandus.

p4

Quatre d'entre eux ne se présentent dans les laves solidifiées que d'une manière exceptionnelle, comme par exemple le soufre et l'hydrogène dans l'acide sulfurique et l'eau de la Haüyne contenus dans la lave de Niedermendig, le chlore dans la sodalite qui forme un des éléments essentiels des laves du Vésuve, le fluor dans quelques laves de mica qui contiennent certains produits volcaniques modernes. Ces quatre corps sont réellement étrangers à la plupart des laves, qui ne contiennent par conséquent que 10 des corps simples indiqués, tous compris, à l'exception du titane, parmi les 16 corps simples signalés par M De La Bèche comme les plus répandus à la surface du globe. Les roches volcaniques anciennes contiennent 15 corps simples indiqués dans la troisième colonne du tableau ci-après. Ce sont les mêmes que ceux que l'on rencontre dans les roches volcaniques actuelles, auxquels s'ajoute le phosphore à cause de la chaux phosphatée signalée dans quelques roches volcaniques anciennes, mais qui y est très rare. Sous le rapport de la rareté de quelques uns d'entre eux, ces corps simples peuvent donner lieu aux mêmes remarques que ceux contenus dans les roches volcaniques actuelles. Les roches volcaniques actuelles et les roches volcaniques anciennes ont très habituellement pour base des feldspaths non saturés de silice où les rapports entre les quantités d'oxygène contenues dans l'alcali, l'alumine et la silice sont comme les nombres 1 : 3 : 6 / labrador /, 1 : 3 : 8 / andesine, amphigène /, 1 : 3 : 9 / oligoklase /, et des pyroxènes où le rapport de l'oxygène des bases à celui de la silice est comme les nombres 4 : 8. Certaines laves trachytiques et certains trachytes contiennent seuls des feldspaths saturés, où les rapports des quantités d'oxygène, de l'alcali, de l'alumine et de la silice sont comme les nombres 1 : 3 : 12, et de l'amphibole où le rapport entre les quantités d'oxygène des bases et de la silice

est comme 4 : 9. Certains trachytes seulement contiennent dans quelques cas des grains de quartz isolés. Toutes les roches volcaniques contiennent au contraire, généralement, du fer oxidulé titanifère qu' on peut considérer comme un reste de base qui, ne trouvant pas à s' unir à la silice, s' est combiné avec une quantité variable d' acide titanique, par rapport auquel il s' est toujours trouvé en grand excès. Le caractère général de toutes ces roches est de contenir un excès de base plus ou moins considérable, et par conséquent d' être basiques ou au moins à peu près neutres.

p5

La 4 e colonne du tableau est consacrée à des roches éruptives, dont le mode d' éruption paraît avoir différé sous plusieurs rapports de celui des roches volcaniques, notamment par la rareté beaucoup plus grande des scories, mais qui se distinguent encore par leur caractère essentiellement basique , comme les serpentines et une foule de roches de trapp où domine le labrador. On trouve dans ces roches, comme l' indique la 4 e colonne du tableau, 3 o corps simples, qui comprennent tous ceux déjà signalés dans les roches volcaniques actuelles et anciennes, auxquels s' ajoutent le cobalt, le zinc, le plomb, le bismuth, le cuivre, l' argent, le palladium, le rhodium, le ruthenium, l' iridium, le platine, l' osmium, l' or, le chrome et l' arsenic . La plupart de ces métaux y sont, à la vérité, fort rares, notamment le palladium, le rhodium, le ruthenium, l' iridium, le platine, l' osmium, qui ne s' y trouvent jamais qu' à l' état natif, et qu' on pourrait peut-être y considérer comme accidentels. Les corps simples, qui sont abondants dans ces roches, sont généralement les mêmes que dans les roches volcaniques / sauf la prédominance de la magnésie dans les serpentines /. Le caractère essentiellement *basique* de toutes ces roches leur donne des rapports frappants avec les roches volcaniques, rapports qui ont beaucoup contribué à faire admettre par les géologues modernes leur origine ignée. On peut seulement remarquer que l' eau, très rare comme élément essentiel dans les roches volcaniques modernes, d' où elle s' est presque toujours dégagée au moment de leur solidification, est moins rare dans les roches volcaniques anciennes, dont plusieurs comptent des zéolithes hydratées au nombre de leurs éléments essentiels, et moins rares encore dans les roches éruptives basiques, où le diallage et la serpentine en contiennent constamment. Pour achever de passer en revue les principales roches éruptives, il nous reste à considérer celles qu' on peut regarder, par opposition aux précédentes, comme essentiellement *acidifères* , c' est-à-dire celles dans la composition desquelles entrent essentiellement des feldspaths saturés de silice, où les quantités d' oxygène de l' alcali, de l' alumine et de la silice sont comme les nombres 1 : 3 : 1 2, et qui contiennent en outre généralement des grains de quartz disséminés : tels sont les porphyres quartzifères, le diorite, la syénite, la protogine,

le granite et quelques autres roches qu' on peut considérer comme des dégénérescences ou des monstruosités du granite, telles que le granite à grandes parties, le feldspath lamelleux, la pegmatite, la leptynite, l' hyalomictite, l' hyalotourmalite, etc.

p6

Afin d' abréger, j' ai considéré toutes ces roches éruptives, acidifères, *In Globo*, et je leur ai consacré la 5 e colonne du tableau qui termine cette note, colonne que j' ai désignée comme se rapportant simplement au granite. Au nombre des traits caractéristiques qui distinguent essentiellement les roches acidifères, on doit remarquer le grand nombre des corps simples qui entrent dans la composition, soit de leurs éléments essentiels, soit des minéraux qui s' y trouvent plus ou moins habituellement disséminés. Ces corps simples, indiqués par des astérisques dans la 5 e colonne du tableau, sont au nombre de 42. On trouve parmi eux tous ceux qui existent dans les roches volcaniques et basiques, à l' exception du platine et de quelques uns des métaux qui l' accompagnent constamment / rhodium, ruthenium, iridium, osmium / et de plus les 17 suivants : le *lithium*, l' *yttrium*, le *glucinium*, le zirconium, le thorium, le cérium, le lanthane, le *didymium*, l' *urane*, l' *étain*, le *carbone*, le *bore*, le tantale, le niobium, le pélopium, le tungstène, le *molybdène* . Grâce à la présence de ces 17 corps, le nombre des corps simples qui existent dans les roches éruptives acidifères est beaucoup plus grand que celui des corps simples qui sont connus pour se trouver dans les roches volcaniques et même dans les roches éruptives basiques. Ce fait est, si je ne me trompe, un des plus saillants que présente la distribution des corps simples dans l' écorce minérale du globe terrestre. Il est d' autant plus remarquable que les corps simples dont il s' agit, loin de se trouver à l' état natif dans les roches qui les renferment et de pouvoir, jusqu' à un certain point, y être considérés comme accidentels, ainsi que cela a lieu dans les roches basiques pour les métaux de la famille du platine , s' y trouvent généralement oxidés et engagés dans des combinaisons plus ou moins complexes, dont la nature peut fournir des données sur les phénomènes physiques et chimiques qui ont présidé à la formation des masses qui les renferment. Les minéraux variés dans lesquels entrent ces corps simples s' observent surtout dans les roches acidifères les plus cristallines, telles que les granites à grandes parties, les pegmatites, les hyalomictes, etc. ; ce qui peut faire conjecturer que leur présence est en rapport avec le fait encore si problématique de la cristallinité remarquable de ces mêmes roches . Cette circonstance exigera, pour être bien appréciée, que nous prenions en considération la connexion qui existe aussi entre les

p7

roches acidifères les plus cristallines et les roches métamorphiques qui les accompagnent le plus habituellement / gneiss, micaschistes, etc. /, ainsi qu' entre les roches acidifères les plus cristallines et une classe particulière et très nombreuse des gîtes des minéraux que j' ai désignés collectivement / en prenant la partie pour le tout / sous le nom de *filons stannifères* . J' ai consacré la 6 e colonne du tableau aux *filons stannifères* , *en comprenant dans cette catégorie les filons, petits filons et amas qui contiennent des minerais d' étain ou même seulement les substances qui, comme les minerais de tungstène et de tantale, sont généralement accompagnées d' étain et en sont en quelque sorte les représentants. Cette catégorie de gîtes minéraux est la plus riche de toutes en corps simples ; on y en compte 48, c' est-à-dire les (..) des corps simples connus. Parmi eux se trouvent tous les corps simples signalés dans les granites, à l' exception du thorium qui n' y a pas encore été reconnu, et on y trouve en outre sept autres corps : le barium, le nickel, le cadmium, le vanadium, le tellure, l' antimoine, le sélénium , dont quelques uns seront peut-être découverts dans les granites à la suite de recherches plus suivies, et qui tous se retrouvent dans les filons ordinaires . La nature spéciale des filons stannifères ne peut être bien appréciée que par comparaison avec les filons ordinaires, c' est-à-dire avec ceux dans lesquels s' exploitent les métaux les plus employés, tels que le plomb, l' argent, le cuivre, le fer. J' ai consacré la 7 e colonne du tableau à ces derniers filons, qu' on pourrait désigner aussi sous le nom de filons plombifères* , en raison de ce que les filons de galène argentifère peuvent en être considérés comme le type le mieux caractérisé, et j' y ai réuni les masses cristallines contenues dans les *géodes* qu' on trouve fréquemment dans les *amygdaloïdes* des roches basiques, dans les fissures des *septaria* d' un grand nombre de formations et dans diverses cavités des terrains sédimentaires. Cette classe, très nombreuse et très variée, des gîtes de minéraux, est encore très riche en corps simples. On y en compte 43, dont 5 seulement, le *strontium*, le *mercure*, le platine, l' iode et le brome , *n' ont pas été signalés dans les gîtes stannifères ; mais ce qui les caractérise particulièrement, c' est, d' une part , l' absence de lo des corps simples connus dans les gîtes stannifères, le lithium, l' yttrium, le zirconium, le cérium, le lanthane, le didymium, le tantale, le niobium, le pelopium, le tungstène , corps éminemment oxidables et dont les oxides jouent souvent le rôle d' acides, et de l' autre, la proportion très différente dans laquelle*

p8

*les corps communs aux deux listes se trouvent dans les deux classes de gîtes ; car l' étain, le molybdène ne sont abondants que dans les gîtes stannifères, tandis que le barium, le plomb, l' argent ne sont abondants que dans les filons*

ordinaires. Parmi les 59 corps simples admis dans le tableau, 6 seulement : le thorium, le rhodium, le ruthenium, l'iridium, l'osmium, l'azote, ne se trouvent ni dans l'une ni dans l'autre liste. Le *thorium* est extrêmement rare, même dans les granites ; les autres, dont les combinaisons sont généralement peu stables et qui se fixent difficilement, sont compris dans le nombre des corps qu'on rencontre à l'état natif. La liste des corps simples qu'on trouve dans les filons ordinaires prend un nouvel intérêt lorsqu'on la compare avec celle des corps simples qui, d'après les travaux d'un grand nombre de chimistes, notamment d'après ceux de M Berzélius, et ceux plus récents de Mm Bischof et Kopp, se trouvent dans les eaux minérales. J'ai consacré à cette dernière la 8<sup>e</sup> colonne du tableau. Elle comprend 25 corps simples et elle n'est, pour ainsi dire, qu'un extrait de la liste des corps simples trouvés dans les filons ordinaires, car l'azote est, parmi tous les corps qui s'y trouvent, le seul qui ne se trouve pas en même temps dans les filons. Enfin, les listes des corps simples qui se rencontrent dans les émanations des volcans actuels n'est elle-même, en quelque sorte, qu'un extrait de celle des corps simples qui se trouvent dans les sources minérales. Cette liste, à laquelle j'ai consacré la 9<sup>e</sup> colonne du tableau, se compose de 19 corps simples, dont 3 seulement, le *cobalt*, le *plomb* et le *sélénium*, qui n'y figurent que pour des quantités très peu considérables, manquent à la liste des corps simples qui se trouvent dans les eaux minérales. Parmi les 19 corps simples trouvés dans les émanations des volcans actuels on trouve, sauf le *magnésium*, le *titane* et le *fluor*, tous les corps simples qui entrent dans la composition des roches volcaniques actuelles. On y trouve de plus le *cobalt*, le *plomb*, le *cuivre*, le *carbone*, le *bore*, l'*arsenic*, l'*azote*, le *sélénium*. Ces derniers rapprochent la liste des corps simples trouvés dans les émanations volcaniques de celle des corps simples trouvés dans les sources minérales et dans les filons, et ce rapprochement est d'autant plus important que les 11 corps simples qui se trouvent à la fois dans les laves et dans les émanations des volcans actuels se trouvent aussi dans les sources minérales et dans les filons. à l'égard de ces corps, la différence entre les deux catégories de gisements consiste

p9

essentiellement dans l'état de combinaison dans lequel ces corps s'y trouvent. Je reviendrai, ci-après, sur ce dernier point, mais auparavant je dois jeter un coup d'oeil sur les trois dernières colonnes du tableau. J'ai consacré la 10<sup>e</sup> aux corps simples qui se rencontrent sur la surface du globe à l'état natif. Ces corps sont au nombre de 20, et ils paraissent figurer à différents titres dans cette liste supplémentaire. Les uns, comme le *palladium*, le *rhodium*, le *ruthenium*, l'*iridium*, le *platine*, semblent relégués complètement ou presque complètement dans cette catégorie, à cause de l'instabilité des

*combinaisons qu' ils peuvent contracter avec d' autres corps. Ils ne forment guère de combinaisons stables qu' entre eux ; ils se trouvent généralement ensemble et paraissent constituer comme un monde à part au milieu du reste du monde minéralogique. Aussi les désigne-t-on assez habituellement d' une manière collective sous le nom de métaux de la famille du platine . L' or et l' azote semblent aussi devoir, en grande partie, le privilège de figurer dans cette colonne à l' instabilité de leurs combinaisons . Le plomb, le bismuth, le cuivre, le mercure, l' argent, le carbone, le tellure, l' antimoine, l' arsenic, le sélénium, le soufre, l' oxygène , semblent ne se trouver dans cette liste qu' en raison de circonstances accidentelles qui les ont soustraits aux combinaisons qu' ils auraient pu contracter. J' ai indiqué, dans la lie colonne, les corps simples qui ont été trouvés dans les aérolithes, d' après les recherches que M Angelot a consignées dans deux volumes précédents du bulletin. Ces corps / en ne tenant compte que de ceux dont l' existence est bien constatée / sont au nombre de 2 i. Tous sont des corps déjà connus et même assez répandus à la surface du globe terrestre ; l 5 d' entre eux sont compris dans la liste des l 6 corps simples signalés par M De La Bèche, comme les plus répandus à la surface de la terre. Le fluor manque, mais on trouve en revanche 4 autres corps assez communs aussi à la surface du globe ; le nickel, le cobalt, le cuivre et le chrome . Je ne puis que renvoyer aux ingénieux mémoires de M Angelot pour les conclusions à tirer de cette identité des corps simples qui nous sont venus de l' extérieur, avec ceux que notre planète possédait déjà en abondance. Enfin, j' ai consacré la l 2 e et dernière colonne de ce tableau à*

p10

*l' indication des corps simples qui entrent généralement dans la composition des corps organisés. Ces corps sont au nombre de l 6 , et ce sont précisément les mêmes que les l 6 corps indiqués d' après M De La Bèche, dans la Ire colonne du tableau, comme les plus répandus à la surface du globe. Cette identité montre que la surface du globe renferme dans presque toutes ses parties tout ce qui est essentiel à l' existence des êtres organisés ; elle fournit un nouvel et frappant exemple de l' harmonie qui existe entre toutes les parties de la nature. Les l 6 corps dont il s' agit se trouvant tous soit dans des productions volcaniques , soit dans les eaux minérales, on voit que la nature a pourvu non seulement à l' établissement, mais à la conservation de cette harmonie indispensable. Le globe en vieillissant ne cessera jamais de fournir aux êtres organisés tous les éléments nécessaires à leur existence. Après avoir ainsi jeté un premier coup d' oeil sur l' ensemble du sujet de cette note, je dois entrer dans un examen plus circonstancié des principaux gîtes métallifères et des circonstances qui paraissent devoir nous en révéler l' origine. J' ai déjà fait remarquer que la liste des l 9 corps simples qui figurent dans les émanations des volcans*

*actuels est en quelque sorte un extrait de la liste des 25 corps simples qui ont été reconnus dans les eaux minérales. Parmi les 19 premiers je n'en trouve en effet que trois, le cobalt, le plomb et le selenium qui ne figurent pas parmi les 25 autres. Or ces trois corps sont si peu abondants dans les émanations volcaniques qu'on ne saurait attacher une grande importance à une telle différence. Parmi les 25 corps trouvés dans les eaux minérales 9 n'ont pas encore été trouvés dans les émanations volcaniques, ce sont : le lithium, le barium, le strontium, le magnésium, le zinc, le phosphore, l'iode, le brome, le fluor. Cette différence me paraît elle-même peu importante. Elle tient peut-être simplement à ce que les produits des émanations volcaniques sont bien loin d'avoir été l'objet d'analyses chimiques aussi multipliées et aussi soignées que les eaux minérales dont plusieurs chimistes éminents se sont occupés avec un soin minutieux. Tout me conduit à présumer que ces deux listes seront identiques lorsqu'elles seront complètes l'une et l'autre, et je suis d'autant plus porté à le croire que les corps qui se trouvent dans l'une et dans l'autre se présentent au même état physique et chimique dans les deux classes de produits. Le soufre possède deux systèmes cristallins, l'un propre au soufre qui a cristallisé par la voie humide, l'autre au soufre fondu*

p11

*qu'on a laissé refroidir. Or le soufre qui cristallise dans les fissures des cratères des volcans cristallise dans le même système cristallin que celui que déposent les sources minérales, et cela est naturel, puisque dans les cratères des volcans le soufre cristallise au milieu d'un dégagement abondant de vapeur d'eau. Le gypse qui cristallise dans les fissures de certains cratères volcaniques est hydraté comme celui qui est déposé par certaines eaux minérales. En un mot les matières qui sont volcaniques à la manière du soufre sont des produits de la voie humide, de même que les dépôts des sources thermales sont des produits de la chaleur, et ces deux classes de produits ne diffèrent que par la forme extérieure des phénomènes qui les amènent à la surface du globe. Ils ont au fond la même origine et ne constituent pas deux classes réellement distinctes. Les vapeurs qui se dégagent, soit des laves qui se refroidissent, soit des fissures des cratères, produisent quelquefois, en se condensant, des filets d'eau chaude chargée de différents sels, qui sont de véritables sources thermales. Un grand nombre de sources thermales ont probablement une origine de ce genre. Elles proviennent, comme les émanations volcaniques, d'une distillation ou d'une sublimation naturelle. Ce serait une supposition gratuite que d'admettre en géologie la sublimation isolée, la sublimation sèche de telle ou telle substance qui paraît avoir joué un rôle dans un phénomène particulier. La nature actuelle ne nous offre pas d'exemples de phénomènes de ce genre. Mais une sublimation, une distillation, un entraînement*

*moléculaire, ayant la vapeur d'eau ou l'eau condensée pour auxiliaire et pour véhicule, sont des phénomènes dont les exemples abondent sous nos yeux et qui peuvent même avoir été plus fréquents et plus variés encore pendant les périodes géologiques qu'ils ne le sont de nos jours. Les émanations volcaniques et les sources minérales donnent naissance à différents dépôts. Les vapeurs dégagées par les volcans engendrent les solfatares où se trouvent, avec le soufre, des chlorures alcalins et métalliques, de l'hydrochlorate d'ammoniaque, du gypse et d'autres sulfates, etc. Les sources minérales douées de la puissance chimique la moins énergique produisent des dépôts calcaires et ferrugineux. D'autres, chargées de principes plus actifs, produisent des dépôts siliceux ou des dépôts complexes contenant un grand nombre de substances telles que la baryte, la strontiane, l'acide borique, l'arsenic, le phosphore, le soufre, le fluor. Le plus souvent nous ne voyons que la partie de ces dépôts qui*

p12

*se forme à l'extérieur. Cependant nous pouvons observer aussi les stalactites et les stalagmites auxquelles certaines sources donnent naissance dans différentes grottes et les incrustations que certaines eaux produisent dans les tuyaux de conduite. Il est indubitable que si nous pouvions pénétrer dans les conduits suivis par les sources minérales et par les émanations volcaniques nous les verrions fréquemment incrustés de dépôts analogues. Or ces incrustations auraient nécessairement la plus grande ressemblance, tant pour la composition que pour la forme, avec les filons métalliques ordinaires tels que ceux où le soufre, l'arsenic, le quartz, la baryte sulfatée, la chaux carbonatée jouent un rôle important. Les rapprochements établis ci-dessus entre la liste des corps simples trouvés dans les émanations volcaniques et dans les sources thermales et celle des corps simples trouvés dans les filons ordinaires et la ressemblance des combinaisons dans lesquelles les mêmes corps y sont engagés conduisent naturellement à cette conclusion, qui vient elle-même corroborer l'analogie signalée depuis longtemps dans les relations qui existent d'une part entre les sources minérales et certaines roches éruptives, et de l'autre entre les filons métalliques ordinaires et des roches du même genre. Une des circonstances qui portent à penser que beaucoup de filons ne sont autre chose que des dépôts opérés par des eaux minérales dans les fissures qu'elles parcouraient, c'est le gisement même de ces filons qui, à prendre la chose dans son ensemble, est tout à fait analogue à celui des eaux minérales. Les eaux minérales, en général, se trouvent plus particulièrement dans les contrées où il y a eu des éruptions volcaniques, ou du moins dans les contrées dans lesquelles le sol est bouleversé. Or, c'est là précisément le gisement général des filons ; ils se trouvent principalement dans les contrées dont le sol est disloqué et ils y sont groupés dans le voisinage des roches éruptives. La*

*différence principale consiste en ce que les sources thermales sont coordonnées à des roches éruptives modernes, tandis que les filons sont coordonnées à des roches éruptives plus anciennes. On peut même suivre d'une manière plus complète la liaison des gîtes métallifères en général avec les roches éruptives, que celle des eaux minérales avec les roches du même genre. Comme les eaux minérales se rattachent aux roches éruptives les plus modernes, à celles dont les masses intérieures n'ont pas pu être mises à découvert, on voit facilement, quand on examine la disposition des sources minérales sur la surface du globe, comment ces sources sont pour*

p13

*la plupart groupées dans les contrées dans lesquelles il y a eu des éruptions modernes ; mais on ne peut pas pénétrer jusque dans l'intérieur pour voir la liaison entre les canaux de ces sources minérales et les points où elles peuvent emprunter aux roches éruptives la chaleur qu'elles possèdent et les matières dont elles sont chargées. Au contraire, les filons dont la nature et la structure rappellent les dépôts des eaux minérales sont plus visibles que les dépôts formés par les eaux minérales actuelles à cause des bouleversements qu'a éprouvés dans beaucoup de cas le sol qui les renferme, de la destruction partielle de l'ancienne surface de ce sol qui rend visibles des parties situées originairement dans la profondeur et des secours offerts à l'observateur par les travaux des mines qui pénètrent dans leur intérieur. à la vérité, l'analogie de ces filons avec les dépôts des eaux minérales ne peut se conclure que de leur étude minéralogique. Les eaux qui les ont formés n'y circulent plus aujourd'hui, ou si des eaux y circulent encore, elles ne sont plus thermales. Les anciens foyers se sont refroidis, l'activité intérieure a été transportée ailleurs ; mais aussi, quand, à la faveur même de leur refroidissement, on examine d'une manière complète la série des gîtes métallifères qui se rattachent à certaines roches éruptives, on voit qu'il y a une liaison très intime entre ces gîtes et les roches éruptives. En effet les gîtes métallifères ne sont pas tous des filons absolument semblables à ceux dont j'ai signalé les analogies avec les dépôts des eaux minérales ; il y a des gîtes métallifères renfermant absolument les mêmes métaux qui se trouvent renfermés dans l'intérieur de certaines roches éruptives ou tout à fait dans leur voisinage, et tous ces gîtes forment une chaîne continue dont les filons réguliers formés par incrustation dans des fissures constituent une extrémité et qui se rattachent à des gîtes tout à fait compris dans l'intérieur des masses minérales éruptives, ou bien situés immédiatement à leur contact et qui en dérivent plus directement encore que par le transport moléculaire dû aux émanations et à l'action des eaux minérales. Tout le monde sait que les filons sont des fentes remplies après coup ; mais on doit distinguer deux classes essentiellement différentes de filons : les uns sont formés par des matières concrétionnées*

*appliquées dans les fentes sur leurs deux parois. Ces substances sont principalement des matières pierreuses ou gangues, telles que le quartz, la baryte sulfatée, la chaux carbonatée, souvent le spath fluor et différents minerais métalliques, tels que la galène,*

p14

*les pyrites, etc. Une autre classe de filons est formée de roches, telles que les basaltes, les mélaphyres, les porphyres, qui se sont introduites aussi dans des fentes. Mais il y a cette différence entre les deux classes de filons, que les premiers sont formés de bandes symétriquement disposées, en général formées de cristaux tournant leurs pointes vers l'intérieur de la fente originale dont le milieu présente souvent un vide tapissé de cristaux libres, tandis que les filons formés de roches telles que le basalte et le porphyre remplissent entièrement les cavités dans lesquelles ils se trouvent et ne présentent la disposition en bandes symétriques que d'une manière extrêmement peu distincte résultant simplement de ce que les parties moins cristallines des parois se distinguent légèrement des parties plus cristallines du centre, avec lesquelles elles font continuité. Les filons de cette dernière espèce peuvent être désignés, d'après leur mode de formation bien connu, sous le nom de filons injectés. Ils se distinguent généralement des filons de la première classe composés de bandes symétriques, qu'on peut désigner sous le nom de filons concrétionnés. La plupart des filons métallifères appartiennent à la classe des filons concrétionnés; cependant les filons injectés et les masses de formes moins régulières que constituent très souvent les roches éruptives, sont quelquefois métallifères. Ainsi les filons basaltiques renferment presque toujours du fer oxidulé qui y est disséminé en quantité plus ou moins considérable; si le fer oxidulé avait une valeur plus considérable, égale seulement à celle du minerai d'étain, ils seraient certainement exploités pour en retirer le fer. C'est ce qui arrive en Suède pour la masse de trapp de Taberg qui est exploitée comme mine de fer en raison des nombreuses veines de fer oxidulé qui y sont encaissées et qui forment une portion considérable du volume total. Les serpentines sont aussi très fréquemment métallifères. Elles renferment très habituellement du fer oxidulé et du fer chromé; c'est même là le gisement habituel du fer chromé, et le fer oxidulé y est quelquefois disséminé en assez grande abondance pour leur donner le magnétisme polaire. Quelquefois enfin, au lieu d'y être disséminé en petites parties, ce minerai y forme des masses considérables comme celle qu'on exploite à Cogne dans la vallée d'Aoste. Il existe même dans différentes contrées des masses de fer oxidulé et de fer oligiste qui peuvent être considérées elles-mêmes comme des roches éruptives. Telles sont notamment celles de l'île d'Elbe*

que M Paul Savi et M Amédée Burat ont décrites avec soin. Outre ces minerais de fer sortis directement du sein de la terre par voie d'éruption, il en existe d'autres qui par leur gisement se rattachent plus ou moins immédiatement à des roches éruptives et dont la formation a dû être une conséquence plus ou moins directe de leur éruption. Les mines de fer des Vosges sont très instructives sous ce rapport. Ainsi que je l'ai indiqué ailleurs, il y existe en plusieurs points des masses de minerai de fer qui se rattachent plus ou moins directement à des masses éruptives. On exploite notamment à Framont, à la partie septentrionale du département des Vosges, des amas de fer oligiste, que M De Billy a décrits avec beaucoup de détails et de clarté et qui sont dans une connexion évidente avec des masses de porphyre quartzifère. Il n'est pas sans intérêt de remarquer que les gîtes de minerai de fer de Framont, outre la baryte sulfatée, le quartz, l'arragonite, les pyrites cuivreuses et autres minéraux plus ou moins habituels dans les filons ordinaires, renferment aussi de la phénakite / silicate de glucine / , qui établit entre eux et les filons stannifères un rapprochement correspondant à celui qui existe entre les porphyres quartzifères et les granites. à quelque distance de Framont, se trouvent des filons de minerai de fer, qui probablement se rattachent indirectement aux mêmes roches éruptives, et dans plusieurs autres points des Vosges on trouve d'autres filons du même genre, qui tous ont probablement un point de départ plus ou moins analogue à celui des minerais de fer de Framont. Ainsi, dans le nord des Vosges, dans le voisinage de Bergzabern et de Shoenau, on trouve des filons de fer hématite brun qui renferment en même temps du plomb phosphaté , de la calamine, etc. Le cuivre se trouve aussi bien que le fer dans l'intérieur des roches éruptives ou dans leur voisinage immédiat. On le rencontre souvent à l'état natif ou sous forme de pyrites dans les serpentines ainsi que dans certaines roches trappéennes. Il est quelquefois accompagné par l'argent. L'un des plus beaux exemples qu'on puisse citer à cet égard se trouve dans les gisements de cuivre qui ont été explorés et décrits par M le docteur Charles T Jackson, de Boston. Ils sont situés sur les bords du lac supérieur, notamment

à Kewenah-Point et dans l'île-Royale. Là, le cuivre se trouve disséminé dans les roches trappéennes, en globules et en assez gros blocs ; il est accompagné de globules d'argent qui sont isolés, soit au milieu de la roche, soit au milieu du cuivre , avec lequel / chose singulière / l'argent ne s'est pas allié. Dans le voisinage de ces roches trappéennes, on trouve encore le cuivre et l'argent natifs, ainsi que la pyrite cuivreuse, dans des filons qui coupent, soit les roches trappéennes elles-mêmes, soit les roches arénacées, au milieu desquelles les premières ont

*pénétré. Les gangues de ces filons sont remarquables par leur nature exceptionnelle. On y remarque tantôt la datholite / chaux boratée siliceuse /, tantôt l' épidote . L' Oural présente aussi plusieurs gisements de cuivre dans des roches éruptives ou dans leur voisinage immédiat ; telles sont les mines de Turjinsk. Le cuivre natif et les autres minerais s' y trouvent toujours près des lignes de contact de masses nombreuses de diorites, et des calcaires au milieu desquelles les diorites ont pénétré. Ils sont accompagnés en beaucoup de points de grandes masses de grenat qui séparent les diorites des calcaires, et qui, suivant toute apparence, ont été produites par l' action des premiers sur les seconds. Une des contrées les plus intéressantes sous le rapport des gîtes métallifères renfermés dans les roches éruptives ou en contact immédiat avec elles, c' est la Toscane. On y trouve un grand nombre de gîtes métallifères, particulièrement de gîtes cuprifères, exploités par les anciens comme mines de cuivre. La pyrite cuivreuse est le minerai le plus répandu ; elle est accompagnée de cuivre panaché, de cuivre natif, de cuivre oxydulé, de cuivre gris ; on y rencontre aussi de la blende, de la galène, etc. Les minerais de cuivre sont quelquefois répandus dans la roche serpentineuse de manière à faire corps avec elle ; d' autres fois, ils sont placés au contact de la roche serpentineuse avec les roches adjacentes ; on voit qu' ils ont été apportés par la roche serpentineuse de manière à être mêlés avec les débris produits par son éruption, qui ont formé à la surface de la masse un conglomérat de frottement. M Amédée Burat a décrit tous ces gisements avec beaucoup de soin. Les roches éruptives volcaniques et basiques sont tellement un des gisements essentiels des métaux, qu' il en est plusieurs auxquels*

p17

*on ne peut presque pas assigner d' autre gisement propre que certaines roches de cette nature, dans lesquelles on les a trouvés disséminés. Tels sont le platine et les métaux qui lui sont habituellement associés, le palladium, le rhodium, le ruthenium, l' iridium et l' osmium . Ces métaux, qui forment, dans la série des corps simples, une sorte de famille particulière, se rencontrent généralement ensemble. On les recueille ordinairement dans les terrains de transport superficiels ; mais quelquefois on est parvenu à trouver leurs gîtes originaires. Ainsi, M Boussingault a découvert le gisement du platine exploité dans la province de Choco / Nouvelle-Grenade /. Il a trouvé un filon de grünstein qui traverse la base des Cordillères, et dans lequel le platine existe à l' état de grains métalliques renfermés au milieu de la roche éruptive. On exploite aussi des alluvions platinifères dans l' Oural ; il paraît que le gisement primitif du platine qu' elles renferment est dans des roches serpentineuses. On rencontre dans les lavages de platine une grande quantité de fer chromé, minéral qui se trouve ordinairement dans les serpentines ; de*

plus, M Gustave Rose a indiqué l'existence de grains de platine enchâssés dans le fer chromé, et M Le Play a observé une connexion très directe entre la disposition des alluvions platinifères et celle des masses serpentineuses. Il a même réussi à obtenir le platine en lavant certaines terres qui résultent de la décomposition des masses serpentineuses. Il paraît que le platine sort de ces masses serpentineuses, mais qu'il y est excessivement disséminé : on ne peut parvenir à le recueillir que dans les points où il a été concentré par l'effet d'un lavage naturel qui a enlevé en grande proportion les substances accompagnantes et laissé le platine sur le lieu même de la désagrégation de la masse qui le contenait, à cause de sa grande pesanteur spécifique. Le platine et les métaux qui l'accompagnent existent donc dans les roches éruptives. Mais il y a cette différence entre eux et la plupart des autres métaux qu'on rencontre également dans les roches éruptives, qu'on ne trouve guère les premiers que dans les roches éruptives mêmes ou dans les produits de leur désagrégation ; et qu'on ne les voit que très rarement former des filons ou d'autres gîtes à l'entour de ces mêmes roches. Cela tient probablement à ce que le platine et les métaux qui l'accompagnent sont trop faciles à réduire à l'état métallique, et qu'ils entrent trop rarement dans des combinaisons stables avec des corps étrangers à leur famille. La facilité avec laquelle se réduisent les oxydes de cuivre et d'argent explique de la même manière pourquoi on trouve aussi

p18

très fréquemment ces métaux à l'état natif dans les roches éruptives. Il ne saurait en être de même par exemple du fer, qui, à une température élevée, ne peut manquer de s'oxyder aux dépens de l'oxygène de l'eau qui, à l'état liquide ou à l'état de vapeur, existe toujours en abondance dans les laboratoires volcaniques. La diversité des propriétés chimiques des différents métaux permet donc de concevoir assez aisément pourquoi le platine et les métaux qui l'accompagnent sont presque uniquement concentrés dans les roches éruptives qui les recèlent, tandis que le fer, le cuivre, l'argent, le plomb, se sont répandus dans les masses au milieu desquelles les roches métallifères ont fait éruption et s'y sont répandus souvent jusqu'à des distances considérables. Tous ces métaux étant sujets à se trouver dans les roches éruptives, et se rencontrant aussi quelquefois en dehors de ces roches, dans les masses qui sont immédiatement en contact avec elles, il est difficile de douter que, dans ce cas, ils aient été introduits par l'effet même de l'éruption de la roche qui en renferme ; cela paraît d'autant plus vraisemblable que lorsqu'ils se trouvent dans la roche éruptive ils sont ordinairement concentrés, surtout près de sa surface, ce qui semble annoncer que le phénomène qui les a fait pénétrer à l'extérieur, est la suite et la continuation de celui qui les a portés d'abord de l'intérieur de la masse éruptive vers sa périphérie. Et puisque les masses éruptives renferment

quelquefois des métaux et les introduisent dans les terrains où elles pénètrent, il n' y a rien en soi-même d' étonnant à ce qu' on trouve des métaux dans les filons ordinaires formés de substances concrétionnées qui sont cantonnés à l' entour de ces mêmes roches éruptives ; car, quoique ces filons concrétionnés et les roches éruptives forment deux classes de masses minérales tout à fait distinctes, on ne peut nier qu' il n' y ait entre elles une liaison qui se manifeste, d' une part par la coordination de leurs gisements, et de l' autre par l' identité même des substances métalliques qui se trouvent à la fois dans les unes et les autres. On est donc très naturellement conduit à penser que les substances métalliques contenues dans les filons d' incrustation proviennent en principe de roches éruptives ; seulement elles ne paraissent pas y avoir été introduites tout à fait de la même manière que les roches éruptives se sont introduites elles-mêmes dans le terrain ou que les minerais se sont introduits, de la roche éruptive, dans les roches immédiatement adjacentes. Ils s' y sont probablement introduits par une voie pour ainsi dire détournée, le plus souvent par un phénomène analogue à celui des eaux minérales, analogue à celui des dépôts que les eaux minérales forment

p19

au point où nous les voyons sortir, et qu' elles doivent aussi former dans les canaux qu' elles parcourent. En effet, si l' on cherche à se faire en quelque sorte à *priori* une idée de la manière dont a pu s' opérer cette diffusion des substances métalliques autour des points d' éruption des roches métallifères , il est naturel de considérer ce qui se passe dans les volcans, dont les émanations renferment encore aujourd' hui un certain nombre de métaux indiqués dans la neuvième colonne du tableau placé à la fin de cette note, le *fer*, le *manganèse*, le *cobalt*, le *plomb*, le *cuivre*, l' *arsenic* . *Le fer, sous forme de chlorure, qui se change souvent en fer oligiste, est au nombre des substances les plus abondantes dans les émanations volcaniques actuelles ; le fer oxydulé est habituellement disséminé dans les laves rejetées par les volcans, et on ne peut douter qu' il n' en existe aussi dans les laves, qui peuvent se consolider à la suite des éruptions volcaniques dans des cavités souterraines. Il doit nécessairement se déposer du fer à l' état d' oxyde ou de chlorure dans les fissures que les émanations volcaniques traversent avant d' arriver à la surface. De là, des filons qui se rattachent, dans l' intérieur du sol, à des masses éruptives renfermant du fer. Le cuivre étant un des métaux qui se rencontrent dans les émanations volcaniques, on peut faire à son sujet des conjectures analogues en remarquant qu' en raison de la plus facile réduction de son oxyde, il est naturel qu' il se trouve en globules métalliques dans les roches éruptives d' où se sont dégagées des émanations cuprifères. On est fondé à faire des suppositions du même genre relativement à tous les métaux dont la présence a été constatée dans les émanations volcaniques, et à*

ceux qui ont été reconnus dans les eaux minérales, c'est-à-dire relativement à presque tous les métaux qui se trouvent dans les filons ordinaires. Ces suppositions sont d'autant plus vraisemblables qu'un grand nombre d'eaux thermales semblent n'être qu'une forme particulière des émanations volcaniques, et que les filons, ainsi que je l'ai déjà rappelé, présentent dans leurs gisements de nombreuses analogies avec les eaux minérales, en raison de ce qu'ils se trouvent aussi de préférence dans des contrées dont le sol a été bouleversé, et se groupent autour de certaines roches éruptives anciennes, comme les eaux thermales se groupent autour des roches éruptives modernes et autour des volcans en activité. Certaines sources thermales, qui sont en même temps des jets de vapeur comparables à ceux qui se dégagent des volcans en

p20

éruption, comme les geysers de l'Islande, si bien étudiés par un grand nombre de voyageurs, et particulièrement par M Eugène Robert et par M Descloiseaux, montrent bien clairement la liaison des deux genres de phénomènes. La supposition à laquelle conduisent les observations de M Descloiseaux pour expliquer les phénomènes que présentent les geysers de l'Islande, explique aussi de la manière la plus plausible la diffusion des substances métallifères autour des centres éruptifs. Toutes les substances qui émanent des masses éruptives s'en dégagent à l'état de vapeur ; mais lorsque ces vapeurs ont à parcourir de longs canaux ou de longues fissures avant de se répandre dans l'atmosphère, elles doivent se condenser dans les parties de ces conduits qui sont les plus éloignées du centre d'émanation. Par suite de cette condensation il s'est passé, dans la partie supérieure des filons, un phénomène analogue à celui de l'écoulement des eaux minérales par leurs canaux et il s'est formé des dépôts sur les deux parois des filons ; mais, dans la partie inférieure qui avoisine les masses éruptives avec lesquelles le filon se trouve en connexion, toutes les émanations ont dû être d'abord volatilisées. Cette supposition d'une volatilisation initiale de toutes les substances métalliques qui se trouvent dans les filons ordinaires, s'adapte d'autant mieux aux faits, que, dans ces filons, les métaux proprement dits se trouvent beaucoup moins fréquemment unis à l'oxygène qu'à des corps simples auxquels on a donné depuis longtemps le nom de minéralisateurs, tels que le soufre, le sélénium, l'arsenic, le phosphore, l'antimoine, le tellure, le chlore, l'iode et le brome. Ces corps-là non seulement sont généralement volatils, de même que le bismuth qui les accompagne fréquemment, mais ils ont encore la propriété de rendre volatils beaucoup des corps avec lesquels ils se combinent. Il serait difficile de croire que cette propriété si remarquable n'ait pas joué un certain rôle dans la production des filons. Ces corps sont en même temps du nombre de ceux qui se trouvent dans les émanations volcaniques ainsi que dans les sources thermales, et

*leur présence dans les filons contribue à corroborer les rapprochements déjà signalés entre les filons, les émanations volcaniques et les eaux minérales. Il est difficile de croire que , dans ces différents cas, ces minéralisateurs n' aient pas joué à peu près le même rôle : tous ces phénomènes-là paraissent se tenir très intimement, et la nature même*

p21

*des corps mis en jeu indique leur liaison. On conçoit par là les rapports qui peuvent exister entre les filons ordinaires et ces gîtes particuliers que j' ai déjà cités, dans lesquels les substances métalliques se trouvent concentrées près de la surface de certaines masses minérales, où ils constituent ce qu' on a souvent appelé des filons de contact . Les émanations qui sortaient de l' intérieur des masses éruptives ont entraîné les métaux volatilisés vers leur surface. Près de cette surface en partie refroidie, ces métaux ont pu se condenser en partie aussi, soit dans la roche éruptive elle-même, soit dans celles au milieu desquelles celle-ci avait fait éruption. Une partie seulement a été entraînée au loin avec la vapeur d' eau et les substances les plus volatiles, qui ont formé à la surface des geysers, des soffioni ou des sources minérales. La supposition de la présence d' une grande quantité de vapeur d' eau dans les points où s' opéraient ces sublimations intérieures, est la seule qui s' écarte des hypothèses les plus généralement admises ; mais cette supposition n' a rien qui soit en contradiction avec les faits connus : elle se réduit à dire que les minerais métalliques contenus dans les filons ordinaires peuvent être généralement considérés comme volcaniques à la manière du soufre . On est conduit à penser que les choses ont dû se passer ainsi, puisque c' est ainsi que les choses ont lieu dans les volcans, où tout se passe dans un milieu saturé de différents corps, et principalement de vapeur d' eau, et probablement aussi dans les sources minérales, qui sont un phénomène fort analogue, qui sont des volcans réduits, pour ainsi dire, à la partie aqueuse. L' aspect métallique de la plupart des combinaisons des métaux avec les minéralisateurs, et la ressemblance que cet aspect leur donne avec les produits des opérations métallurgiques, semble autoriser la supposition que ces combinaisons sont dues à la seule action de la chaleur, et cette supposition semblerait confirmée par l' hypothèse qui attribue aux minéralisateurs le rôle d' agents de volatilisation. Mais il faut remarquer que plusieurs des combinaisons dont il s' agit se décomposent lorsqu' on les chauffe fortement. On voit sans doute certains sulfures se former ou se sublimer dans les fourneaux métallurgiques ; mais d' autres sulfures, tels que les pyrites de fer qui sont si répandues dans les filons, se forment journellement sous nos yeux au sein des eaux, et même dans des eaux à la température ordinaire. L' explication que M Ebelmen a donnée récemment de la formation journalière des pyrites de fer, servira à faire comprendre que les actions chimiques mises en jeu dans la formation des minerais*

métalliques contenus dans les filons, ont dépendu plutôt des propriétés que les métaux et les minéralisateurs manifestent par la voie humide, que de celles qui président aux phénomènes de la voie sèche. Dans beaucoup de cas, dit cet habile chimiste, la formation de la pyrite est due à la réaction des matières organiques en décomposition sur les sulfates alcalins ou terreux contenus dans les eaux marines, en présence de limons ferrugineux . " la formule de cette réaction / dans laquelle M Ebelmen ne fait intervenir que le carbone de la matière organique / est la suivante : (..) . " les (..) de carbone de la matière organique se précipitent à l' état de carbonate de chaux ; le reste se trouve restitué à l' atmosphère à l' état d' acide carbonique. Les 15 équivalents de carbone avaient abandonné 30 équivalents d' oxygène avant de passer dans l' organisation. Toute cette quantité d' oxygène reste définitivement acquise à l' atmosphère. " la quantité totale d' oxygène contenue actuellement dans l' air correspond à peine à 50 centimètres d' épaisseur de pyrite, ce qui permet de concevoir, comme l' a remarqué M Ebelmen, que la formation des pyrites est encore et a été pendant toutes les périodes géologiques, une partie importante du mécanisme que la nature a employé pour maintenir l' atmosphère dans sa composition normale. S' il en est ainsi, il est naturel d' admettre que la formation de la pyrite peut se continuer encore aujourd' hui sur une grande échelle à la surface du globe, et rien n' empêche de concevoir que des phénomènes plus ou moins analogues produisent des pyrites dans l' intérieur des fissures où circulent les eaux minérales. On pourrait objecter qu' abstraction faite de la glairine ou de la barégine, il n' existe pas de matière organique dans les eaux thermales qui circulent dans les fissures profondes de l' écorce terrestre. Mais il faut remarquer que dans le phénomène auquel s' adapte l' explication de M Ebelmen, l' intervention de la matière organique n' a d' autre effet que de mettre en présence le fer et le soufre à l' état naissant. Or, dans les eaux qui contiennent de l' hydrogène sulfuré avec des sels de fer et beaucoup d' autres sels, diverses réactions peuvent aussi mettre en contact et le fer et le soufre à l' état naissant ; et on peut conjecturer que cela arrive en effet, lorsqu' on voit que les eaux thermales de Chaudesaigues, dans le Cantal, déposent des pyrites.

J' ajouterai que probablement ce ne sont pas seulement les pyrites de fer qui sont susceptibles de se former de cette manière ; car les minerais de cuivre qui s' exploitent dans le terrain permien, se sont concentrés principalement au contact des matières végétales déposées dans ce terrain, et ces minerais sont formés en partie de pyrites cuivreuses. Les minerais de cuivre des environs de Perm, au pied occidental de l' Oural méridional , se trouvent très fréquemment, dit M Murchison, arrangés dans

les interstices ou groupés autour de la surface des tiges et des branches des végétaux fossiles / à l' état charbonneux /. Ils présentent des passages du cuivre oxydulé au *cuivre sulfuré* gris ou à la *pyrite* cuivreuse , et quelquefois aux plus belles variétés de la *malachite aciculaire*, d' un vert éclatant, mêlée de cristaux de *minerai bleu* / *Kohlen-Salz Kupfer* /. Plusieurs gisements de *galène* et de *blende* sembleraient indiquer des réactions semblables, et on ne voit pas pourquoi d' autres *minéralisateurs* que le *soufre* n' auraient pas donné lieu à des phénomènes du même genre. On peut citer, au contraire, les schistes cuivreux de la *Thuringe* comme offrant une preuve de la variété des combinaisons métalliques qui ont pu se produire par la voie humide, avec ou sans le concours des substances organiques. Dans le *Kupfer-Schiefer*, on trouve répandus en particules très fines et souvent invisibles à l' oeil nu, des *minerais de cuivre* en grains cristallisés ou en veinules. Ce sont ordinairement le *cuivre pyriteux*, quelquefois le *cuivre sulfuré*, rarement le *cuivre natif*, le *cuivre gris*, le *cuivre carbonaté*, le *cuivre oxydulé*. Ces *minerais de cuivre* sont argentifères . On y trouve en même temps des *pyrites ferrugineuses*, quelquefois des *minerais de zinc*, de *plomb*, de *cobalt*, de *nickel*, d' *antimoine*, de *bismuth*, d' *arsenic*, des *veinules de spath calcaire* et de *gypse*, de petites *géodes de quartz*, de petits *feuilletés de houille* et d' *anthracite*. Ces substances charbonneuses proviennent des *matières organiques* qui ont probablement joué ici le même rôle que dans l' *Oural* ; les petites *géodes de quartz*, qui ne forment qu' une partie très peu importante de la masse, représentent seules les *gangues ordinaires des filons*. Ce qui confirme la supposition que des *réactions chimiques*, telles que celles qui ont pu être exercées par les substances organiques, ont dû contribuer à précipiter les *minerais métalliques*

p24

dans les couches où on les rencontre, c' est que dans les exemples qui viennent d' être cités, ils s' y sont déposés sans leurs *gangues habituelles* ; mais ils s' y sont déposés dans le même état de combinaison que dans les *filons* ; ce qui prouve que, dans les *filons*, ils se déposent par la voie humide. Les substances métalliques sont plus sujettes à se trouver oxydées dans certains *filons* ou dans certaines parties des *filons* que dans d' autres. Ce fait bien connu conduit à un nouveau rapprochement avec les phénomènes propres aux *eaux minérales*. Le globe terrestre donne naissance à des *émanations* très variées qui toutes se ressentent, mais à des degrés inégaux, de sa haute température intérieure et de l' activité qui y règne encore. Citons seulement les sources ordinaires d' une température constante et les *vapeurs* dont elles s' entourent en hiver, les *jets de gaz inflammables*, les sources de *bitume*, les sources minérales et thermales à toutes sortes de températures comprises entre (...) centigrades, les *geysers*, les *suffioni* et les *lagoni* de la *Toscane*, les *étuves de Néron*, les *vapeurs* qui sortent des

*volcans en éruption, les solfatares. On peut distinguer deux espèces de sources thermales. Il y en a qui, comme les geysers, émanent de roches éruptives qui ne sont pas encore refroidies, tandis que les autres ne doivent leur chaleur qu' au phénomène général de la haute température de l' intérieur de la terre. Les sources minérales sont généralement disposées par groupes, dans chacun desquels existent une ou plusieurs sources thermales principales qui pourraient être considérées comme des volcans privés de la faculté d' émettre aucun autre produit que des émanations gazeuses qui, dans le plus grand nombre des cas, n' arrivent à la surface que condensées en eau minérale ou thermale. Ces sources thermales principales sont généralement accompagnées d' autres sources moins chaudes, et ces dernières ne sont souvent que des eaux superficielles qui, après être descendues dans les fissures d' un terrain plus ou moins disloqué, remontent pénétrées d' une chaleur qu' elles ont empruntée au sol réchauffé par le foyer même de la source thermale principale, ou simplement imprégné de la chaleur, croissante avec la profondeur, que le sol possède partout ; ces dernières ne sont en quelque sorte que des puits artésiens naturels. Les travaux lumineux de M De Buch, et ceux plus récents et plus étendus de m le professeur Bishof, ont répandu de précieuses lumières sur ce groupement des sources minérales ; mais je dois*

p25

*renvoyer à leurs savants ouvrages pour ce sujet, devenu aujourd' hui une branche importante de la géologie. On aurait bien de la peine à expliquer les sources thermales principales, si on admettait que les eaux qui les composent descendent à une profondeur où se trouverait aujourd' hui, d' après l' accroissement ordinaire de la chaleur intérieure, la température nécessaire pour les réduire en vapeur et qu' elles remontent ensuite. Il est probable que les sources thermales les plus chaudes, les sources thermales principales émanent directement de roches éruptives ; mais les sources thermales accompagnantes peuvent être considérées comme résultant de l' eau qui descend de la surface dans les fissures et remonte à la surface du sol. Ce trajet suffit pour qu' elles se chargent de beaucoup de substances minérales ; et quoique ces sources en soient moins chargées que ne le sont souvent les sources thermales principales , elles en renferment cependant un grand nombre. Il y a eu quelque chose d' analogue dans la formation des filons. Les sources thermales du second genre doivent se former non seulement dans les fissures ordinaires, mais aussi dans celles qui précédemment avaient été remplies par les masses des filons. Les eaux qui descendent ainsi de la surface du sol dans l' intérieur, pour remonter, descendent chargées d' air atmosphérique, par conséquent avec de l' oxygène. Au contraire, les sources qui se dégagent de l' intérieur de la terre n' ont pas la propriété d' oxyder, du moins au même degré. Voilà comment on expliquerait une circonstance extrêmement générale dans les filons : c' est que,*

*dans la masse générale des filons, la plupart des minéraux ont échappé plus ou moins complètement à l' action de l' oxygène. Au contraire, dans le voisinage de la surface, jusqu' à une certaine distance, ils sont oxydés, et ils présentent, par suite de l' oxydation du fer, une teinte ocreuse qui a fait donner à cette partie, par les mineurs allemands, le nom d' Eiserner-Hut / chapeau de fer /. Ce fait si général tend à prouver que les filons ont été formés primitivement par des sources thermales profondes. S' ils avaient été formés par les eaux superficielles et aérées, ils se seraient formés oxydés , au lieu d' avoir à s' oxyder après coup. Les sources descendues de la surface qui sont venues plus tard s' y échauffer et s' y minéraliser, y ont produit les phénomènes d' oxydation que je viens de rappeler, et peut-être une grande partie des phénomènes d' épigénie que M Haidinger a si savamment étudiés, et même quelques uns des transports moléculaires qui ont concentré après coup dans certaines zones une partie des richesses métalliques.*

p26

*Un fait analogue à la formation non oxydée des filons et à leur oxydation subséquente s' observe dans les volcans : les substances volatiles en sortent le plus souvent non oxydées et elles s' oxydent au contact de l' atmosphère. Ainsi, le fer sort à l' état de chlorure ; mais il finit par se transformer en fer oligiste. L' hydrogène sulfuré sort des volcans non brûlé ; mais, au contact de l' air il brûle lentement et dépose du soufre, ou bien il brûle avec flamme et produit de l' acide sulfureux et de l' eau. Les flammes qui se montrent quelquefois à la surface des volcans sont, pour ainsi parler, l' Eiserner-Hut d' un filon d' hydrogène sulfuré. Ce qui arrive pour les émanations actuelles des volcans, est arrivé aussi pour les anciennes émanations. On voit, de cette manière, comment les deux phénomènes s' expliquent, et comment l' état des filons conduit à présumer que les substances non oxydées qui les remplissent en partie viennent de l' intérieur de la terre et ont été apportées par les sources thermales principales ou par des vapeurs émanant directement des roches éruptives non refroidies. Si le dépôt des substances métalliques dans les filons ordinaires est dû à des phénomènes qui ont présenté les plus grands rapports, sinon une identité complète, avec ceux des émanations volcaniques et des sources minérales, on doit pouvoir comparer aussi les filons aux phénomènes volcaniques et aux sources minérales, relativement aux matières pierreuses qui, sous le nom de gangues , en forment une partie essentielle. Cette comparaison ne se présente pas aussi simplement pour ces dernières que pour les matières métalliques, parce qu' on ne voit que rarement des substances qui jouent, à l' égard des matières pierreuses le rôle que les minéralisateurs par rapport aux métaux. Cependant, certaines substances pierreuses sont susceptibles d' être volatilisées par la chaleur des volcans, ou entraînées à l' état moléculaire par des courants gazeux. On cite des cristaux de pyroxène qui ont été*

*sublimés sur la surface d' un mur au contact des laves du Vésuve qui ont couvert Torre Del Greco en l 794. On sait aussi que les cristaux de feldspath trouvés dans un fourneau à Sangershausen, en Saxe, avaient cristallisé dans des fissures où leurs éléments devaient avoir été entraînés par les courants gazeux du fourneau. Mais il ne paraît pas que les matières pierreuses aient pu être entraînées de cette manière à une aussi grande distance que les métaux l' ont été par les minéralisateurs . On ne voit guère qu' un pareil entraînement ait pu avoir lieu, si ce n' est par l' entremise de quelque corps tel que le fluor qui rend le silicium et le*

p27

*bore volatils, et qui a pu, comme l' a remarqué depuis longtemps M Daubree, exercer une grande influence dans la formation de quelques filons, en jouant, par rapport à certaines matières pierreuses, un rôle analogue à celui que les minéralisateurs jouent par rapport aux métaux. Je suis très porté à croire que des substances propres à opérer la volatilisation de substances pierreuses et même de silicates, et à favoriser leur transport moléculaire bien au-delà des limites que la seule action de la chaleur n' aurait pu leur faire franchir, doivent avoir joué un grand rôle dans la production de certains gîtes très remarquables et très connus de substances pierreuses, telles que les filons de l' Oisans, du Mont-Blanc, du Saint-Gothard, où se trouvent les cristaux si connus d' épidote, d' axinite, de titane, d' albite, de prehnite, etc. ; mais les phénomènes dont il s' agit n' ont pas eu une bien grande généralité, car les gîtes que je viens de citer sont d' une nature exceptionnelle. M Léopold De Buch a remarqué depuis longtemps que les mélaphyres sont généralement accompagnés d' une auréole de filons dont les uns sont caractérisés par la baryte sulfatée et un grand nombre de minerais métalliques, tandis que les autres le sont par l' épidote. Les variolites du Crac, très répandues dans l' Oisans, rentrent, sous ce rapport, dans la catégorie des mélaphyres épidotifères. Mais M De Buch, avec son tact ordinaire, a distingué ces deux classes d' émanations, et il est certain que l' épidote, comme presque tous les silicates, est au moins très rare parmi les gangues des filons ordinaires, dans la formation desquels les matières pierreuses volatilisées, soit par la seule action de la chaleur, soit par l' intermédiaire de quelque substance particulière telle que le fluor, paraissent n' avoir joué qu' un rôle très restreint. La nature des matières pierreuses au milieu desquelles se trouvent les métaux dans les différents gîtes que nous venons de passer en revue, est parfaitement en harmonie avec les remarques qui précèdent. Lorsque les métaux sont renfermés dans les roches éruptives elles-mêmes, ils y sont simplement empâtés : il n' y a pas là de substances concomitantes, de gangues proprement dites. Lorsqu' ils se trouvent engagés dans les roches adjacentes à la roche éruptive, quelquefois, comme dans plusieurs des gîtes de la*

*Toscane, si bien décrits dans les ouvrages déjà cités de M Amédée Burat, les minerais métalliques sont renfermés dans les conglomérats de frottement qui se sont formés sur la surface extérieure des masses éruptives, ou dans les roches stratifiées gabbroïques qui sont devenues métamorphiques par l'effet du contact de ces mêmes roches. Ils sont encore privés du cortège des gangues proprement dites.*

p28

*Ailleurs les matières métalliques qui se sont portées de la masse éruptive dans les masses adjacentes, sont accompagnées de silicates qui paraissent s'être formés au moment de leur introduction. Les silicates sont généralement des produits de la voie sèche, et on pourrait au premier abord s'étonner qu'il s'en soit formé dans de telles circonstances, car les vides qui peuvent exister pendant le refroidissement d'une masse de roches injectées, le long de sa surface, sont des étuves saturées de vapeur et ce qui s'y passe ne s'opère pas plus par la voie sèche, que ce qui se passe dans les fissures du cratère d'un volcan ; mais la température y est très élevée, ce qui fait que des silicates peuvent s'y former. Ainsi dans la mine de Turjinsk, dans l'Oural, observée par M De Humboldt et M Gustave Rose, les minerais métalliques accompagnent des masses de silicates grenats formés au contact de la roche éruptive / diorite / et des roches sédimentaires. Dans certains gîtes particuliers de la Toscane, décrits aussi par M Amédée Burat, les minerais métalliques ont pénétré dans les fissures des roches stratifiées où on les trouve encore accompagnées de silicates avec lesquels ils se sont consolidés. Tels sont, par exemple, certains filons cuprifères et plombifères qui se sont formés par suite de phénomènes éruptifs opérés au milieu de roches calcaires . Là, les matières éruptives ont pénétré dans les roches calcaires, y ont rempli les fentes, se sont combinées avec elles, ont donné naissance à des minéraux particuliers, par exemple à de l'yénite, qui est un silicate de chaux et de fer. On trouve en outre, dans ces mêmes filons, de l'amphibole vert cristallisé en groupes radiés avec de la pyrite cuivreuse au centre. On voit donc très bien que ces filons ont été formés dans des circonstances propres à la production des silicates. L'yénite et l'amphibole, en se formant par la combinaison des matières siliceuses et ferrugineuses des roches éruptives, qui renfermaient la silice et l'oxyde de fer nécessaires, avec les roches calcaires, ont constitué naturellement des bandes grossièrement parallèles, de manière que, par exception, on retrouve la disposition en bandes parallèles qui caractérise les filons d'incrustation. Il est donc probable que les matières qui ont dû se combiner avec les éléments du terrain pour composer ces silicates ont été quelquefois introduites dans les fentes sous forme de roche éruptive ; mais on pourrait supposer aussi qu'elles y ont été introduites par voie de sublimation, ainsi que nous venons d'en rappeler la possibilité. Ce qu'il y a de*

*certain, c' est que les phénomènes qui ont présidé à la formation de ces filons doivent être d' une nature exceptionnelle ; car les matières qui composent les gangues dans ces diverses circonstances,*

p29

*rappellent les roches éruptives qui se composent essentiellement de silicates, et ces roches sont toujours à une petite distance des gîtes métallifères dont nous venons de parler. Au contraire, dans les filons ordinaires, qui s' étendent généralement jusqu' à une grande distance des roches éruptives avec lesquelles ils paraissent être en rapport, les métaux sont accompagnés par une grande quantité de substances pierreuses concomitantes auxquelles on donne proprement le nom de gangues , et qui sont d' une nature tout à fait distincte de celle des roches éruptives elles-mêmes. Elles sont souvent formées en partie, à la vérité, des mêmes éléments que les silicates dont les roches éruptives se composent ; mais cette identité de quelques uns des principes constituants ne rend que plus évidente la différence de leur nature. Les éléments analogues se trouvent dans un état de combinaison tout différent : ils sont séparés au lieu d' être combinés. Les roches éruptives se composent de silice, d' alumine et de différents alcalis tels que la potasse et la soude, ainsi que de chaux, de magnésie et d' oxyde de fer. Une partie de ces substances-là entre habituellement dans la composition des gangues des filons ordinaires, mais jamais à l' état de silicates anhydres, très rarement à l' état de zéolithes et de chlorite, ou de silicates hydratés, et le plus souvent dans un état très différent. La silice s' y trouve isolée à l' état de quartz. La chaux, la magnésie, l' oxyde de fer quelquefois accompagné d' une petite proportion d' oxyde de manganèse, s' y trouvent à l' état de carbonates simples ou de carbonates multiples, comme la dolomie et le Braun Spath . On y trouve aussi le fer et le manganèse à différents états d' oxydation. Ces divers états des substances dont il s' agit sont analogues à ceux dans lesquels ils se trouvent dans les terrains sédimentaires et dans les eaux minérales, et l' analogie avec ces dernières est d' autant plus remarquable, que très souvent aussi, les gangues sont formées de baryte sulfatée et de spath fluor, substances dont la présence a été constatée dans les eaux minérales, et qui ne sont connues nulle part sous la forme de masses éruptives. La silice, la chaux , la magnésie, les oxydes de fer et de manganèse contenus dans les gangues des filons, de même que dans les eaux minérales ne sont pas nécessairement des émanations des roches éruptives. Ces substances peuvent très bien provenir, comme l' a annoncé M Bishof, de la décomposition de roches*

p30

traversées par les émanations souterraines, et le phénomène qui a transporté ces substances, au lieu de les combiner comme dans les roches éruptives, les a, au contraire, décombinées, séparées, décomposées. Les substances qui accompagnent les minerais dans les filons métalliques, sont précisément celles qui sont habituellement emportées lorsque les silicates des roches éruptives sont décomposées par la voie humide. La silice existe dans la plupart des eaux minérales et sa présence explique l'origine des kaolins et celle des argiles lithomarges si fréquentes dans les filons. L'alumine, qui n'est soluble ni dans l'eau pure, ni dans l'eau chargée d'acide carbonique, n'existe d'une manière habituelle dans les filons que dans les argiles lithomarges ; car les minéraux qui tiennent de l'alumine en combinaison, comme certaines zéolithes, le plomb-gomme, etc., y sont extrêmement rares. On y trouve aussi, comme je l'ai déjà rappelé, de la baryte sulfatée et du spath fluor, substances connues dans les eaux minérales ; et, abstraction faite de quelques rares zéolithes, on n'y rencontre ni la potasse, ni la soude qui ont pu provenir de la décomposition des roches éruptives. Cela tient à ce que ces alcalis ont formé des composés trop solubles. Dans l'état actuel des choses, ces substances sont au nombre de celles qui se trouvent dans les eaux thermales qui arrivent à la surface du sol ; mais il faut remarquer que, lorsque les eaux thermales ont circulé dans l'intérieur de la terre, elles apportent les sels les plus solubles, et ont déposé principalement les substances les moins solubles qui ont pu y être contenues. L'absence habituelle des alcalis dans les filons constitue donc un nouveau rapprochement avec les dépôts des eaux minérales. Cet ensemble de circonstances a des rapports frappants avec ce qui se passe dans la décomposition des silicates lorsqu'elle s'opère à la surface de la terre par la voie humide. M. Ebelmen a jeté dernièrement un grand jour sur ce sujet par ses recherches sur les produits de la décomposition des espèces minérales de la famille des silicates. M. Ebelmen a considéré diverses roches qui avaient subi une décomposition au contact de l'air, par exemple, différents basaltes et des bisilicates, d'une nature analogue au pyroxène, tels que le bisilicate de manganèse d'Alger / rhodonite de M. Beudant /, le bisilicate de manganèse de Saint-Marcel / Piémont /, le bustamite de la mine d'argent de Tetala / Mexique /. Il a vu que dans ces

p31

décompositions, le minerai avait perdu une partie considérable de sa substance ; que la matière qui était restée, qui formait la croûte extérieure, avait changé d'état d'une manière très sensible. Lorsqu'un morceau de basalte est exposé à l'air, il est assez ordinaire de voir qu'il a pris une forme arrondie, dans laquelle on distingue plusieurs zones qui évidemment ont subi une décomposition. En faisant les analyses comparatives des

*substances décomposées et non décomposées, M Ebelmen a trouvé que ces roches avaient perdu une partie de leur silice ; c' était principalement de la silice qui avait été enlevée. Il y avait aussi quelquefois des alcalis dans ces substances ; ils étaient aussi enlevés. Quant à la chaux et à la magnésie, elles étaient quelquefois enlevées dans des proportions plus ou moins considérables. Voici comment il s' exprime lui-même à cet égard. I " dans la décomposition des silicates contenant de la chaux... etc. " l' entraînement de la silice est dû à la solubilité de cette terre à l' état naissant, dans l' eau pure et dans l' eau chargée d' acide carbonique. Elle se trouve, en effet, dissoute dans la plupart des sources, et surtout des sources thermales ; les geysers de l' Islande en sont un exemple célèbre. " dans les roches d' origine ignée, on trouve du quartz... etc. "*

p32

*ils sont restés en dissolution dans les eaux combinés avec les acides carbonique, sulfurique ou hydrochlorique. Ce n' est pas seulement dans les terrains sédimentaires, réceptacle final des matières charriées par les eaux, que les diverses substances dont il vient d' être question se trouvent respectivement dans les différents états signalés par M Ebelmen. Il en est de même dans les filons ordinaires, et cette circonstance suffit à elle seule pour dévoiler leur mode de formation, et pour montrer que les substances d' origine souterraine dont ils se composent en grande partie sont volcaniques à la manière du soufre et non à la manière des laves. Ces rapprochements entre les matières constituantes des filons et celles que renferment les eaux minérales, méritent d' autant plus d' attention que dans le voisinage des filons, soit à leur contact, soit même à distance, les roches présentent souvent des altérations plus ou moins grandes, et généralement différentes de celles qui résultent du contact des matières fondues, mais analogues aux altérations qu' éprouvent les parois des fissures traversées par les émanations volcaniques, et à celles que les eaux minérales produisent, et par suite desquelles elles se chargent, comme l' ont si bien expliqué M Bishof et M Ebelmen, d' une partie des substances qu' elles contiennent.*

p33

*Ce serait peut-être ici le lieu de citer les argiles bolaires bariolées produites par les geysers de l' Islande, et les analogies qu' elles présentent avec différents terrains bariolés ou irisés, presque constamment en rapport avec des dépôts de sel gemme, de gypse, de dolomie ; mais je ne reviendrai pas ici sur ce que j' ai dit à cet égard dans le 8 e chapitre de l' explication de la carte de France , qui est déjà imprimé depuis*

plusieurs années, quoique le volume dont il fait partie n'ait pas encore été livré au public. Les rapprochements signalés ci-dessus sont d'autant plus importants qu'ils s'appliquent non seulement aux filons ordinaires, dont les filons de galène argentifère peuvent être considérés comme le type, mais encore à une foule de gîtes qui se rattachent plus ou moins directement à ces filons, et qui, d'un autre côté, se rattachent très directement aussi et quelquefois simultanément à des phénomènes éruptifs, et à des dépôts sédimentaires. Les émanations auxquelles sont dus les filons ordinaires ont agi sur les roches avec d'autant plus d'énergie, qu'elles ont évidemment possédé au plus haut degré le genre de subtilité nécessaire pour s'introduire dans leurs interstices les plus imperceptibles. Les petits nids et les mouches de substances métalliques qu'on trouve fréquemment dans les roches traversées par des filons remplis des mêmes substances, offrent des exemples remarquables de l'introduction des substances minérales par des fissures ou par des pores trop déliés pour qu'on puisse supposer qu'elles y ont pénétré autrement qu'à l'état de vapeurs ou de dissolutions. Ces substances doivent, en effet, s'être insinuées par des fissures extrêmement déliées, ou même à travers les pores de la roche, et cela jusqu'à des distances souvent considérables. On peut citer comme preuves les minéraux analogues à ceux des filons qui ont rempli, dans les terrains sédimentaires, les vides laissés par des coquilles fossiles et par d'autres débris organiques. Sous ce rapport, les pétrifications formées par des minéraux de filons, tels que la galène, la baryte sulfatée, la chaux fluatée, le fer oligiste, les pyrites cuivreuses, présentent un intérêt particulier, de même que les minéraux qui remplissent les fissures des *septaria* / quartz, pyrites, galène, blende, baryte sulfatée, strontiane sulfatée /. On peut encore citer comme exemples de substances minérales qui se sont introduites dans des cavités en apparence très closes, celles qui forment des noyaux d'amygdaloïdes et qui remplissent

p34

des fissures dans les roches basiques ou volcaniques, telles que les agates, les calcédoines, les hydrophanes, les opales, les zéolites, etc. Les silicates non hydratés sont exclus de tous ces amas de minéraux, et les analogies qui portent à supposer que les filons ordinaires doivent leur origine à des eaux minérales ou à des émanations volcaniques, s'appliquent également à ces gîtes si variés. Les sources minérales des anciens temps ont dû, comme celles de nos jours, décomposer des masses minérales. Les argiles lithomages, les quartz décolorés et devenus compactes ou grenus et souvent pyriteux, les gypses et les dolomies épigènes, sont aux filons métalliques ce que les roches altérées sous nos yeux par les eaux minérales ou par les émanations souterraines sont aux incrustations formées par des sources ou aux solfatares. Les gypses et les dolomies épigènes sont des masses calcaires altérées par des sources minérales ou par des émanations venues

de l'intérieur du sol. Une montagne de dolomie épigène criblée de petites fissures tapissées de rhomboédres de dolomie, est un *stock-werk* de magnésie. La formation par épigénie de grandes masses de dolomie ne peut se concevoir que par des émanations qui se seraient insinuées dans une multitude de fissures très étendues et très déliées, ou, pour me servir des expressions mêmes que j'employais, il y a près de vingt ans, en repoussant les objections opposées aux idées de M Léopold De Buch, " par des gaz qui se sont dégagés du sein de la terre au moment de la sortie des mélaphyres, en profitant de toutes les fractures que le sol venait d'éprouver. " l'insinuation de la baryte sulfatée, de la blende, de la galène dans les fissures d'une foule de *septaria*, démontre victorieusement que l'hypothèse de l'introduction de la magnésie dans des fissures étroites et ramifiées n'a rien d'essentiellement contraire à la nature des forces qui ont régi les phénomènes de la nature minérale. Les substances qui se sont ainsi insinuées dans les fissures de l'écorce terrestre, celles notamment qui ont rempli les filons, se sont souvent épanchées au dehors, comme le font de nos jours les sources minérales et les émanations volcaniques, et elles se sont déposées à la surface du terrain ou répandues dans les roches sédimentaires qui s'y formaient par l'action des eaux extérieures. II

p35

en résulte qu'il existe une liaison très intime, et même souvent une continuité non interrompue entre les filons et autres dépôts d'incrustation formés à l'intérieur du sol déjà consolidé et des couches métallifères dans lesquelles les mêmes substances se trouvent disséminées, mais généralement en moins grande proportion. Comme exemple de ces épanchements superficiels, je citerai, avec Mm Murchison et De Verneuil, les minerais de cuivre répandus dans le terrain permien, au pied de l'Oural, et sortis vraisemblablement des mêmes foyers que les gîtes cuivreux contenus dans les roches de cette chaîne ; les minerais des schistes cuivreux de la Thuringe, sortis probablement des mêmes foyers qu'une partie des filons métalliques du nord de l'Allemagne ; la plupart des dépôts superficiels de calamine et de galène sortis des filons de blende et de galène des contrées voisines ; les minerais variés des arkoses répandues autour du plateau central de la France, que M De Bonnard a si bien décrits, et dont j'ai moi-même signalé ailleurs les relations de gisement ; la plupart des gîtes superficiels de manganèse et des gîtes de minerais de fer oolithique et pisolithique, ainsi que des gîtes considérables de fer oligiste, tels que celui de la Voulte ; les gypses et les dolomies déposés en couches ; les dépôts de strontiane sulfatée avec soufre de la Sicile ; enfin, la strontiane sulfatée répandue dans la formation gypseuse de Paris, qui, probablement, sort des mêmes foyers que la strontiane sulfatée en filons dans la craie de Meudon dont elle partage la forme apotome, et à laquelle se trouvent associés le

gypse même des environs de Paris, les marnes vertes qui l'accompagnent, les couches de quartz et de chaux carbonatée cristallisées des couches supérieures du calcaire grossier avec la chaux fluatée qui y a été observée, etc... ; et même quoique moins directement la blende trouvée avec les pyrites, dans quelques lignites, les filons de fer, de manganèse, de cobalt qui traversent la formation des grès de Fontainebleau, etc... on est conduit par l'ensemble des faits et des rapprochements que je viens de discuter à considérer la plupart des filons, des véritables filons, des plus réguliers, en un mot, des *filons* d'incrustation, *comme ayant été produits par des dépôts opérés dans des eaux qui circulaient dans les fentes de l'écorce terrestre, à l'état liquide ou à l'état de vapeur. C'est là une opinion qui est bien loin d'être nouvelle, et qui a de grands rapports avec celle sur laquelle Werner basait sa théorie des filons. Werner supposait, en effet, que les filons sont des fentes remplies,*

p36

*ce qui est une chose aujourd'hui généralement admise. Il supposait, de plus, que les substances dont les filons se composent ont été déposées par l'action des eaux, ce qui paraît encore être vrai dans le plus grand nombre de cas, pour les filons incrustés formés de bandes parallèles. Il supposait enfin que ces eaux ont formé sur la surface du sol des dissolutions superincombantes lesquelles ont pénétré dans les fentes qui ont été remplies par les filons. C'est sur ce dernier point qu'on s'est éloigné de l'opinion de Werner. On admet avec lui que les substances minérales ont été déposées par l'action des eaux, que les filons ont rempli les fentes ; mais on n'admet pas que ç'ait été par des dissolutions superincombantes : on admet, au contraire, que les substances répandues à la surface sont venues de l'intérieur de la terre ; qu'elles ont été entraînées, soit par des eaux minérales, soit quelquefois par des vapeurs aqueuses ; qu'elles ont été déposées en partie dans les fissures par lesquelles ces émanations passaient, et que le reste seulement de ce qui a pénétré dans les fissures et s'y est en partie fixé s'est répandu dans les eaux superficielles, et a été finalement déposé par elles. La dissolution allait en s'affaiblissant à mesure qu'elle s'éloignait du foyer d'où elle émanait, au lieu d'être, comme dans l'hypothèse de Werner, tout au plus aussi concentrée dans les fentes que sur la surface. Cette manière de voir est bien mieux en rapport avec les faits connus relativement aux filons, et elle explique parfaitement la relation qui existe entre les filons et une foule de gîtes métallifères qui se trouvent répandus sur la surface du globe. Tous ces faits qui s'enchaînent, et qui s'expliquent naturellement lorsqu'on admet que les substances contenues dans les filons sont volcaniques à la manière du soufre, deviendraient autant d'énigmes inexplicables, si on soutenait qu'elles sont volcaniques à la manière des laves. Dans cette dernière supposition, on ne*

pourrait concevoir les faits les plus simples et le plus habituellement observés dans les filons. On a cité plus d' une fois les agates, les calcédoines, les cristaux de quartz hyalin et d' améthyste qui existent dans les cavités des amygdaloïdes, comme offrant une preuve de l' origine ignée de toutes ces substances. à cela on peut répondre que ces mêmes substances se trouvent associées dans les géodes du calcaire siliceux de Champigny, près Paris, et dans celles qu' offrent assez fréquemment les silex de la craie tufau près de Rouen et du Havre. Si les géodes d' agate et de quartz des amygdaloïdes provenaient

p37

de portions de silice qui auraient été en fusion en même temps que la roche qui les renferme, on concevrait difficilement pourquoi ces géodes se trouvent à peu près uniquement dans des roches ayant pour base un feldspath avec excès de bases. Si on admet, au contraire, que ces géodes ont été formées par infiltration, on conçoit aisément l' origine du quartz en remarquant que les roches basiques ont été plus susceptibles que des roches sursaturées de silice d' être décomposées par des eaux ou des vapeurs acides, et que, quoique moins riches en silice, elles en ont fourni plus facilement. On pourrait expliquer de la même manière l' origine des hydrophanes contenues dans les fentes des serpentines du mont Musinet, près de Turin, celle des opales renfermées dans les conglomérats trachytiques, et l' absence de substances analogues dans les porphyres quartzifères et dans les granites. Les veines de quartz des granites possèdent d' autres caractères qui indiquent une origine différente. Beaucoup de géologues sont portés à admettre que tous les filons ont été remplis par l' injection de matières en fusion. Il est cependant difficile d' admettre que des cristaux de quartz contenant des gouttelettes formées de deux liquides huileux, dont l' un est volatil à la température de (..) centigrades, aient cristallisé dans un bain de quartz en fusion. Or le quartz fait partie des gangues de la plupart des filons, et le quartz avec gouttelettes liquides est loin d' y être une très grande rareté. Si les matières qui remplissent un filon y avaient toujours été injectées à l' état de fusion, comment expliquerait-on, par exemple, un filon composé de bandes alternatives de fer spathique et de quartz ? Au contraire, l' hypothèse qui attribue les filons métalliques ordinaires à des émanations sous forme de vapeurs ou d' eaux minérales permet de concevoir les faits les plus variés que présentent les filons, et, par exemple, le développement des affinités chimiques, dont on a remarqué depuis longtemps l' influence dans la manière dont les métaux y sont associés. Les substances qui y sont généralement réunies ont beaucoup de rapports entre elles, et souvent même des propriétés tout à fait analogues. Le nickel et le cobalt, qui se trouvent très souvent ensemble, ont les plus grands rapports dans toutes leurs propriétés ; il en est de même du fer et du manganèse. L'

antimoine et l'arsenic, dont les propriétés sont analogues, jouent des rôles analogues et sont fréquemment associés. L'argent et le plomb ont beaucoup de rapports ; ils sont très constamment associés dans les filons. Il est assez rare d'y trouver

p38

de l'argent qui ne soit pas accompagné de plomb, et cela n'a guère lieu que lorsque l'argent est à l'état natif ou à l'état de chlorure, deux des états de l'argent qui diffèrent le plus des états correspondants du plomb. Il est encore plus rare de trouver du plomb qui ne soit pas argentifère, parce que le minerai de plomb le plus répandu est le plomb sulfuré, dont les propriétés sont très analogues à celles du sulfure d'argent. Le plomb et le zinc, dont les sulfures ont des propriétés analogues, se trouvent habituellement associés ensemble sous la forme de la galène et de la blende ; enfin il en est de même de toute la grande famille des métaux qui entrent dans les filons stannifères, l'étain, le tungstène, le tantale, le niobium, le pelopium, etc. La division des filons en deux grandes classes, dont l'une contient habituellement un grand nombre de corps simples inconnus ou très rares dans l'autre, est complètement en rapport avec la supposition que les filons se sont formés dans des circonstances qui ont permis aux affinités chimiques de déployer leur action avec une entière liberté. Elle met d'autant mieux en évidence l'influence des actions chimiques sur la formation des gîtes métallifères, que les deux classes se rattachent à deux grandes classes de roches dont la composition chimique présente des différences qui sont en rapport avec celles des deux grandes classes de filons. Il existe en effet une relation impossible à méconnaître entre la nature des filons et la nature des roches éruptives dans le voisinage desquelles ils se trouvent, et avec lesquelles ils sont en connexion. Les filons ordinaires, que j'ai nommés aussi plombifères, parce que les filons de galène argentifère peuvent en être considérés comme le type, se rattachent souvent aux roches éruptives basiques. Ils sont surtout caractérisés par le rôle qu'y jouent les minéralisateurs et par l'absence des silicates anhydres. Ils sont moins riches en minéraux et en corps simples que les filons stannifères, qui se rattachent directement aux granites et aux autres roches éruptives chargées d'un excès d'acide silicique. Je pourrais multiplier les exemples de ce fait général, mais je me bornerai à citer ici ceux que nous offre l'Angleterre. On trouve dans différentes parties de l'Angleterre un grand nombre de filons. Il en existe d'abord en Cornouailles une première série dans laquelle on exploite les minerais d'étain ; ils sont très intimement liés avec les roches granitiques ; ils contiennent une bien plus grande variété de substances minérales que les autres filons qui leur sont postérieurs. La seconde série renferme les filons qu'on exploite pour les minerais

de cuivre. Ces minerais sont principalement de la pyrite cuivreuse ; il y a aussi du cuivre sulfuré, du cuivre oxydulé, du cuivre natif, des phosphates et des arséniates de cuivre. Ces filons, qui sont quelquefois une simple extension des précédents, se rattachent encore, mais moins directement, aux granites dont ils s' éloignent souvent beaucoup plus. Les filons de la troisième série portent le nom de filons croiseurs, parce qu' ils coupent ordinairement les autres, auxquels ils sont postérieurs ; ils renferment des minerais de plomb et de cobalt, du sulfure d' antimoine, de l' argent noir et de l' argent natif. Enfin, il y a une autre série de dépôts métallifères dans le Cornouailles et le Devonshire, ce sont ceux qui renferment seulement du manganèse ; ceux-là pénètrent jusque dans le nouveau grès rouge ; tandis qu' on n' y voit jamais pénétrer les filons de plomb, les filons de cuivre, et encore moins les filons d' étain. Ces différents filons paraissent s' être formés successivement, à des époques de moins en moins anciennes, et on voit la quantité de substances minérales diminuer et leur nature changer, à mesure qu' on revient à des époques de plus en plus modernes, à des époques de plus en plus éloignées des éruptions de roches granitiques, qui paraissent avoir été le point de départ de la formation de la plus grande partie au moins de ces filons. Je dis de la plus grande partie, parce que certaines roches trappéennes peuvent avoir été le point de départ de quelques uns d' entre eux ; mais il y a des différences entre les filons qui sont en rapport avec des roches trappéennes et ceux qui sont en rapport avec les roches granitiques. Les premiers, dont on trouve des exemples nombreux et célèbres dans le Cumberland et le Derbyshire, où ils se rattachent aux *toadstones* et aux *whinstones*, renferment une variété bien moins grande de substances minérales, sont beaucoup moins riches en corps simples et surtout en métaux que ceux qui se rattachent directement aux granites et aux autres roches éruptives chargées d' un excès d' acide silicique. Le Cornouailles et la Saxe, où les granites et les porphyres quartzifères ont été les principaux centres d' émanation des richesses métalliques, renferment des filons des deux classes dont la distinction, sans être absolue, a été faite depuis longtemps. Parmi les filons qui paraissent se lier à des roches où la silice est en excès, ce sont seulement les plus modernes qui correspondent, par leur composition, à ceux qui se rattachent aux roches neutres ou basiques. Les filons qui se rattachent aux masses granitiques ne sont pas tous également

riches en corps simples. Les filons ou les parties de filons qui s' écartent des masses granitiques, bien qu' ils s' y rattachent encore, sont beaucoup moins riches que ceux qui y tiennent de plus près. Les émanations granitiques se sont visiblement appauvries avec le temps et à mesure qu' elles se sont étendues à

de plus grandes distances. Elles ont fini par se réduire au degré de richesse des émanations des roches basiques, et les derniers filons émanant des granites ne se distinguent pas de ceux qui émanent des roches basiques, de sorte qu' on ne peut décider s' ils émanent réellement des granites ou de masses de roches basiques restées ensevelies au-dessous de ces derniers. Il y a ainsi deux classes de contrées métallifères : celles dans lesquelles ont eu lieu des éruptions de roches granitiques, où on rencontre tout le cortège de minéraux que j' ai déjà cités comme se trouvant disséminés dans les roches granitiques ; et celles dont les richesses ne dérivent que des roches éruptives volcaniques et basiques. Les filons de celles-ci ne possèdent que la fin de la série des émanations métallifères ; elles ne contiennent que 43 corps simples, et il en est plusieurs qui ne figurent en quelque sorte que *pour mémoire* dans ce nombre 43, parce qu' ils y sont fort rares : tels sont l' *étain* , qui n' est pas moins rare ici que n' est le plomb parmi les minéraux disséminés dans les granites ; le *palladium* , qui n' y figure que pour le palladium sélénié du Hartz ; le *bore* , que je n' y place qu' à cause des tourmalines, renfermés dans des dolomies du Saint-Gothard et de la boracite disséminée dans certains gypses, et même le *molybdène* qui n' y est représenté que par le plomb molybdaté. Ils ne renferment que des silicates hydratés, tels que la laumonite, l' harmotome et diverses autres zéolithes, le silicate de zinc hydraté / calamine / et certaines chlorites. Il faut encore remarquer que l' *aluminium* ne s' y trouve guère à l' état de combinaison que dans les zéolithes, dans les chlorites, dans le plomb-gomme et dans quelques autres minéraux qui peuvent être regardés comme des résultats de décomposition, et sous une forme pour ainsi dire mécanique, dans les argiles lithomarges. Son absence ordinaire coïncide avec l' absence des silicates non hydratés. Les 38 autres corps simples n' y sont pas tous également répandus. Parmi ceux qui s' y font le plus remarquer, on peut citer le *barium*, le *strontium*, le zinc, le plomb, le cuivre, le mercure, l' argent, le *carbone*, le *tellure* , l' *antimoine* , les corps qui sont beaucoup plus rares, dont quelques uns même sont inconnus dans

p41

les granites et dans les filons stannifères. Les filons ordinaires sont surtout caractérisés par le rôle important qu' y jouent les *minéralisateurs* , et par l' *absence des silicates anhydres* . Dans les filons stannifères, le rôle des minéralisateurs est moins prépondérant. Les gangues autres que la silice jouent un rôle moins habituel : des silicates anhydres y existent fréquemment. Enfin, ces filons, ou, pour mieux dire, la classe très étendue de gîtes métallifères, dont les filons réellement stannifères forment seulement une partie, se distinguent par la grande variété des minéraux qu' ils renferment . Comme le montre la 9 e colonne du tableau placé à la fin de cette note, c' est la classe des gîtes minéraux la plus riche en

corps simples. On y en trouve 48, et ces corps, qui n' y existent pas tous en même temps et qui se remplacent souvent les uns les autres, jouissent en partie de propriétés analogues. Ils sont, pour la plupart, très avides d' oxygène, et, toutes choses égales, ils se rencontrent plus souvent oxydés et moins souvent combinés avec les minéralisateurs, que les métaux qu' on trouve dans les filons ordinaires. Les oxydes de beaucoup de ces corps jouissent des propriétés acides, et se rapprochent, sous ce rapport, de la silice, ce qui rend d' autant plus remarquable la richesse en silice de ces gîtes eux-mêmes, et leurs rapports constants avec les granites, qui sont les roches éruptives les plus riches en silice. Ces gîtes tiennent d' extrêmement près au granite, et leur mode de formation a eu nécessairement les plus grands rapports avec le mode de formation des masses granitiques elles-mêmes. Indépendamment de ce que les gîtes stannifères se rattachent aux granites par de nombreux passages, la liaison est encore établie par la grande ressemblance qui existe, comme le montrent les colonnes 5 et 6 du tableau, entre les listes des corps simples contenus dans les uns et dans les autres. Ces deux classes de gîtes sont avec les filons ordinaires celles dans lesquelles il entre le plus de corps simples. Mais une partie considérable des corps simples qui se trouvent dans les filons ordinaires se retrouvent, comme le montrent les colonnes 8 et 9, dans les sources minérales et dans les émanations volcaniques, tandis que parmi ceux qui sont communs aux granites et aux filons stannifères, plusieurs ne se trouvent jamais ailleurs, et un grand nombre ne se retrouvent ailleurs que très rarement et en très petite quantité. Il semble ainsi qu' il y ait eu une sorte de concentration d' une classe nombreuse de corps simples dans la première écorce du globe terrestre, et que, lors de sa formation, il ait existé une cause tendant à ce qu' un grand nombre de corps simples fussent retirés de la circulation.

p42

Les gîtes que je désigne sous le nom de *filons stannifères* / en prenant, ainsi que je l' ai déjà annoncé, la partie pour le tout / sont sujets à contenir les 42 corps simples contenus dans les granites, à l' exception du thorium que je n' y trouve pas encore indiqué, et qui est très rare dans les granites eux-mêmes. On y trouve, comme dans les granites, le lithium, l' yttrium, le glucinium, le zirconium, le cerium, le lanthane, le didymium, le tantale, le niobium, le pelopium, l' étain, le tungstène, le molybdène ; mais on y cite en outre 7 corps simples : le barium, le nickel, le cadmium, le vanadium, le tellure, l' antimoine et le selenium, qui sont connus pour se trouver assez habituellement dans les filons ordinaires, mais qui n' ont pas encore été cités dans les granites. Ces 7 corps simples sont tous fort rares dans les filons stannifères, et si plusieurs d' entre eux n' ont pas encore été découverts dans les roches granitoïdes, cela tient peut-être au mode de concentration que la nature a suivi dans la formation des gîtes stannifères.

Les 4 i autres corps simples, qui sont communs aux roches granitoïdes et aux filons stannifères, y sont beaucoup plus répandus et y sont beaucoup plus caractéristiques. L'existence prédominante de ces 4 i corps simples dans les deux classes de gîtes dénote entre eux des analogies et une liaison très intime. Cette liaison devient encore plus manifeste, quand on examine en quoi les filons de la seconde classe diffèrent, par leur contenu, des *filons stannifères*. *Les corps simples sont très notablement moins nombreux dans les filons ordinaires et dans les géodes des roches basiques ou volcaniques, qu' ils ne le sont dans les filons stannifères : on y en compte seulement 43.* Certains métaux, tels que l' or, l' argent, le palladium , se trouvent dans les filons ordinaires et dans les filons stannifères. Quelques autres, tels que le strontium , se trouvent dans les filons ordinaires et sont encore inconnus dans les filons stannifères ; mais il n' est pas impossible qu' ils se trouvent plus tard dans ces derniers. L' absence de la plupart des corps simples qui forment l' attribut distinctif des granites est ce qui distingue spécialement les premiers. La plus grande richesse des filons stannifères tient en effet aux rapports qu' ils présentent avec les granites, et la présence de tous les corps simples cités dans les granites / le thorium seul excepté /, est ce qui leur donne un caractère distinct. La liaison que ces comparaisons nous révèlent entre les filons stannifères et les granites, d' une part, et entre les filons stannifères et les filons ordinaires de l' autre, est un fait important qui montre que l' étude de l' origine du granite est un complément indispensable

p43

de celle de l' origine des filons ordinaires, et que le mode de formation du granite doit avoir eu un caractère intermédiaire entre l' origine des filons ordinaires et l' origine des roches éruptives volcaniques et basiques. Le granite, surtout lorsqu' il dégénère en certaines roches qui en sont des dégradations ou des monstruosité, est sujet à renfermer une foule de minéraux cristallisés qui ne se trouvent presque jamais ailleurs, si ce n' est dans les roches métamorphiques qui lui sont intimement associées et dans les gîtes stannifères. Tels sont la tourmaline, le zircon, l' étain oxydé, le wolfram, le tantalite, etc. Ces minéraux contiennent eux-mêmes un certain nombre de corps simples , inconnus ailleurs, et qui n' ont pas continué à faire partie du répertoire des corps simples employés dans le laboratoire de la nature jusqu' aux époques géologiques récentes : tels sont le thorium, l' yttrium, le tantale, le niobium, le pelopium ; dont quelques autres, comme le glucinium, le zirconium, le cerium, le lanthane, le didymium, l' urane, l' étain, le tungstène, le molybdène , bien que se trouvant quelquefois ailleurs, semblent avoir, dans le granite et dans les roches métamorphiques concomitantes, ainsi que dans les gîtes stannifères, leur gisement de prédilection, dont ils sortent

presque aussi rarement que le platine et les métaux ses satellites sortent des roches éruptives basiques. Le *thorium* n' a encore été trouvé que dans le granite ou dans les roches métamorphiques concomitantes ; il n' a pas encore été suivi jusque dans les gîtes stannifères. Le *zirconium* se trouve dans le zircon empâté au milieu de certains basaltes, mais paraît ne s' y trouver que d' une manière accidentelle, comme élément arraché aux granites qui sont son véritable gisement, et la zircone se trouve encore au milieu des granites dans plusieurs autres minéraux. *l' étain, le tungstène, le molybdène, l' urane ne s' échappent en quelque sorte qu' à la dérobee, et en fort petite quantité, des granites, des roches métamorphiques concomitantes et des gîtes stannifères. C' est là que tous ces corps ont, pour ainsi dire, leur quartier général, et ils ne font, dans le reste du monde minéral, que de rares et furtives excursions. Quelques autres corps simples, quoique très généralement répandus, se trouvent dans les granites, dans les roches métamorphiques concomitantes et dans les gîtes stannifères en plus grande abondance que partout ailleurs, ou sous des formes qu' ils ne reprennent dans aucun autre gisement. Ils s' y trouvent, par exemple, dans des minéraux beaucoup plus nombreux que partout ailleurs,*

p44

*ce qui montre que, dans les circonstances où le granite s' est formé, ils se sont trouvés plus à l' aise pour développer toutes leurs affinités et pour contracter toutes les combinaisons dans lesquelles ils sont susceptibles d' entrer. Ainsi, le lithium se trouve dans quelques eaux minérales, mais il y est assez rare et toujours peu abondant, et, indépendamment de cela, il n' a été reconnu que dans des minéraux contenus dans les roches granitoïdes, dans les roches métamorphiques concomitantes et dans les gîtes stannifères. Le titane se trouve dans une foule de roches : c' est un des corps simples les plus répandus, et qui peuvent servir à établir la liaison entre les roches volcaniques et les roches cristallines anciennes ; mais il se trouve dans les roches volcaniques à l' état de fer titané seulement, tandis que, dans les roches anciennes, il entre dans un très grand nombre de minéraux. Le cerium, qui présente des rapports avec le manganèse dans ses propriétés chimiques, se trouve principalement dans les granites et dans les gisements concomitants, où il y entre dans la composition d' une foule de minéraux inconnus ailleurs. Le bore se rencontre dans les émanations volcaniques actuelles, aussi bien que dans les roches granitiques. C' est un des corps qui peuvent servir à établir la liaison entre les phénomènes anciens et les phénomènes récents ; mais il se trouve bien plus habituellement et en plus grande abondance dans les roches cristallines anciennes, où les tourmalines qui contiennent du bore sont généralement répandues. Le fluor ne joue qu' un rôle très peu appréciable dans les volcans. Il se trouve dans les eaux minérales et dans les filons, sous forme de*

*chaux fluatée ; mais on voit qu' il a joué un rôle important dans les anciens phénomènes de cristallisation, parce que beaucoup de composés qui renferment les corps simples propres aux terrains granitiques renferment en même temps du fluor. Le phosphore contenu dans le phosphate de chaux se trouve dans les eaux minérales et dans la terre végétale qui le fournissent journellement aux corps organisés, et il se trouve répandu avec les ossements, les coquilles et autres débris organiques, dans toutes les roches sédimentaires ; mais le gisement essentiel de la chaux phosphatée cristallisée est au milieu des granites et dans les gîtes stannifères, où l' acide phosphorique se trouve encore dans le manganèse phosphaté et dans plusieurs autres minéraux. Le carbone se présente dans des circonstances assez analogues à celles où se présente le phosphore. Il entre, pour une partie*

p45

*principale, ou au moins très notable, dans la composition des êtres organisés, qui l' empruntent à l' acide carbonique de l' atmosphère dans laquelle les émanations volcaniques et les sources minérales le versent constamment. Il se trouve au milieu des roches sédimentaires et métamorphiques sous forme de combustibles minéraux et de graphite, qui doivent leur origine à des débris organiques, et il y entre dans la composition de carbonates qui proviennent ou de débris organiques, ou de sources minérales ; mais on ne peut lui assigner d' autre gisement indépendant des êtres organisés et des émanations souterraines, que les roches cristallines anciennes ; car il est très probable que le gisement originaire du diamant, qui n' est pas encore bien connu, se trouve dans certaines roches granitoïdes très riches en minéraux cristallisés qui sont le gisement originaire de la plupart des pierres précieuses. Tous ces corps, si remarquables par la vigueur de l' action cristalline qui a présidé à leur formation, sont, dans cette forme particulière, au nombre des minéraux qui caractérisent les granites. Si la concentration de certains corps simples dans le granite se bornait à des corps généralement très rares et assez peu connus, comme quelques uns de ceux que nous venons de passer en revue, on pourrait l' appeler une bizarrerie de la nature, en supposant qu' un pareil mot pût être admis dans la science ; mais un phénomène analogue existe pour des corps extrêmement répandus dans tout le règne minéral et même dans le règne organique, particulièrement pour le potassium. Le potassium et le sodium se trouvent dans toutes les colonnes du tableau qui termine cette note, excepté dans celle des métaux natifs ; mais il est à remarquer qu' ils n' y sont pas dans la même proportion ; que le potassium est plus abondant, proportionnellement, dans les roches granitiques qu' il ne l' est dans les roches volcaniques actuelles et dans les roches volcaniques anciennes. Il arrive très souvent que, dans les roches volcaniques, il est remplacé par le sodium. De même, la soude est plus abondante que la potasse dans les eaux*

*minérales actuelles et dans les émanations volcaniques. Ainsi, le potassium et le sodium ont joué un rôle à peu près analogue ; mais le potassium a joué son rôle plus anciennement, et le sodium à une époque plus moderne. La potasse a des affinités plus fortes pour la plupart des acides, et surtout pour la silice, que la soude, et les silicates à base de potasse sont plus stables que ceux à base de soude. Cela explique comment les eaux thermales, en décomposant les roches qu'elles ont à traverser dans l'intérieur de la terre, s'y chargent de soude plutôt que de*

p46

*potasse, et cela permet aussi de concevoir pourquoi le potassium s'est concentré, de préférence au sodium, dans l'écorce granitique du globe terrestre, dans ce qui paraît avoir été la première croûte refroidie qui a pu se former à la surface du globe terrestre encore en fusion. Enfin, le même phénomène de concentration dans les granites existe pour le silicium, puisqu'en examinant les différentes classes de roches éruptives, on est conduit à les diviser en roches dont la masse est principalement formée par des feldspaths où la silice se trouve en défaut, et en roches extrêmement silicatées, telles que les granites dans lesquels le feldspath est saturé de silice, et qui renferment même un excès de silice libre ; d'où il résulte que les granites et toutes les roches auxquelles se rapporte collectivement la 5<sup>e</sup> colonne du tableau placé à la fin de cette note, se distinguent essentiellement des autres roches éruptives, parce que la silice s'y trouve dans une proportion beaucoup plus grande. Cette dernière remarque doit faire concevoir que le fait de la concentration d'un certain nombre de corps simples dans les granites et dans les gîtes concomitants doit tenir aux circonstances les plus caractéristiques de leur formation. Il est d'autant plus probable qu'il en est ainsi, que la plupart de ces corps simples jouissent en commun de certaines propriétés : la plupart sont très avides d'oxygène ; toutes choses égales, d'ailleurs, ils sont plus souvent oxydés et moins souvent combinés avec des minéralisateurs que les métaux, qui se trouvent de préférence dans les filons ordinaires. En s'oxydant, ils donnent naissance soit à des substances alcalines plus ou moins analogues à la potasse, soit à des acides faibles qui ont des rapports plus ou moins marqués avec la silice. Tout porte donc à conclure que c'est la même cause, et par conséquent une cause très spéciale qui a concentré tous ces corps dans les granites et dans les gîtes concomitants d'une manière si particulière. L'action de cette cause, quelle qu'elle puisse être, se révèle encore par les différences qu'on observe entre les effets métamorphiques qui ont accompagné l'injection du granite et celle de la plupart des autres roches éruptives à travers les roches préexistantes. Quelquefois les effets métamorphiques du granite se bornent, comme ceux du basalte ou du porphyre, aux conséquences d'une élévation de température considérable, quoique généralement trop faible pour fondre les*

*roches métamorphosées qui ont conservé presque partout leur stratification originale ; mais, dans une foule de cas, les effets métamorphiques du granite, sans annoncer une*

p47

*température capable de fondre les roches qui ont conservé leur stratification, annonce une énergie extraordinaire d' action chimique et cristalline, et ces effets dérivent tellement bien de l' action du granite et de l' action même à laquelle le granite doit sa propre cristallinité, qu' ils sont accompagnés de l' introduction de la plupart des corps simples et des minéraux caractéristiques des granites. L' origine granitique de ces minéraux est tellement évidente, que je n' ai pas hésité à comprendre, dans la 5 e colonne du tableau placé à la fin de cette note, les éléments de tous les minéraux qui se trouvent dans les roches métamorphiques, dont le métamorphisme est dû au granite ; ceux, en un mot, qui, suivant l' heureuse expression de M De Humboldt, sont compris dans la pénombre du granite et des roches granitoïdes. Les minéraux si variés qui se trouvent disséminés dans les micaschistes rentrent pour moi dans cette classe ; et c' est pour cela que j' y comprends le spinelle zincifère des schistes talqueux du fahlun, l' or natif de certains micaschistes, l' argent que cet or renferme sous forme d' alliage, etc. ; ce qui me donne des motifs pour comprendre le zinc, l' or et l' argent parmi les corps simples qui forment le cortège des roches granitiques. Les minéraux qui contiennent cette multitude de corps simples que j' ai signalés comme l' attribut spécial des granites, se trouvent ainsi concentrés dans la zone dans laquelle la cause qui a présidé à la cristallisation du granite a surtout exercé sa puissance ; leur présence est l' un des témoignages les plus palpables de l' action d' une réunion d' agents que l' on désignerait assez volontiers sous le nom d' *Aura Granitica* , si l' on voulait se contenter d' exprimer les notions vagues que révèle le premier aspect des phénomènes. Mais si l' on veut y pénétrer plus avant et les analyser plus complètement, on remarquera que les minéraux qui contiennent cette multitude de corps ne sont pas disséminés arbitrairement dans toutes les parties des masses granitiques qui en renferment : ils sont concentrés dans certaines parties, et surtout vers la surface de ces masses granitiques. C' est la position dans laquelle se trouvent ordinairement les minerais d' étain. Ils sont ainsi concentrés, non seulement dans la première écorce du globe terrestre, mais encore dans l' écorce de cette écorce et dans les ramifications que cette écorce a formées dans les masses à travers lesquelles elle était poussée par les agents éruptifs. On observera, en outre, que les parties des masses granitiques et de leurs ramifications dans lesquelles sont concentrées les richesses minérales qui nous occupent, se distinguent du reste des masses, non seulement par*

leur position excentrique, mais aussi par l' excentricité de leur composition ou de leur structure. Elles sont souvent plus cristallines que le reste / granites à grandes parties, pegmatites / ; plus souvent encore elles sont extrêmement quartzieuses, et sont même, sous ce rapport, de véritables monstruosité du granite / hyalomictite, hyalo-tourmalite, quartz en masse /. On est donc fondé à penser que l' action quelconque qui a concentré sur la limite des masses granitiques, les richesses minérales et la surabondance de quartz dont nous parlons, n' est qu' une application plus concentrée de la cause générale à laquelle les granites doivent d' être plus riches en silice que la plupart des autres roches éruptives, et de s' en distinguer en même temps par une cristallinité particulière. C' est dans cette zone extérieure, désignée si heureusement par M De Humboldt sous le nom de *pénombre du granite* , que la cause quelconque à laquelle sont dues la cristallinité et la richesse en silice du granite a surtout exercé sa puissance, et c' est là que le secret de son action peut être recherché avec le plus de chances de succès. L' origine éruptive des granites ne saurait être révoquée en doute. Les ramifications qui se détachent sous forme de filons ou de colonnes irrégulières de la plupart des masses granitiques, les fragments de roches préexistantes qui s' y trouvent empâtés, en fournissent des preuves incontestables. Les granites, au moment où ils ont fait éruption, étaient à une température élevée ; on en a la preuve dans les modifications qu' ont fréquemment éprouvées les roches préexistantes, au milieu desquelles ils ont été injectés. La question de l' origine des granites consiste surtout aujourd' hui à déterminer les différences qui doivent avoir existé entre le mode d' éruption des granites et le mode d' éruption des roches qui s' en rapprochent le plus par leur composition, différences qui doivent être en rapport avec la cristallinité particulière des granites et avec toutes les circonstances qui les particularisent. Il est certain qu' il a existé des différences essentielles entre le mode d' éruption des granites et celui de la plupart des autres roches éruptives. Les filons de granite ont rarement la régularité et l' étendue que présentent habituellement les filons de basalte et de porphyre quartzifère. Ils ne sont jamais accompagnés de scories ni de roches vitreuses ; ils ne sont presque jamais accompagnés de conglomérats qu' on puisse mettre en parallèle avec les conglomérats basaltiques, trachytiques et porphyriques. On chercherait vainement à expliquer ces différences en disant que le granite est le produit d' éruptions intérieures qui auraient rempli de vastes cavités

situées à de grandes profondeurs dans l' épaisseur de l' écorce terrestre. Les éruptions granitiques peuvent sans doute avoir

rempli quelquefois de grands vides souterrains produits par les dislocations de l' écorce du globe ; mais la profondeur à laquelle ils pouvaient être situés n' a eu qu' une influence très secondaire sur le phénomène. On en a la preuve dans la disposition des gîtes stannifères qui forment le cortège d' un grand nombre de masses granitiques. La richesse de ces gîtes, notamment celles des masses d' hyalotourmalites schisteuses, d' origine métamorphique, qu' on exploite à l' Auersberg, en Saxe, varie rapidement avec la distance des points exploités à la surface du sol. Cette variation, observée dans les gîtes stannifères, est d' autant plus significative qu' elle n' est qu' un cas particulier d' une variation toute semblable observée dans une foule de gîtes métallifères de la nature la plus variée. On peut citer comme exemples de cette variation les mines d' or de Beresowsk, en Sibérie, le Gossan , souvent stannifère des filons du Cornouailles, les minerais argentifères rouges de la mine d' Huelgoet, en Bretagne, les Pacos et les Colorados du Mexique et du Pérou, une foule de dépôts calaminaires, et elle prouve que la surface actuelle diffère très peu de la surface qui existait lors de la formation de ces différents gîtes métallifères, et près de laquelle la richesse minérale s' est particulièrement concentrée. Cette remarque s' appliquant aux gîtes stannifères aussi bien qu' aux autres, on est conduit à conclure que depuis leur formation, et par conséquent depuis l' éruption des granites, à la pénombre desquels ils appartiennent, la surface du sol n' a guère été altérée que par le creusement des vallées. Les granites qui se montrent avec leur grain ordinaire, soit à la surface des plateaux, soit à une petite distance verticale au-dessous de leur surface, ne peuvent donc être redevables de leur cristallinité à la grande profondeur à laquelle ils se seraient consolidés. Si la forme particulière des roches granitiques et des roches métamorphiques qui leur sont associées tenait seulement à la grande profondeur à laquelle elles se sont produites, on les trouverait également riches en substances métalliques, quel que soit leur âge. Or, il est certain que, parmi les roches de cette classe, les plus anciennes sont les plus riches, comme on peut s' en convaincre en comparant les roches cristallines anciennes de la Suède, de la Finlande, de la Bohême, de la Bavière, de la Nouvelle-Angleterre, etc., aux roches qui leur sont le plus analogues parmi celles qui sont dues à des phénomènes plus modernes. La syénite zirconienne de Christiania, le miascite et les autres roches cristallines

p50

de l' Oural, sont du nombre de celles parmi lesquelles on a signalé la plus grande variété de minéraux contenant habituellement les corps simples spécialement concentrés dans les roches granitiques. Ils s' y trouvent en effet presque tous ; cependant le molybdène et le tungstène paraissent y manquer. Or ces roches, quoique sans doute fort anciennes, le sont

probablement un peu moins que la plupart de celles dans lesquelles se trouvent habituellement les minéraux qui contiennent ces deux derniers métaux. Ainsi leur ancienneté un peu moindre est accompagnée d'un premier degré d'appauvrissement. Cet appauvrissement devient bien plus sensible encore si on compare des roches cristallines acidifères d'âges plus différents. On peut alors faire porter la comparaison sur des localités très nombreuses. M Scheerer, de Christiania, a signalé, il y a quelques années, l'existence de gadolinites, d'orthites et d'allanites / minéraux pyrognomiques contenant du cerium, de l'yttrium et du zirconium, et le plus souvent accompagnés des autres corps simples, spécialement propres aux roches cristallines acidifères /, dans les granites de 74 localités différentes, savoir : 60 en Norvège et en Suède, 5 en Finlande, 4 au Groenland et 5 dans l'Amérique septentrionale / Nouvelle-Angleterre /. Il se trouve aujourd'hui en mesure d'augmenter encore considérablement le nombre de ces gisements et de les porter jusqu'à 100. Il y comprend celui d'un minéral voisin de l'orthite que M Breithaupt a découvert près de Marienberg, en Saxe. Il ne nomme pas une seule localité où ces roches granitoïdes et métamorphiques ne remontent pas à une époque ancienne. Si de ces gisements anciens on passe aux roches jurassiques métamorphiques des Alpes, on y trouve encore la tourmaline et les minerais de titane, mais ils sont dépouillés de tout le cortège des minéraux qui contiennent les métaux de la famille du tantale. Les filons à silicates qui accompagnent les roches granitoïdes de l'Oisans, du Mont-Blanc, du Saint-Gothard, renferment bien du titane et du bore / dans l'axinite /, mais ils ne contiennent ni étain, ni tungstène, ni tantale, ni cerium, etc. Les granites de l'île d'Elbe, qui ont fait éruption postérieurement au dépôt des terrains crétacés, et même probablement après le dépôt d'une grande partie des terrains tertiaires renferment encore des tourmalines et quelques émeraudes, mais elles y représentent seules les minéraux variés et riches en corps simples des granites anciens. Les granites talqueux ou *protogines*

p51

de l'Oisans, dont j'ai donné ailleurs la description, n'ont cristallisé qu'après avoir été soulevés jusque dans la région des neiges perpétuelles. Ils peuvent être cités comme une des meilleures preuves que les granites ne doivent pas leur cristallinité à ce qu'ils se sont solidifiés dans les profondeurs de la terre. Mais ces granites dont l'éruption a été très tardive n'avaient guère que le cortège métallifère des porphyres quartzifères, et en même temps ils n'avaient qu'une faible puissance cristalline ; car, près des points de contact avec les roches à travers lesquelles ils ont fait éruption, ils se sont consolidés à l'état d'eurites ; ce n'est que dans l'intérieur des masses que leur grain cristallin s'est développé. Cet appauvrissement des granites produits à des époques récentes

est d' autant plus remarquable, que, dans les périodes modernes, les éruptions granitiques sont devenues comparativement beaucoup plus rares qu' elles ne l' étaient dans les périodes anciennes. Elles n' ont plus été que des exceptions, et elles ont été remplacées par des éruptions d' une autre forme, quoique composées à peu près des mêmes éléments. En effet, les granites les moins anciens sont généralement les plus sujets à prendre la forme porphyroïde. Les éruptions granitiques sont devenues beaucoup plus rares vers l' époque du grès rouge ; et, à cette même époque, les éruptions de porphyres quartzifères sont devenues très nombreuses. Les éruptions porphyriques ont différé en plusieurs points essentiels de celles des granites. Les porphyres sont souvent accompagnés de masses vitreuses / rétinites /, de conglomérats porphyriques et de quelques scories, ce qui n' a jamais lieu pour les granites. La présence des conglomérats semble annoncer que les porphyres se solidifiaient par le refroidissement beaucoup plus aisément que les granites. La présence des roches vitreuses tend à confirmer cette conjecture. Les conglomérats, les roches vitreuses, les scories sont autant de traits de ressemblance entre les porphyres quartzifères et les trachytes, qui leur ont succédé et auxquels les porphyres se lient souvent. Les porphyres quartzifères, et surtout les trachytes sont un peu moins riches en silice que les granites, quoique souvent ils aient pour base des feldspaths saturés. Cette diminution dans la proportion de silice, ce changement dans la forme des éruptions, cette diminution dans la force cristalline

p52

sont accompagnés d' un appauvrissement dans le cortège métallifère ; car, sauf quelques exceptions qui empêchent de poser la règle d' une manière absolue, telles que l' *elvan* stannifère de la mine de Wherry, près de Peuzance en Cornouailles, et le porphyre quartzifère de la mine d' étain d' Altenberg en Saxe, on peut dire généralement que le cortège métallifère des porphyres quartzifères ordinaires se réduit à peu près à celui des roches basiques ; celui des trachytes est encore plus réduit. Les porphyres quartzifères et les trachytes sont, pour ainsi dire, des *granites éventés* . On voit ainsi le cortège métallique des roches éruptives acidifères s' appauvrir, à mesure que leurs modes d' éruption et de cristallisation se modifient pour se réduire au mode actuel. La richesse métallique diminue en même temps que la richesse en silice et que la puissance de cristallisation ; elle diminue même plus vite, puisque les derniers granites ont été privés de la partie la plus caractéristique du cortège métallique des granites anciens. Il semblerait que les corps simples, spécialement propres aux granites anciens, se sont fixés dans les parties de l' écorce terrestre les plus anciennement consolidées, en même temps que l' action particulière à laquelle est due la cristallisation du granite a commencé à devenir moins intense et moins générale.

Cette action elle-même ne s'est plus exercée que d'une manière exceptionnelle, comme dans le granite de l'île d'Elbe. L'affaiblissement graduel de la puissance cristalline devient plus évident encore, quand on considère les effets métamorphiques éprouvés par les roches sédimentaires à travers lesquelles les trachytes, les porphyres quartzifères et les granites ont fait éruption. On reconnaît, avec évidence, des effets calorifiques plus ou moins intenses et les modifications de structure cristalline qui peuvent en résulter, dans les roches qui ont été en contact avec les trachytes et les porphyres au moment de leur éruption. Mais ces effets sont loin d'égaliser ceux qu'on observe souvent au contact des granites, et surtout des granites anciens, de ceux qui n'avaient rien perdu de la puissance cristalline, de la richesse en silice et de la richesse métallique qui semblent avoir été leur cachet originaire. En effet, si les granites se distinguent des porphyres quartzifères et des trachytes, en ce qu'ils ne sont pas associés, comme ces dernières, à des roches vitreuses et à des scories, en ce qu'ils ne le sont presque jamais à des conglomérats ; ils s'en distinguent également en ce qu'il existe tant de passages entre le granite et le gneiss, entre le gneiss et le micaschiste, quelquefois même, entre le granite

p53

et le micaschiste, que la question de l'origine de ces roches est nécessairement connexe. Je suis très porté à croire que beaucoup de micaschistes et de gneiss sont des roches d'une origine métamorphique : ce sont des roches déposées à l'état sédimentaire qui ont éprouvé un changement d'état cristallin. Cependant certains gneiss sont des roches éruptives qui, en s'étirant à la suite de leur éruption, ont pris une forme schisteuse ou plutôt fibreuse, et il est souvent difficile de distinguer les gneiss des deux origines. M Virlet a fait voir depuis longtemps combien il est probable que certains granites ont eux-mêmes une origine métamorphique, que ce sont des dépôts sédimentaires qui ont été altérés par l'action de la chaleur et par d'autres actions, jusqu'au point d'arriver à l'état de fusion. Ces mêmes granites, d'origine métamorphique, auraient pu former des gneiss d'origine éruptive, s'ils avaient fait éruption dans des circonstances convenables. Le sédiment dont la fusion aurait produit ces granites ou ces gneiss pouvait provenir lui-même de granites plus anciens. On conçoit ainsi que l'origine des premiers granites, des gneiss anciens et des micaschistes qui s'y rattachent n'est pas complètement distincte. L'origine de ces roches est d'autant plus évidemment connexe, que les corps simples qui forment parmi les roches éruptives l'apanage distinctif des granites, se retrouvent souvent dans les gneiss et les micaschistes liés aux masses granitiques qui les renferment. Pour expliquer l'origine par voie métamorphique des gneiss et des micaschistes, il faut certainement admettre que la chaleur a joué un rôle essentiel

dans l' origine du granite. Mais relativement à ces roches, comme relativement au granite, il y a aussi à tenir compte d' actions diverses, particulièrement d' actions chimiques de différentes espèces, et les considérations qui seront admises relativement à la classe particulière d' actions chimiques qui a présidé à l' origine du granite, doivent pouvoir s' appliquer au gneiss et au micaschiste, attendu que le gneiss et le micaschiste renferment, comme éléments contemporains, une quantité de minéraux qui contiennent les mêmes corps simples que j' ai signalés comme spécialement propres au granite. Ainsi la question de l' origine du granite est à la fois d' autant plus importante et d' autant plus difficile, qu' elle comprend celle de l' origine de plusieurs des roches cristallines les plus répandues à la surface du globe. C' est un vaste problème dont la question de l' origine du granite est le noeud. Cette question paraît encore aujourd' hui fort obscure ; mais ce serait déjà un pas important de parvenir à la poser dans toute sa

p54

généralité, et de signaler les faits principaux qui devront être expliqués simultanément. Quand même on devrait se borner pendant longtemps à grouper ces faits entre eux, on en formerait sans aucun doute un des plus intéressants chapitres de la géologie, qu' on pourrait perfectionner graduellement jusqu' à ce qu' il en découle une théorie. Coordonnés, comme j' ai essayé de le faire dans les pages qui précèdent, les faits conduisent à penser que les parties des granites auxquelles la cause essentielle de leur forme particulière a imprimé son cachet de la manière la plus caractéristique, sont celles où abondent le plus les minéraux qui contiennent les corps simples signalés comme l' apanage spécial des granites. On peut donc concevoir que les granites types, les granites modèles, ceux dont il suffirait d' expliquer l' origine pour être sur la voie d' expliquer complètement l' origine de tous les granites et de toutes les roches qui s' y rattachent sont les *granites stannifères*, et, en général, ceux dans lesquels sont répandus en abondance les métaux de la famille de l' étain. Mais, dans ces granites eux-mêmes, les minéraux qui contiennent ces corps simples ne sont pas disséminés complètement au hasard ; ils sont particulièrement concentrés dans certaines parties des masses et surtout vers leur surface. On les trouve presque aussi fréquemment extravasés dans les roches, au milieu desquelles la masse granitique a été injectée, que répandus dans l' intérieur de cette masse à une grande distance de sa surface de contact avec les roches pénétrées. M Daubrée remarque, à juste titre, dans son intéressant mémoire sur les amas de minerai d' étain, que tous les amas stannifères, quelle que soit la roche qui les renferme, granite, porphyre, gneiss ou micaschiste, se trouvent toujours près du contact avec une autre roche. Aucun de ces amas ne s' éloigne de plus de 500 mètres de la jonction de deux terrains. En pareil cas, l' une des deux roches en contact est toujours une des roches sursaturées de silice que j' ai

comprises d' une manière générale dans le groupe des roches granitoïdes. Ces masses stannifères ne le sont dans toute leur étendue que lorsque leur diamètre est peu considérable et ne dépasse pas quelques centaines de mètres, ce qui est du reste assez fréquent ; car les roches les plus stannifères sont souvent des masses détachées qui ont pointé en dehors les grandes masses granitiques. Ces masses éruptives qui se distinguent par la présence de

p55

l' étain, ou, en général, par celle des corps simples de la famille de l' étain, du tantale, du tungstène , etc., sont rarement formées de granite d' une composition et d' une structure ordinaires, de granite normal ; elles présentent le plus souvent ces diverses roches que j' ai désignées comme des dégradations ou des monstruosité du granite, telles que le granite à grandes parties, le granite graphique, l' hyalomictite / greisen /, etc. Ce sont même quelquefois les parties extérieures des masses stannifères qui présentent de la manière la plus frappante ce caractère ultra-granitique , si je puis m' exprimer de la sorte. Ainsi le massif stannifère de Geysers, en Saxe, a la forme d' un cône tronqué dont le plus grand diamètre n' excède pas 260 mètres. Il est encaissé dans le gneiss et formé d' un granite dont le grain est peu développé ; mais il est entouré d' une enveloppe, désignée par les mineurs sous le nom de stockscheider , épaisse de 25 à 30 mètres, composée de granite à grandes parties dont les cristaux sont d' une grosseur extraordinaire. Il semble que la cause particulière de la cristallinité du granite soit venue ici se jouer sur la surface de la masse éruptive, de même, si cette figure n' est pas trop hors de saison, que l' électricité se porte à la surface d' un nuage. On appréciera mieux encore les faits de ce genre en les comparant à des faits d' une nature contraire. Les granites talqueux ou *protogines* à gros grains des montagnes de l' Oisans que j' ai décrites ailleurs avec détail perdent presque complètement leur cristallinité et se réduisent à peu près à des eurites dans les points où elles sont en contact avec les roches sédimentaires, à travers lesquelles elles ont fait éruption ; c' est l' effet évident du refroidissement causé par le contact de ces dernières, qui, elles-mêmes, portent les traces de l' action exercée par la chaleur de la protogine et ont passé à l' état métamorphique jusqu' à une très petite distance. Ces granites, dont l' éruption est très moderne, ne possédaient évidemment la vertu métamorphisatrice qu' à un très faible degré ; le contact leur faisait même perdre très facilement la faculté de cristalliser à l' état granitoïde ; ils étaient, pour ainsi dire, éventés . Ils se sont conduits à leur surface comme des porphyres quartzifères, et ce qui est très remarquable, leur cortège métallique se réduit à celui des porphyres quartzifères et des roches basiques. Ils ne sont accompagnés que de filons plombifères et cuprifères à gangues de baryte sulfatée. Ils ne

sont pas plus quartzeux près de leur surface que dans l'intérieur de la masse.

p56

La cause qui a rendu les granites plus riches en silice que les autres roches éruptives semble aussi s'être déployée dans les gîtes stannifères avec une prédilection particulière. M Daubrée, dans son important mémoire sur les amas de minerai d'étain que j'ai déjà cité, insiste fortement sur ce fait, que dans tous les gisements de minerai d'étain / amas ou filons /, le quartz existe avec une grande abondance. Quand le granite devient stannifère, il perd sa nature ordinaire, son feldspath disparaît, il passe à une roche principalement quartzreuse renfermant peu de mica. Dans tous les amas, les petits filons sont exclusivement composés de quartz, et l'existence du quartz se lie tellement à la présence de l'oxyde d'étain, que quand les roches encaissantes sont imprégnées de ce minerai, elles deviennent, en général, plus quartzreuses, comme on le voit à Geyer et à Altenberg, en Saxe, où l'une des règles pratiques de l'exploitation est que la richesse de la roche imprégnée de particules invisibles d'oxyde d'étain, croît en proportion de sa richesse en quartz. On voit ainsi que les caractères qui distinguent essentiellement le granite, sa cristallinité, sa richesse en silice et sa richesse métallique, atteignent de concert leur maximum de développement dans les mêmes points et très probablement par les mêmes causes. Nous ferions un nouveau pas vers la découverte de ces causes, si nous pouvions nous rendre un compte exact du rôle que le quartz a joué lors de la cristallisation du granite. Ce rôle paraît encore extrêmement problématique et a donné lieu, dans ces derniers temps, à d'importantes discussions. Les écrits récents de M Fuchs et de M De Boucheporn ont rappelé l'attention des minéralogistes et des géologues sur ce fait que le quartz renfermé dans les granites porte l'empreinte des formes cristallines des minéraux qui l'accompagnent. Ainsi, toutes les collections minéralogiques contiennent des morceaux de quartz hyalin portant l'empreinte extérieure d'aiguilles de tourmaline, et présentant les traces de leurs moindres stries plus exactement qu'on ne pourrait les prendre avec la cire. Dans d'autres cas, c'est le feldspath, ce sont des grenats ou d'autres silicates dont le quartz a pris le moule. Ces phénomènes paraissaient très simples aux géologues qui admettaient l'origine neptunienne du granite ; ils les rapprochaient de ceux dans lesquels la silice contenue dans des dissolutions a opéré cette multitude de pétrifications de coquilles, de polypiers, de bois, dont toutes les collections abondent et qui font admirer la finesse du travail lapidifique.

p57

Mais, depuis que l'origine éruptive et ignée du granite a été démontrée, ces mêmes faits sont devenus autant de difficultés. Comment, en effet, concevoir qu'un corps aussi réfractaire que la silice ne se soit consolidé qu'après des corps aussi fusibles que la tourmaline, le feldspath, le grenat ? Plusieurs explications de ce phénomène singulier ont été proposées ; je ne parlerai que des plus plausibles. M Fournet, professeur de minéralogie et de géologie à la faculté des sciences de Lyon, a pensé que la silice pourrait jouir à un très haut degré de la propriété de la *surfusion*. La température de la fusion d'un corps et la température à laquelle il se consolide en se refroidissant ne sont pas nécessairement identiques. La glace fond à (..) ; mais l'eau, lorsqu'elle se refroidit dans des circonstances convenables, peut conserver sa liquidité à plusieurs degrés au-dessous de (..) . Le soufre fond à (..) centigrades ; mais le soufre refroidi dans certaines circonstances peut rester mou jusqu'à la température ordinaire ; le phosphore possède une propriété analogue. Pourquoi la silice ne jouirait-elle pas d'une propriété du même genre dans un intervalle de température plus grand encore ? Non seulement on ne peut le nier, mais on peut assurer que la silice jouit de cette propriété dans une très large mesure. La silice est, en effet, parmi tous les corps connus, un de ceux où les changements de cohésion qui accompagnent le passage de l'état solide à l'état liquide, et surtout de l'état liquide à l'état solide, embrassent le plus grand intervalle thermométrique. Elle ne fond qu'au chalumeau de gaz oxygène et hydrogène, à une température qui a été évaluée à (..) centigrades ; mais, lorsqu'elle a été fondue, on peut l'étirer en fils, comme l'a fait M Gaudin, à une température beaucoup plus basse. Quoiqu'elle ne fonde qu'à une température double de celle de la fusion du fer, on peut l'étirer en fils à une température inférieure à la chaleur rouge, c'est-à-dire à une température qui surpasse moins la température ordinaire, à laquelle le fer ne s'étire plus en fils qu'assez difficilement, que la température de sa fusion ne surpasse celle de la fusion du fer. L'intervalle thermométrique pendant lequel elle est malléable est donc plus grand pour elle que pour le fer ; mais le fer est presque également malléable à un même degré thermométrique, soit qu'on l'y ait porté à partir d'une température plus basse en le chauffant, ou à partir d'une température plus élevée en le refroidissant. Il y a toutefois une légère différence qu'on observe dans le fil de fer *recuit*, c'est-à-dire chauffé et refroidi. Pour la silice,

p58

la différence est infiniment plus grande. Le quartz est un corps très réfractaire qui conserve probablement sa rigidité presque jusqu'au moment où il entre en fusion ; mais, après avoir été fondu, il reste malléable, comme on vient de le voir, jusqu'à une température bien inférieure à son point de fusion. Je ne

crois cependant pas que ce soit là la seule et véritable raison de la faculté qu' a possédée le quartz de prendre les empreintes de la tourmaline et d' autres minéraux facilement fusibles. L' observation montre non seulement que le granite ne s' est consolidé qu' à une température assez peu élevée, mais qu' il n' a pas même fait éruption à une température aussi élevée, à beaucoup près, que celle qui est nécessaire pour fondre le quartz . S' il avait possédé, au moment de son éruption, une température égale à celle qu' exige la fusion du quartz, il aurait fondu toutes les roches avec lesquelles il se serait trouvé en contact, même les quartzites purs. Or, on observe, au contraire, que le contact du granite n' a fondu que des roches extrêmement fusibles . Son action s' est le plus souvent bornée à les faire passer à l' état métamorphique sans faire disparaître leur stratification. On pourrait chercher à expliquer ce résultat, en disant que le granite a été fondu, dans l' intérieur du globe, à une température capable de fondre le quartz ; mais que, dans les cas auxquels je viens de faire allusion, il n' a pénétré dans les fentes où il a formé des filons, qu' à une température déjà très réduite ; or, l' examen des roches stratifiées qui sont devenues métamorphiques au contact des granites, réfute complètement cette supposition ; car il est évident que le quartz qu' elles contiennent a été dans le même état de mollesse que celui du granite lui-même ; il a pris de même l' empreinte de minéraux plus fusibles que lui, tels que la tourmaline, le grenat, etc. Pour pouvoir prendre l' empreinte d' une tourmaline ou d' un grenat, le quartz a dû nécessairement être amolli ; mais il n' a pas eu besoin d' être fondu. Il est même certain qu' il a produit ce phénomène sans avoir été fondu ; car on l' observe dans les petites masses de quartz renfermées dans le micaschiste. Or, si le micaschiste est une roche métamorphique, comme on l' admet généralement aujourd' hui, il est certain que les agents quelconques qui l' ont fait passer à l' état métamorphique ne l' ont pas fondu, puisqu' elle a conservé sa stratification originaire, et que, par conséquent, ils n' ont pas fondu le quartz qu' elle renferme. On peut supposer, à la vérité, qu' une partie au moins du quartz qui forme

p59

des ganglions dans les micaschistes y a été introduite à la suite de l' éruption du granite ; mais il serait difficile de concevoir que cette introduction ait toujours eu lieu à une température assez basse pour que le quartz ne fonde pas le mica, et cependant assez élevée encore pour que sa mollesse lui permette de se mouler sur ce minéral. La silice possède une seconde propriété qu' on met en jeu tous les jours dans les verreries et dans les analyses de minéraux, celle de fondre et de produire un verre, lorsqu' on la chauffe avec des substances qui ont pour elle assez d' affinité pour l' attaquer, à une température bien inférieure à celle de sa propre fusion. Cette silice, séparée par la voie humide, au moyen d' un acide, des substances qui l' ont attaquée,

reste, à la température ordinaire, à l'état gélatineux, et la silice gélatineuse ne se durcit qu'à la longue. Elle finit cependant quelquefois par devenir très dure, et, au moyen de l'éther silicique, M Ebelmen en a obtenu qui avait presque la dureté du quartz. Cette silice qui, pendant longtemps, reste molle à la température ordinaire, présente, en quelque sorte, une seconde espèce de surfusion, et on pourrait admettre que c'est cette *surfusion chimique ou gélatineuse qui a été mise en jeu dans la formation des roches granitiques*. Cependant, M Durocher, ingénieur des mines, professeur de minéralogie et de géologie à la faculté des sciences de Rennes, a proposé une autre hypothèse. L'eau mélangée de sels reste liquide à une température bien inférieure à celle de la congélation de l'eau pure et de la solidification des sels anhydres ; les laitiers des hauts-fourneaux coulent à une température bien inférieure à celle à laquelle se solidifieraient les substances qui les composent, fondus isolément. Le granite fondu doit, par la même raison, rester fluide ou mou à une température inférieure à celle à laquelle se solidifieraient le quartz, et, peut-être même, le feldspath et le mica fondus isolément. Cette considération ingénieuse semble, au premier abord, répondre à toutes les exigences de la question ; mais renferme-t-elle à elle seule la solution du problème ? Je crois qu'il est permis d'en douter. Il n'existe pas une relation constante entre la forme que le granite a prise et la marche que son refroidissement a dû suivre, eu égard à la grandeur de la masse et à la place que chaque partie y occupe. Souvent des filons peu épais ont un grain gigantesque, tandis que de grandes masses granitiques sont partout à petits grains. On remarque fréquemment, il est vrai, que le granite a un grain

p60

un peu plus fin, près du contact des roches au milieu desquelles il a été injecté, que dans le centre des masses ; mais la différence n'est pas très grande et n'est pas même constante ; quelquefois on observe une disposition inverse. Si le granite n'était qu'une roche où tous les éléments aient été à l'état de fusion par la seule action de la chaleur, on ne verrait pas bien pourquoi toutes les masses de granite ne seraient pas enveloppées à l'extérieur par une écorce d'eurite ou de porphyre. Les éléments ayant été saisis instantanément par le froid, au contact de l'air ou au contact des roches dans lesquelles le granite a pénétré, il devrait y avoir une écorce de porphyre ou d'eurite ; mais c'est ce qu'on n'observe pas généralement : les parties extérieures, quoique souvent le granite y soit à grains plus fins, sont généralement à l'état granitique ; quelquefois même elles ont un grain plus gros que l'intérieur de la masse, comme on le voit d'une manière si remarquable dans le Stockscheider de Geyer, que j'ai mentionné il y a un instant. Dans l'hypothèse proposée par M Durocher, le granite aurait dû sa liquidité à ce que le feldspath, le quartz et le mica auraient été en

dissolution l' un dans l' autre, et auraient formé une sorte d' alliage fusible. Mais cela ne rend pas raison de ce phénomène très frappant, qu' il y a de grandes masses dans lesquelles le feldspath se trouve presque seul, et qui sont extrêmement cristallines ; d' autres dans lesquelles le quartz ou le mica se trouvent seuls, qui sont aussi cristallines à la manière du granite, et qui ne sont véritablement que des dégradations du granite. Les trois éléments habituels du granite, le feldspath, le quartz et le mica, sont en effet bien loin de s' y trouver dans des proportions constantes. Souvent un ou deux de ces éléments disparaissent presque en entier ou sont remplacés par d' autres éléments, sans que l' aspect et la manière d' être de la roche indiquent qu' elle ait été formée autrement que le granite normal. Le feldspath lamelleux, l' hyalomite, l' hyalo-tourmalite , la minette, et même certaines masses purement quartzeuses, sont des monstruosités ou des dégradations extrêmes du granite que rien ne conduit à supposer formées autrement que le granite ordinaire. Or, si, d' une part, ces monstruosités du granite se sont formées à peu près de la même manière que le granite normal, il est certain aussi que leur mode de formation a peu différencié de celui des filons quartzeux ; elles se lient en même temps aux filons quartzeux par les formes diverses des gîtes stannifères, qui passent insensiblement aux filons stannifères les plus réguliers, lesquels ne sont que le premier anneau de chaîne des filons métalliques

p61

dans lesquels il est évident que le quartz a été déposé par l' action des eaux, ainsi que nous l' avons constaté précédemment. J' ai attiré, il y a quelques années, l' attention de l' académie des sciences sur de nombreuses observations de M Rozet, qui me paraissent tendre à établir cette liaison entre les granites et les filons quartzeux ordinaires, par l' intermédiaire de certains gîtes minéraux qui, sans renfermer d' étain, rentrent d' une manière générale dans la catégorie des gîtes stannifères par les minéraux qu' ils renferment. Je remarquais, en effet, que M Rozet, dans ses mémoires sur les montagnes situées entre la Saône et la Loire , a décrit un grand nombre de masses de quartz de natures et de gisements divers, qui semblent établir une chaîne presque continue entre deux classes de masses minérales d' origine probablement très différentes et en quelque manière opposées, les pegmatites et les arkoses à ciment quartzeux. Je citais, d' après M Rozet, les pegmatites des environs d' Autun, comprenant une très belle variété du granite graphique, qui se trouvent en filons et en masses transversales dans le gneiss, et qui ont apporté des tourmalines et des émeraudes. Près de Marmagne et de Saint-Symphorien, on trouve des émeraudes en abondance dans les fragments de roches employées à ferrer les routes. Dans le gneiss et le granite de la même contrée, il existe des filons de quartz, avec mica, analogues à ceux qu' on rencontre habituellement dans les gîtes stannifères

de la Saxe et du Cornouailles. Au S-E de Chiseuil, près de Bourbon-Lancy, on observe une grande masse de quartz ferrugineux, quelquefois semi-vitreux, contenant de grandes paillettes de mica argentées, qu' on peut considérer comme un hyalomicté. Au pied S-E du Pilas, sur le plateau de Condrieux , dans le département du Rhône, on trouve, au milieu du granite et du gneiss, du quartz blanc, semi-nitreux, enfumé quelquefois, jaspoïde, qui s' élève sous la forme de cônes irréguliers. Le quartz est fréquemment soudé au granite qu' il traverse, et il enveloppe souvent des fragments de granite de différentes grosseurs. à la base des cônes, le quartz pousse dans le granite des ramifications divergentes, comme si celui-ci avait été étoilé pour le recevoir. Ces masses de quartz paraissent donc avoir fait éruption à la manière des porphyres et des granites, et, quoiqu' on n' y trouve ni feldspath, ni mica, on peut les considérer,

p62

de même que les masses de quartz qui font partie des amas stannifères, comme une monstruosité du granite réduit accidentellement à un seul de ses éléments. Ce quartz ne diffère cependant du quartz qu' on trouve en si grande abondance dans les filons plombifères et dans les arkoses, qu' en ce qu' on n' y trouve pas la baryte sulfatée, le spath-fluor et la galène, si habituellement répandus dans les derniers, et on ne peut guère supposer que son origine ait différé très essentiellement de celle des quartz des arkoses, dont le dépôt par voie humide est si évident. Ce quartz éruptif renferme, sur le plateau de Condrieux comme à Chiseuil, des traces d' oxyde de fer. On voit par là qu' il a fait éruption à une température trop basse pour former des silicates, et on a, d' ailleurs, la preuve du peu d' élévation de la température à laquelle il a fait éruption, dans les fragments de granite qu' il renferme, et qui ne présentent aucune trace de l' action d' une température élevée. Ce cas est un de ceux où la fusibilité qui résulte du mélange d' éléments de natures diverses, ne facilite en rien l' explication du phénomène , et on est ramené à choisir entre l' hypothèse de la *surfusion purement ignée et celle de la surfusion gélatineuse* .

*Cette dernière est beaucoup plus en harmonie avec les analogies qui existent entre les quartz éruptifs dont nous parlons, et les quartz d' origine évidemment aqueuse qu' on trouve dans les filons plombifères et dans les arkoses. On observe dans ces contrées une foule de veines de quartz qui se lient, d' une part, aux quartz des arkoses, et de l' autre aux cônes quartzeux éruptifs ; et si l' on admettait que l' eau a joué un rôle dans la formation des premiers, et a été complètement étrangère à la formation des seconds, la ligne de démarcation entre ces deux espèces de quartz, d' origines si différentes, serait très difficile à établir. Mais il est probable que l' eau a joué un rôle dans la formation de tous ces quartz, et qu' elle n' a pas même été étrangère à la formation des granites dont les cônes*

*quartzes éruptifs ne sont qu'une forme particulière et, en quelque sorte, une monstruosité. M Scheerer, de Christiania, a développé des idées toutes nouvelles à cet égard dans un mémoire publié récemment et dont M Frapolli a consigné la traduction dans le présent volume du bulletin , page 468. L' hypothèse qu' il propose pour expliquer l' état cristallin des granites est complètement différente de celles de M Fournet et de M Durocher. Il cite d' abord des faits nombreux, et particulièrement la présence dans le granite des minéraux pyrognomiques ,*

p63

pour montrer que cette roche était à une température médiocrement élevée au moment de sa consolidation. M Scheerer a donné le nom de *minéraux pyrognomiques à certaines substances qui possèdent la propriété de produire instantanément une lumière spontanée plus ou moins vive, dont l' apparition est accompagnée par un dégagement de chaleur, à une température dépassant à peine le rouge-brun . Ces minéraux, durant leur combustion apparente , subissent des modifications très sensibles dans leurs propriétés physiques, tandis que leur composition chimique reste la même, sauf peut-être une certaine diminution dans la quantité d' eau qu' ils contiennent quelquefois. Plusieurs gadolinites, orthites, allanites , sont pyrognomes au plus haut degré. Si ces minéraux, qui, de même que les tourmalines, se sont solidifiés avant le quartz, s' étaient formés dans un fluide incandescent, ils auraient dû rester soumis à une haute température longtemps encore après leur solidification . Mais alors comment auraient-ils acquis et conservé leurs propriétés pyrognomiques ? Il me semblerait difficile de répondre à l' argument de M Scheerer. Les minéraux pyrognomiques renfermés dans le granite me paraissent équivaloir à des *pièces d' essai démontrant qu' au moment où ils ont cristallisé et à plus forte raison au moment de la solidification du quartz qui s' est moulé sur eux, le granite était à une température inférieure au rouge-brun . Je trouve donc difficile de ne pas admettre avec M Scheerer que l' hypothèse d' un état primitif de fusion simplement ignée du granite, quoique les phénomènes du contact soient en faveur de cette hypothèse, n' est pas justifiée par la nature intime de la masse granitique elle-même . Il est démontré qu' à l' origine le granite formait une masse plastique , et il n' est pas du tout improbable que cette masse possédât alors une très haute température, mais il est certain en même temps que cette masse n' a pu être à l' état de fusion simplement ignée. M Scheerer a donné aussi beaucoup de motifs pour établir que le granite en fusion renfermait de l' eau. Plusieurs minéraux contenant de l' eau se trouvent dans le granite, et M Scheerer a pensé que le granite en fusion devait renfermer de l' eau, qu' il en renfermait au moment où il a fait éruption, qu' il a conservé de l' eau jusqu' à son refroidissement définitif, que cette eau a pu jouer un rôle dans**

les phénomènes de sa solidification ; il a essayé de rattacher cette supposition à des considérations très ingénieuses sur la composition de différents minéraux et sur ce qu' il a appelé l' *isomorphisme polymère* . Il a cherché en outre à déterminer la quantité d' eau qui pouvait être contenue dans le granite encore mou,

p64

et il a reconnu d' abord que cette quantité devait être inférieure à celle qui aurait été nécessaire pour tenir toutes les bases à l' état d' hydrate, car il en aurait fallu pour cela environ 5 pour 100 en poids, et comme l' eau est plus légère que ces mêmes bases, cela aurait fait beaucoup plus de 5 pour 100 en volume. Or, il est impossible d' admettre que le granite, au moment de son injection, ait renfermé une pareille quantité d' eau, dont la disparition aurait occasionné une contraction énorme, et d' autant plus grande, que les éléments du granite éprouvent eux-mêmes, en se solidifiant, une contraction considérable, qui, d' après les expériences de M Deville, est de plus de 10 pour 100. M Scheerer se borne donc à admettre qu' il pouvait exister 2 ou 3 pour 100 d' eau dans le granite au moment où il a fait éruption. Je ne vois en effet aucune difficulté à supposer que le granite renfermait de l' eau quand il a fait éruption, car cela se réduit à admettre que le granite ressemblait, sous ce rapport, aux roches volcaniques, aux laves des volcans actuels, qui, au moment où elles arrivent au jour, contiennent une grande quantité d' eau qui s' en dégage sous forme de vapeurs et dont elles mettent souvent plusieurs années à se débarrasser complètement. Le fait de la présence de l' eau dans les laves en fusion, devenu familier à tous ceux qui ont étudié les volcans, semble paradoxal aux personnes qui en entendent parler pour la première fois. Cela tient à ce que les idées de la masse du public et le *langage* même de la science, sont restés sur ce point à la hauteur de la *théorie des quatre éléments* , au gré de laquelle le feu et l' eau sont deux principes antagonistes et antipathiques. Il n' est pas absolument nécessaire que l' eau ait été retenue en très grande quantité dans le granite pour avoir produit sur sa solidification et sur sa cristallisation des effets très marqués. Les propriétés de l' acier et de la fonte, comparées à celle du fer forgé, montrent quelle influence exerce une très petite proportion de carbone ou de graphite. Les propriétés si diverses et la cristallisation si différente des diverses espèces de fonte montre quels puissants effets peut exercer une très petite proportion d' un corps étranger, tel que le silicium, le phosphore, le manganèse. Pourquoi une quantité d' eau, même très minime, n' aurait-elle pas produit des effets du même genre dans le granite pendant tout le temps où elle y aurait été retenue ? Or, il me paraît probable que si le granite renfermait de l' eau au moment de son éruption, cette eau s' en est dégagée beaucoup plus lentement encore que celle que les laves renferment en arrivant

au jour et qui s' en dégage au fur et à mesure que le refroidissement de leurs diverses parties atteint une certaine limite. Je suis conduit à cette conjecture en remarquant, d' abord, que le granite n' est jamais accompagné de scories ni de masses vitreuses ; car on sait que les scories sont dues au boursoufflement que la lave en fusion éprouve lorsque l' eau en vapeur la traverse rapidement, et les masses vitreuses, qui contiennent souvent des matières volatiles, paraissent devoir leur structure à un refroidissement opéré assez rapidement pour que le dégagement de ces matières fût impossible ; j' y suis également amené en comparant l' état d' intégrité des cristaux de feldspath qui entrent dans la composition du granite à l' état éminemment fendillé des cristaux feldspathiques qui existent dans les laves, et surtout dans les trachytes. Cet état fendillé du feldspath dans les roches volcaniques peut en effet être attribué , avec beaucoup de vraisemblance, au dégagement rapide de la vapeur d' eau, et l' état beaucoup moins fendillé du feldspath dans les granites pourrait tenir à ce que le dégagement de l' eau a été moins subit dans les granites que dans les roches volcaniques telles que les trachytes. Peut-être aussi l' eau existait-elle dans le granite en fusion en proportion moindre que dans les laves qui coulent de nos volcans : les effets si marqués que je suis porté à lui attribuer résulteraient de ce qu' elle y aurait été retenue jusqu' à une température beaucoup plus basse que celle à laquelle elle se dégage des laves. Une petite quantité d' eau, se dégageant par degrés à une température peu élevée, n' a pu produire de scories, et sa présence n' a jamais fait naître de matières vitreuses. La présence de la silice libre a pu contribuer à retenir l' eau, et cette eau, pendant tout le temps qu' elle a été retenue dans les granites, a pu contribuer, à son tour, à maintenir la silice dans un état de mollesse analogue à l' état gélatineux. Mais je présume que l' action réciproque de la silice et de l' eau, n' a pas été la seule ni même la plus énergique pour retenir cette dernière ; car il ne faut jamais oublier que les feldspaths lamelleux qui ne renferment pas de quartz libre présentent une cristallinité analogue à celle des granites. Je suis donc porté à croire que l' action de l' eau a été secondée dans les granites par quelque action chimique ou physique très particulière et très énergique, et ce qui me conduit plus encore à le penser, c' est la présence de cette multitude de corps simples que j' ai signalée comme l' attribut caractéristique des granites. L' eau n' est pas la seule matière volatile qui existe dans les laves au moment de leur éruption. Elle y est accompagnée de différents

sels, tels que le chlorure de sodium, le chlorure de fer, l' hydrochlorate d' ammoniaque, que la vapeur entraîne en se

dégageant, et qui se déposent près de la surface refroidie de la lave où ils deviennent souvent un objet d' exploitation. Les minéraux qui contiennent les corps simples, signalés comme appartenant aux granites, me paraissent y avoir joué un rôle analogue à celui que les sels dont je viens de parler jouent sous nos yeux dans les laves ; mais cela suppose l' action d' agents plus énergiques que ceux qui sont en action lors du refroidissement des coulées volcaniques. Les émanations des granites que j' ai désignées ci-dessus sous le nom d' *Aura Granitica* devaient être une vapeur singulièrement active et probablement très délétère. Si l' acide hydrochlorique et l' hydrogène sulfuré sont nécessaires pour amener aujourd' hui à la surface du globe des corps aussi sensibles à l' action des réactifs que le fer, la soude, l' ammoniaque, quelle ne devait pas être l' activité d' agents capables d' entraîner des corps aussi réfractaires que le tungstène, le molybdène, le tantale, le pelopium, le niobium, etc. ? Dans son savant et ingénieux mémoire sur les amas de minerais d' étain, M Daubrée fait observer qu' après le quartz, qui prédomine toujours dans les filons stannifères, les petits filons, les veines, et dans la roche encaissante, les satellites les plus constants de l' étain sont les *composés fluorés* , principalement les fluo-silicates, quelquefois les fluo-phosphates ou des fluorures. Ainsi, les micas qui accompagnent les minerais d' étain sont, en général, riches en fluor. La topaze, la picnite, qui renferment encore plus de fluor que ces micas, se rencontrent très fréquemment dans les stockverks d' étain, etc. M Daubrée pense donc que le fluor a joué un rôle important dans la formation des amas stannifères ; ... qu' il a été dans leur formation un agent tout aussi actif que l' ont été le soufre et les combinaisons sulfurées dans la plupart des autres gîtes métalliques. Le fluorure d' étain, ajoute M Daubrée, étant une combinaison stable à toutes les températures et très volatile, on peut croire que l' étain est arrivé, des profondeurs qui paraissent être le réservoir des métaux, à l' état de fluorure ; il en est probablement de même du tungstène et du molybdène, compagnons fidèles de l' étain. Le bore ayant une grande affinité pour le fluor et formant avec lui une combinaison indécomposable par la chaleur et très volatile, on est porté à supposer que le transport de ce corps s' est fait aussi à l' état de fluorure. Enfin, le silicium, qui abonde à

p67

l' état de silice dans les gîtes d' étain, se comporte avec le fluor d' une manière analogue au bore, et il est également naturel d' admettre qu' une partie de la silice est arrivée sous forme d' acide fluo-silicique. Je crois qu' on pourrait ajouter à l' appui, et comme complément de l' idée lumineuse de M Daubrée , que l' acide phosphorique est aussi très abondant dans tous les gîtes de minéraux qui contiennent les métaux de la famille de l' étain, du tantale, du tungstène ; que le chlore s' y trouve lui-même quelquefois ; que les pyrites, et par conséquent le soufre,

n' y sont pas étrangers. De là je serais porté à conclure que le composé volatil renfermé dans le granite avant sa consolidation, contenait non seulement de l' eau, du chlore, du soufre, comme la matière qui se dégage des laves lorsqu' elles se refroidissent, mais qu' il contenait en outre du fluor, du phosphore et du bore, ce qui lui donnait beaucoup plus d' activité et la faculté d' agir sur beaucoup de corps sur lesquels la matière volatile contenue dans les laves n' a qu' une action comparativement insignifiante. L' action énergique de ces substances réunies, sur la silice libre ou combinée, qui existe dans le granite, pouvait les faire adhérer à cette roche plus fortement, et les mettre dans le cas de s' en séparer plus lentement et à une plus basse température que ne le font les substances qui sont contenues dans les laves en fusion, et qui s' en dégagent lorsque les laves se refroidissent au-delà d' un certain degré. La présence de ces substances paraît avoir eu pour effet de suspendre la cristallisation du granite, et de la suspendre jusqu' à un refroidissement d' autant plus avancé qu' elles étaient plus concentrées. Les granites n' ont cristallisé qu' après qu' elles étaient dissipées ou fixées ; mais lorsqu' ils ont été mis en contact avec des corps froids, après que ces substances avaient disparu, ils n' ont plus résisté aussi énergiquement à leur action coagulante, et ils se sont immédiatement consolidés sans que leur grain cristallin ait pu se développer. Ils se sont alors conduits comme presque toutes les autres roches éruptives. Les granites talqueux de l' Oisans, que j' ai déjà cités plus haut, offrent un exemple remarquable de ce fait. Dans la supposition qui vient d' être énoncée, une des différences les plus essentielles entre les granites et les laves des volcans actuels aurait consisté dans la nature des substances qui y étaient renfermées lorsqu' ils étaient mous, et qui s' en sont dégagées au moment de leur solidification. Cette supposition me paraît d' autant plus plausible, qu' elle répond pleinement à l' analogie que j' ai signalée

p68

entre la manière dont sont distribués dans les granites les minéraux qui contiennent les corps simples signalés précédemment comme l' attribut caractéristique de ces roches, et la manière dont se distribuent, dans les fissures et près de la surface des laves solidifiées, les chlorures et les autres sels ou acides qui s' en dégagent. Les corps simples propres aux granites, et les minéraux qui les renferment, ne s' y trouvent pas tous en même temps. Ils se remplacent souvent les uns les autres, de même que les chlorures de sodium et de fer et l' hydrochlorate d' ammoniaque ne se dégagent pas tous de toutes les laves avec une égale abondance. De plus, les minéraux qui contiennent ces corps caractéristiques sont bien loin de se trouver disséminés uniformément dans toutes les masses granitiques et dans toutes les parties d' une même masse. Ils sont concentrés dans certaines parties de ces masses, et surtout près de leurs surfaces, et dans

les ramifications que ces masses ont poussées à travers les roches préexistantes. Ils s'observent aussi dans les roches stratifiées qui environnent le granite, et qui souvent sont des roches cristallines que le contact du granite a contribué à faire passer à l'état métamorphique ; mais ils ne se rencontrent pas non plus indifféremment dans toutes les parties de ces dernières roches ; ils se trouvent le plus ordinairement dans certaines zones qui avoisinent et enveloppent le granite, dans les parties adjacentes duquel une partie d'entre eux existe en même temps. Ces corps marquent ainsi la zone extérieure de l'espace dans lequel a agi la cause de la cristallisation du granite, mais on les trouve quelquefois plus nombreux et plus concentrés encore dans les gîtes stannifères irréguliers dérivant des ramifications du granite qui ont pénétré les masses adjacentes, et dans les filons stannifères, qui sont généralement plus anciens que tous les autres filons, et qui semblent avoir été les premières fumaroles des masses granitiques . *En prononçant le mot de fumaroles granitiques , je ne prétends pas soutenir que le granite ait eu des fumaroles absolument analogues à celles des laves des volcans actuels. Le dégagement des substances y était peut-être beaucoup plus lent, et cette lenteur aurait été propre à favoriser la concentration des substances entraînées, près de la surface, de même que les substances qui se dégagent des volcans se concentrent surtout et forment des solfatares, lorsque le dégagement de la vapeur est réduit à son minimum d'activité. Peut-être d'ailleurs des causes physiques, difficiles à apprécier, parce qu'elles n'ont laissé aucune trace, se sont-elles jointes aux*

p69

*actions pour lesquelles on trouve un terme de comparaison dans les volcans actuels. On pourrait croire, par exemple, que l'électricité a joué un grand rôle dans les phénomènes qui ont accompagné la solidification des granites. Il me paraît difficile de ne pas le soupçonner, lorsqu'on remarque que plusieurs des minéraux qui caractérisent les granites les plus cristallins, ces granites singuliers où nous avons conclu que les phénomènes essentiels à la formation des granites se sont développés avec le plus d'intensité, que plusieurs de ces minéraux, tels que la tourmaline et la topaze, sont électriques par la chaleur . Ces minéraux, dont la solidification a précédé celle du quartz, se sont certainement formés à une température élevée. Par conséquent , ils se sont formés électrisés . Dès lors, il est difficile de ne pas admettre que l'électricité a joué un rôle dans leur formation, et il paraît naturel de croire qu'elle en a joué un aussi dans la formation des masses cristallines au milieu desquelles ils ont pris naissance. à moins d'admettre que le quartz ne s'est consolidé qu'après s'être abaissé tout à fait à la température ordinaire, on doit admettre que, lorsque le quartz est venu se mouler sur une tourmaline, celle-ci était électrisée, et il est difficile de ne pas admettre que son*

électricité ait joué un rôle dans l'agrégation du quartz. Mais le rôle de l'électricité peut avoir été plus considérable : il serait difficile de rien préciser à cet égard. Il n'y a pas lieu de s'étonner qu'il reste encore, dans tous ces phénomènes, quelque chose de très problématique, et pour ainsi dire de mystérieux ; car les phénomènes actuels auxquels on peut les comparer, sont eux-mêmes singulièrement mystérieux. Ainsi, pourquoi l'eau et les sels existent-ils, pour ainsi dire, en dissolution dans les laves à l'état incandescent ? C'est un phénomène aussi singulier que certain. Ce phénomène a sans doute des analogies avec d'autres que nous produisons dans les laboratoires ; mais ceux-ci ne sont guère plus expliqués. Par exemple, quand on fond de l'argent dans un fourneau, l'argent absorbe l'oxygène de l'air, et il le conserve jusqu'au moment où il se refroidit ; en le laissant ensuite dégager à travers sa surface déjà solidifiée, tandis que les parties intérieures de sa masse sont encore à l'état de fusion, il produit de petites éruptions analogues à celles des volcans, et qui sont même beaucoup plus considérables relativement à sa masse, que nos plus grands volcans par rapport à celle du globe terrestre : c'est ce qu'on appelle le rochage de l'argent. La croûte de l'argent se trouve brisée, et l'argent en fusion dans l'intérieur est lancé à travers les fissures par l'oxygène qui se dégage, de

p70

manière à reproduire en petit les principales circonstances des éruptions volcaniques. Ce phénomène est connu depuis longtemps : il a été souvent décrit, mais on ne l'explique pas d'une manière très satisfaisante. Il y a d'autres phénomènes encore plus simples, qu'on n'explique pas davantage, mais dont il est naturel de le rapprocher. Tels sont ceux que présente l'état sphéroïdal des corps. Cet état se manifeste dans une goutte d'eau qu'on place dans un creuset de platine incandescent. Loin de s'évaporer immédiatement, la goutte forme dans le fond du creuset une masse sphéroïdale qui ne s'évapore que très lentement, qui même pour certains liquides s'abaisse à une température très basse, de manière qu'en s'y prenant convenablement, on peut faire plonger la boule d'un thermomètre dans le creuset incandescent, et l'y voir baisser considérablement. M. Boutigny a même réussi à congeler de l'eau, en la projetant sur une goutte d'acide sulfureux à l'état sphéroïdal dans un creuset de platine incandescent. Les liquides à l'état sphéroïdal, après être restés comme paralysés dans le creuset incandescent, prennent leur essor en se volatilissant subitement dès que la température du creuset s'abaisse au-dessous d'un certain degré. Ce paradoxe physique tient à des propriétés très peu connues. Il ne me paraît pas absurde de présumer que ces propriétés, quelles qu'elles puissent être, sont les mêmes que celles en vertu desquelles l'eau est retenue dans les laves, sans se vaporiser, tant qu'elles sont incandescentes, et se dégage à l'état de vapeur lorsqu'elles se

*refroidissent au-dessous d' un certain degré. Comme l' eau chargée de diverses substances ne produit pas des effets identiques, lorsqu' on la projette dans un creuset incandescent, on peut concevoir que l' eau contenue dans les granites, où elle était chargée de substances beaucoup plus énergiques que dans les laves, s' en soit dégagée d' une manière différente. Mais lorsqu' on passe aux granites, on a à joindre aux singularités qui peuvent dépendre de l' état sphéroïdal d' un mélange d' eau et de diverses substances, celles qui peuvent résulter de phénomènes électriques et celles qui peuvent tenir aux propriétés particulières de la silice, à sa surfusion purement thermométrique, ou à sa surfusion chimique et à son état gélatineux rendu compatible avec une température élevée par le phénomène paradoxal sans doute, mais indiqué par l' analogie, qui empêchait l' eau de se dégager. Quelque précaire que soit sans doute cette explication, on pourrait soutenir qu' elle est, jusqu' à un certain point, au niveau de l' état présent de la science, puisqu' on n' est arrêté pour la développer davantage*

p71

*que par l' imperfection des connaissances actuelles sur la nature intime des phénomènes physiques qu' on est conduit à invoquer. Il faudra probablement attendre, pour la soumettre à une critique plus sévère, que ces phénomènes aient été étudiés d' une manière plus approfondie, et même qu' ils aient été étudiés sur de grandes masses, car ils sont vraisemblablement du nombre de ceux où les choses ne se passent pas exactement de la même manière en grand et en petit, dans la durée d' une expérience de laboratoire et dans les longues périodes pendant lesquelles les phénomènes naturels se sont développés dans les grandes masses de la nature minérale. Mais si l' explication qui me paraît aujourd' hui la plus probable doit un jour être modifiée ou remplacée par une autre, il faudra toujours que cette dernière s' adapte aux faits généraux que j' ai signalés relativement à la distribution des corps simples dans l' écorce minérale du globe terrestre. Cette distribution, représentée par le tableau placé à la fin de la présente note, peut encore donner lieu à quelques remarques par lesquelles je terminerai ce résumé déjà beaucoup trop étendu. L' ordre dans lequel sont placées les colonnes 2 à 9 du tableau représente à peu près la gradation des phénomènes qui ont présidé à la formation des masses minérales, et la comparaison des proportions inégales et des états de combinaison divers dans lesquels se trouvent les corps simples qui y sont indiqués, fournit de précieuses lumières sur la marche que la nature a suivie pour amener la surface du globe à son état actuel. Les colonnes 2, 3 et 4 se rapportent à des phénomènes dans lesquels les affinités développées par la seule action de la chaleur ont joué un rôle prépondérant. Ce sont, en effet, ces affinités qui déterminent la formation des silicates, dont sont presque uniquement formées les laves des volcans actuels, les roches produites par des volcans anciens et les roches basiques.*

*On est parvenu à reproduire presque tous ces silicates, de toutes pièces, dans des fourneaux, par la seule action de la chaleur sur les substances qui les composent, de sorte que leur mode de formation ne présente aucune incertitude. La 5<sup>e</sup> colonne du tableau se rapporte à la formation des granites dans laquelle se sont manifestées des actions chimiques ou physiques d' un ordre différent. Dans le cours dont je présente ici la rapide analyse, après avoir étudié les roches volcaniques, j' y avais rattaché successivement d' autres roches dont l' origine est plus ou moins analogue, telles que les basaltes, les différentes espèces de*

p72

*trapps, de trachytes, de porphyres, et j' étais arrivé au granite dont l' origine m' avait paru présenter un problème plus difficile que les autres roches éruptives. Bien que l' action de la chaleur ait prédominé, l' eau paraîtrait y avoir joué un rôle considérable, de manière que la formation des granites tient très probablement, d' une part, par les silicates qui entrent dans leur composition, à celle des laves, et de l' autre, par la silice libre qui y abonde, à la formation des dépôts de silice qui constituent les filons quartzeux. J' avais aussi étudié, dans ce cours, les phénomènes éruptifs sous le point de vue des émanations qui les accompagnent et qui les suivent. J' avais formé d' abord la liste des substances qui émanent des volcans dans leurs éruptions. Puis j' avais considéré les différentes émanations qui traversent l' écorce du globe et qui se rattachent probablement aux phénomènes volcaniques ou aux autres phénomènes éruptifs, telles que les différentes eaux minérales et les substances qu' elles renferment, car les sources minérales sont et ont été probablement, dans tous les temps, le dernier signe d' activité que donnent, avant de s' éteindre complètement, les foyers éruptifs. J' avais examiné ensuite toutes les masses minérales qui paraissent devoir être attribuées à des phénomènes plus ou moins analogues aux dépôts produits par les eaux minérales, tels que les filons d' incrustation, et j' étais enfin arrivé à l' étude des matières qui ont été amenées par les masses granitiques au moment de leur éruption. Les colonnes 9, 8, 7 et 6 du tableau sont consacrées à cette série de produits. Les matières qui se trouvent aujourd' hui dans les productions volcaniques forment deux classes bien distinctes : les unes, volcaniques à la manière des laves, sont composées de silicates qui apparaissent à l' état de fusion, tandis que d' autres, volcaniques à la manière du soufre, sont généralement entraînées à l' état moléculaire. Tels sont le soufre, les chlorures, les hydrochlorates et les autres substances que les laves laissent dégager. à mesure qu' on suit ces phénomènes de proche en proche, en se rapprochant des éruptions granitiques, on voit les deux séries devenir de moins en moins distinctes. Les matières de ces deux classes résultant des éruptions anciennes, sont beaucoup moins séparées que dans les phénomènes actuels ; le quartz, qui occupe entre les deux classes de produits la place la*

plus ambiguë, y est plus abondant, et on trouve là une famille de corps simples dont un petit nombre seulement joue un rôle dans la nature actuelle après avoir joué un rôle très habituel dans les phénomènes au milieu desquels le granite a cristallisé. Leur présence nous a fait conjecturer qu' une action chimique

p73

particulière a présidé à la cristallisation du granite, et que cette action était en rapport avec les propriétés des corps simples dont nous venons de parler. Tout semble indiquer que le granite, lorsqu' il a cristallisé, renfermait non seulement de l' eau, mais encore quelques agents chimiques qui avaient de l' action sur les corps simples qui y sont répandus. Les 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> colonnes, relatives aux granites et aux filons stannifères, nous présentent les résultats de phénomènes qui, considérés en masse, ont été plus anciens, plus complexes et plus énergiques que ceux auxquels se rapportent les autres colonnes. En s' écartant de ces colonnes, d' une part vers la 2<sup>e</sup>, et de l' autre vers la 9<sup>e</sup>, on voit diminuer par degrés le nombre des corps simples contenus dans chacune, d' où il résulte que les foyers des volcans actuels sont les plus pauvres en corps simples qui aient agi sur la surface du globe. Quelle que soit la nature des roches qu' ils ont produites, les foyers éruptifs ont peut-être donné tous, vers la fin, à peu près les mêmes produits, mais il n' en a pas été de même dans le commencement de leur activité. Les foyers granitiques ont donné d' abord des produits plus composés et plus énergiques que les autres. On pourrait comparer les émanations de ces foyers divers à des rivières qui se terminent toutes à la mer d' une manière assez analogue ; mais qui près de leur source sont plus ou moins rapides, plus ou moins torrentielles, plus ou moins chargées de corps étrangers, suivant qu' elles prennent naissance dans des montagnes plus ou moins escarpées. Les émanations des granites ont donné une série de produits plus longue et plus variée, de même que les torrents des hautes montagnes qui, entraînant d' abord des blocs et des cailloux, finissent par ne plus charrier que du sable et de la vase, comme les rivières des plaines. On pourrait essayer de représenter la gradation suivie par la nature dans cet appauvrissement progressif, et la marche même de mon cours de l' année 1846-1847, par une figure symbolique, en dessinant une double pyramide dont les deux sommets représenteraient, l' un les produits pierreux et l' autre les émanations gazeuses des volcans actuels, et dont la base unique représenterait le bain de matières fondues sur la surface duquel les premiers granites ont cristallisé, espèce de *chaos primitif dans lequel tous les corps simples existaient simultanément*.

p74

*Simplification progressive des phénomènes éruptifs : (..) . En étudiant l' ensemble des faits que cette figure représente symboliquement, on est conduit à former une chaîne continue de roches de plus en plus siliceuses et portant l' empreinte d' actions chimiques de plus en plus complexes, depuis les laves des volcans actuels jusqu' aux granites, et une autre depuis les phénomènes volcaniques actuels considérés sous le rapport des émanations auxquelles ils donnent naissance, jusqu' aux traces d' émanations plus ou moins analogues dont les granites sont accompagnés. En suivant les divers anneaux de cette dernière chaîne, on voit apparaître successivement presque tous les corps simples qui ne sont pas compris dans les émanations volcaniques actuelles ; on voit apparaître, pour ainsi dire, toute la chimie et toute la minéralogie, et on est ramené à l' une des questions les plus importantes de la géologie, celle de l' origine du granite. On est également ramené à cette question difficile, soit qu' on descende jusqu' à la base de la pyramide qui représente les produits fondus des foyers d' éruption, soit qu' on descende jusqu' à la base de celle qui représente les émanations. à l' origine des phénomènes éruptifs, lors de la production des premiers granites, les deux classes de produits étaient beaucoup moins distinctes par leur composition qu' elles ne le sont devenues depuis, et les premiers foyers éruptifs paraissent avoir rejeté simultanément*

p75

*et par les deux modes d' éruption à peu près confondus les (..) au moins des corps simples connus, tous réunis à l' origine dans une espèce de mélange universel . Il est assez naturel, en effet , de supposer qu' à l' origine des choses les corps simples étaient mélangés beaucoup plus indistinctement qu' ils ne le sont aujourd' hui ; car l' ordre dans lequel nous les rencontrons actuellement est le résultat d' une longue série de phénomènes qu' ils ont tous traversés en obéissant aux lois physiques et chimiques, suivant la nature de leurs propriétés, qui, étant diverses, tendaient d' elles-mêmes à les séparer. C' est ainsi qu' au milieu de toutes ses autres opérations et des secousses violentes qu' elles ont occasionnées, la nature a procédé à un triage progressif des corps simples. Un grand nombre d' entre eux dont les réactions, dans l' état actuel des choses, seraient très faibles pour les uns, très énergiques et très délétères pour les autres, ont été fixés de bonne heure en presque totalité, et il n' est presque resté en circulation que des corps d' une énergie modérée et très sensibles à l' action qu' ils exercent les uns sur les autres dans les circonstances actuelles. Tel est, en particulier, le caractère des 9 corps simples qui figurent dans les émanations volcaniques, à l' exception seulement du potassium et du sodium, dont l' affinité pour l' oxygène est très énergique, mais qui n' apparaissent dans les volcans qu' à l' état d' oxydes. On peut en dire autant de la plupart des corps*

simples qui apparaissent aujourd' hui dans les eaux minérales. Un corps très énergétique, le fluor, s' y présente quelquefois et seulement en très petite quantité ; mais il s' y trouve toujours engagé dans des combinaisons à peu près neutres. Ce triage graduel est un grand phénomène qui a marché pendant toute la durée de la formation de l' écorce terrestre, mais dont les effets ont varié à mesure que l' écorce terrestre s' est épaissie . La chose est écrite bien clairement dans le tableau placé à la fin de cette note, dont les colonnes, comparées entre elles, font voir qu' un grand nombre de corps simples se sont concentrés dans les parties de l' enveloppe terrestre sur lesquelles ont dû porter les premières atteintes du refroidissement ; qu' ils ont dès lors été retirés, pour ainsi dire, de la circulation, et qu' ils ne se trouvent plus qu' accidentellement dans les masses immobilisées postérieurement. Quelques parties de ces masses, coagulées dès le commencement du refroidissement, mais non complètement solidifiées, ont fait éruption à travers les dépôts sédimentaires qui

p76

s' étaient formés les premiers par la désagrégation des matières refroidies à la surface. C' est dans ces jets de matières pâteuses que s' est surtout concentrée une grande partie des substances qui tendaient à sortir de la circulation. Les gîtes formés de cette manière, les *gîtes stannifères* , sont ceux dont la richesse est le plus variée. La richesse en corps simples est donc à son maximum dans les roches cristallines les plus anciennes, dont la coagulation s' est opérée à la surface des grandes masses de matières fondues qui ont formé la première enveloppe du globe et dans leurs émanations les plus immédiates. Le second ordre de richesse se trouve dans les filons qui ont été formés par les émanations de masses moins siliceuses dont le point de départ est situé plus profondément dans l' intérieur du globe terrestre. Le troisième degré se rencontre dans les eaux minérales, qui sont une continuation de ces divers phénomènes d' émanation. Le quatrième degré s' observe dans les émanations des volcans, qui sont un peu plus pauvres que les eaux minérales, et qui ont du reste une grande ressemblance avec elles. Ces phénomènes forment une série graduée : il y a eu de premiers phénomènes très anciens, pendant lesquels la nature terrestre était plus riche en corps simples que pendant les dernières actions qui se sont passées sur la surface du globe. Ces premiers phénomènes ont eu pour effet de concentrer dans quelques roches très anciennes une partie considérable des corps simples connus. La plus grande partie de ces corps simples, doués d' affinités chimiques énergiques, ayant trouvé à se fixer, n' ont plus reparu aux époques modernes de l' histoire du globe, que très rarement, tandis qu' aux époques anciennes leur action était générale. Les phénomènes dans lesquels ils intervenaient étaient certainement plus nombreux et plus puissants aux époques anciennes que dans les temps modernes et à l' époque actuelle, où on ne voit

généralement agir, avec la chaleur, que les agents chimiques les plus inoffensifs pour les êtres organisés, ceux dont l' action se développe complètement dans les circonstances physiques qui existent actuellement sur la surface du globe, ceux précisément que nous employons le plus habituellement dans nos laboratoires, en opérant par la voie humide, tels que le chlore, le soufre, etc ., qui font partie des émanations les plus ordinaires des volcans . En somme, le *silicium et le potassium* , et une série nombreuse de corps simples, se trouvent plus abondamment dans la première

p77

enveloppe consistante du globe et dans ses émanations directes que dans le reste de l' écorce terrestre. Quelques uns y sont même à peu près uniquement concentrés. Ces corps-là ayant été retirés plus ou moins complètement de la circulation dès la formation de la première enveloppe de notre globe, immobilisée par le commencement de son refroidissement, il doit avoir existé une cause très générale qui ait fait qu' en même temps le *silicium et le potassium* se soient portés principalement à la surface extérieure de la masse terrestre, et que cette foule de corps simples, dont la présence est l' attribut spécial des granites et des gîtes stannifères, s' y soient réunis à eux. Cette distribution des corps simples paraît en effet s' expliquer assez naturellement par les suppositions les plus plausibles qu' on puisse faire sur la manière dont les phénomènes chimiques se sont succédé à la surface du globe. Une des hypothèses les plus ingénieuses qu' on ait proposées sur l' origine de l' écorce terrestre et d' une partie de la chaleur que notre globe renferme dans son intérieur, consiste à supposer qu' il y a eu un moment où les différents corps simples qui entrent dans la composition des roches n' étaient pas encore combinés avec l' oxygène. L' oxydation, on peut le concevoir, ne s' est pas faite d' une manière uniforme sur tous ces corps, mais certains corps se sont oxydés de préférence aux autres. Parmi les corps qui se sont oxydés de préférence, on doit placer ceux qui font partie des roches granitiques et des gîtes stannifères. Ce sont, en effet, des corps qui ont dû absorber l' oxygène avec beaucoup d' avidité , et on pourrait admettre que le *silicium et le potassium* se soient oxydés plus rapidement que la plupart des autres corps simples, et que c' est précisément pour cela qu' ils se trouvent en plus grande proportion dans les parties supérieures de l' écorce terrestre que dans les parties inférieures. Cette supposition s' adapterait assez bien aussi aux propriétés des métaux, tels que le *lithium, l' yttrium, le glucinium, le zirconium, le thorium, le cerium, le lanthane, le didymium, l' urane, l' étain, le tantale, le niobium, le pelopium, le tungstène, le molybdène* , qui se sont concentrés principalement dans la première enveloppe du globe. Tous ces corps simples sont très avides d' oxygène et ne l' abandonnent que très difficilement. Au contraire, certains corps ont résisté

à l'oxydation : ce sont ceux que nous connaissons presque uniquement à l'état natif, et que nous voyons seulement apparaître lorsque les phénomènes éruptifs les amènent à la surface : tels sont le *palladium*, le *rhodium*, le *ruthenium*, l'*iridium*, le *platine*, l'*osmium*. *Tous ces corps-là sont restés dans la profondeur d'où ils n'ont été amenés à la surface que dans quelques cas exceptionnels*

p78

*par des phénomènes éruptifs comparativement modernes. Leur grande pesanteur spécifique a sans doute contribué à les retenir dans les entrailles de la terre ; mais peut-être aussi ont-ils été entraînés loin de la surface par suite de leur moins grande tendance à se combiner avec l'oxygène. Il serait peut-être assez difficile d'énumérer toutes les causes qui ont pu concourir à opérer ce partage. Il a fallu sans doute qu'il se passât là un phénomène tout spécial, qu'il serait très intéressant d'éclaircir, pour que les deux classes de corps pussent se séparer d'une manière si complète et si exacte, et se porter les uns dans les parties supérieures, les autres dans les parties inférieures de l'écorce terrestre ; mais il pourrait sembler hasardeux de supposer que la tendance prépondérante de certains corps à se combiner avec l'oxygène ait suffi à elle seule pour les extraire presque complètement d'une masse épaisse de plusieurs milliers de mètres. Ce serait peut-être en effet attribuer à cette coupellation naturelle des effets d'une énergie supérieure à celle qu'on peut raisonnablement lui reconnaître ; peut-être cependant pourrait-on remarquer que la tendance qui existait, en vertu de la seule différence d'oxydabilité, à ce qu'un pareil départ se produisît, était secondée par une autre cause, à la puissance de laquelle il est beaucoup plus difficile d'assigner une limite. Le globe terrestre, livré à une combustion qui s'opérait à sa surface dans toute son étendue, devait être un appareil électro-chimique d'une puissance immense, dont l'action était précisément de nature à amener à la surface les métaux les plus avides d'oxygène. Considérée ainsi, avec tout le cortège d'effets physiques qui a dû l'accompagner, l'oxydabilité prépondérante ou, plus généralement encore, la nature chimique des corps simples qui sont particulièrement concentrés dans la première enveloppe oxydée du globe, peut offrir une explication plausible de leur réunion. Cette explication me semble d'autant plus admissible, que des phénomènes électriques paraissent avoir encore beaucoup contribué à la nouvelle concentration qui a aggloméré une partie de ces métaux dans la plupart des gisements que j'ai signalés. Je reviendrai bientôt sur cette intervention probable de l'action électrique, mais je ferai d'abord observer que le jeu des courants gazeux qui ont dû se dégager à travers l'écorce terrestre, a pu concourir aussi très puissamment à accumuler les métaux propres aux granites dans les positions où on les observe. Nous avons remarqué que les minéraux qui*

*contiennent cette multitude de corps simples ne sont pas  
disséminés arbitrairement*

p79

*dans toute l'étendue des masses granitiques ; ils sont  
agglomérés dans certaines parties et surtout vers la surface des  
masses : c'est la position dans laquelle s'y présentent  
ordinairement les minerais d'étain. Ils sont ainsi concentrés  
non seulement dans la première enveloppe coagulée à la surface du  
globe terrestre, mais encore dans l'écorce de cette enveloppe et  
dans les ramifications et les émanations que cette espèce de  
liber ou de derme terrestre a introduites dans les masses à  
travers lesquelles elle a été poussée et avec lesquelles elle s'  
est trouvée en contact. Pour se rendre un compte exact de la  
position doublement concentrée qu'occupent les métaux de la  
famille de l'étain, du tantale, etc., non seulement dans les  
masses granitiques en général, mais dans certaines parties de ces  
masses, il faut ne pas se borner à considérer les points où on  
les trouve disséminés près des lignes de contact, visibles à l'  
extérieur, des masses granitiques anciennes et des roches  
adjacentes. Il faut remarquer que ces lignes ne sont que l'  
intersection, par la surface du globe, de surfaces de contact  
très étendues qui sont cachées dans son intérieur. Pour se les  
bien représenter, on peut imaginer que toutes les masses  
granitiques aient été dépouillées des assises qui les recouvrent.  
Si le granite était ainsi réduit à laisser voir complètement à nu  
sa surface de contact avec les roches qui lui sont superposées,  
cette surface se montrerait presque partout enrichie des métaux  
que le granite est sujet à contenir, mais ces métaux se  
trouveraient surtout concentrés à la surface des saillies qu'il  
présenterait. Le granite, dépouillé, comme je viens de l'  
imaginer, de toutes les masses qui le cachent en partie,  
présenterait un certain nombre de protubérances très saillantes  
qui s'élèveraient au-dessus des autres accidents de sa surface,  
comme des espèces de cheminées ou même de paratonnerres .  
Ces colonnes ou pointes saillantes seraient les parties les plus  
riches en métaux, et la cause de la concentration de ceux-ci peut  
justifier peut-être, jusqu'à un certain point, la double  
comparaison que je viens de faire. En effet, ces colonnes  
irrégulières, toujours plus ou moins fendillées, ainsi que les  
roches qui les avoisinent, ont formé des cheminées naturelles  
pour le dégagement des vapeurs qui ont pu sortir des granites.  
Une cause particulière a dû souvent rendre très actif le  
dégagement des vapeurs à travers toutes les protubérances de la  
première écorce granitique du globe terrestre. Les vapeurs  
renfermées dans les masses granitiques en fusion / non seulement  
en vertu de leur action coercitive ordinaire, mais comme l'acide  
carbonique dans une eau gazeuse comprimée / ont d'abord été  
soumises*

à une pression énorme exercée par la quantité immense de vapeur due à l' eau de la mer vaporisée. Après que la mer se fut liquéfiée, son poids comprima encore les vapeurs contenues dans les masses granitiques placées en dessous de son bassin ; mais les filons ou colonnes granitiques qui vinrent à pointer dans des continents ou des îles jusqu' à un niveau supérieur à celui des eaux, furent déchargés de cette énorme pression et fournirent aux vapeurs une issue facile par laquelle celles-ci durent s' échapper en abondance, ce qui favorisa singulièrement l' accumulation dans les pointes des métaux entraînés par ces vapeurs. On peut remarquer aussi que la surface de contact entre le granite et les roches superposées, a marqué pendant longtemps la hauteur, dans l' épaisseur de l' écorce terrestre, où la température a varié le plus rapidement, d' un point à l' autre, et celle par conséquent où les courants électriques dus aux inégalités de température ont dû se développer avec le plus d' intensité. Or, si l' électricité développée de cette manière a influé sur la répartition des métaux dans l' épaisseur de l' écorce terrestre, il est naturel qu' elle les ait transportés de préférence vers la surface de contact dont je viens de parler, et qu' elle les ait concentrés particulièrement dans les pointes que cette surface présentait. Le dégagement de la vapeur par ces mêmes pointes ou cheminées, a dû concourir à y produire des mouvements électriques ; car on sait que l' écoulement de la vapeur contenue dans une chaudière donne lieu à un développement considérable d' électricité, dont M Faraday a montré à se servir pour charger des batteries qui ont la puissance de la foudre. J' ai déjà cité différents faits qui me portent directement à croire que l' électricité a joué en effet un rôle important dans la formation d' un grand nombre de dépôts métallifères. J' ajouterai encore qu' il me paraît extrêmement remarquable de voir que le platine, le palladium, le cuivre, l' or et l' argent natifs, ont généralement des pesanteurs spécifiques beaucoup moindres que les mêmes métaux fondus dans nos fourneaux. Ce fait cadre d' une manière remarquable avec l' état ramuleux et réticulé dans lequel se présentent souvent plusieurs de ces métaux, notamment le cuivre, l' or, l' argent. Il me paraît, d' après cela, très probable que ces métaux n' étaient pas en fusion lorsqu' ils ont cristallisé, mais qu' ils se réduisaient simplement en grenailles analogues à celles que forme le fer en se réduisant, sans se fondre, dans les foyers catalans et dans les fours à pudler, et à ce qu' on appelle l' éponge de platine. On pourrait admettre aussi qu' ils ont été réduits et agrégés par des phénomènes analogues

à la galvanoplastie et à la formation du cuivre de cémentation. On sait, par les expériences de M Fox et par celle de M Reich , que la plupart des filons métalliques se trouvent

*habituellement dans un état électrique particulier. Cet état électrique habituel offre un des moyens les plus naturels d'expliquer les phénomènes d'épigénie, de transports moléculaires, etc., qui paraissent s'être produits dans les filons longtemps après leur formation. Au moment de leur formation, l'état électrique a dû y être plus prononcé encore. J'ai d'ailleurs insisté longuement sur le rôle prépondérant que les émanations, sous la forme de vapeurs ou d'eaux minérales, paraissent y avoir joué. Les idées qui viennent d'être énoncées ramènent donc simplement à penser que, sous le rapport de l'action des vapeurs et de celle de l'électricité, la formation des gîtes stannifères a eu de nombreux traits de ressemblance avec celle des autres gîtes métallifères. Ainsi, des vapeurs qui auraient entraîné les métaux des granites à l'état moléculaire ou comme une sorte d'écume, des courants électriques qui les auraient extraits des vastes masses au sein desquelles, bien que retirés de la circulation générale, ils étaient encore répandus d'une manière plus ou moins uniforme et en proportions presque imperceptibles, ont pu concourir à les accumuler dans des parties de l'écorce terrestre voisines de la surface, comme s'ils avaient eu pour mission de les mettre à la portée de l'homme qui devait les exploiter un jour. Cette accumulation dans des points élevés, quand même elle devrait s'expliquer par d'autres causes que celles que je viens d'indiquer, cadrerait toujours d'une manière très remarquable avec les faits que j'ai cités ci-dessus, P 48, pour faire sentir combien est illusoire la supposition qui cherche à expliquer la nature et la cristallinité*

p82

*du granite, en l'attribuant à des éruptions intérieures qui se seraient opérées, à des profondeurs immenses, dans l'épaisseur de l'écorce terrestre. Ces diverses considérations permettent de concevoir, si je ne me trompe, que la concentration du silicium, du potassium et d'une classe nombreuse de métaux dans les granites, et l'accumulation des derniers dans certaines parties de ces roches, ne présentent pas un problème insoluble ; mais quelle que soit l'explication définitive qu'on pourra donner de leur réunion, il est certain qu'elle existe et qu'elle remonte nécessairement à des phénomènes extrêmement anciens qui ont dû être différents des phénomènes qui se passent aujourd'hui sur la surface du globe ; que lors de la coagulation de la première enveloppe du globe terrestre, il doit avoir existé une cause quelconque pour qu'un grand nombre de corps fussent retirés de la circulation ; qu'il y a eu une énorme différence entre les phénomènes propres à l'époque où le granite s'est formé et ce qui s'est passé plus tard, lors de la formation des autres roches cristallines ; d'où il résulte que les phénomènes qui se sont accomplis sur la surface du globe ont suivi une certaine gradation. Quelle qu'ait été la nature des premiers phénomènes géologiques, une grande partie des corps simples ont été alors séquestrés de manière à ne plus reparaître ailleurs, et*

ce fait seul indique un changement graduel dans la marche des phénomènes géologiques. On voit combien cela est contraire à certains systèmes dans lesquels on suppose que tout s' est constamment passé de la même manière sur la surface de la terre, et que l' origine du globe se perdrait dans la nuit d' une période indéfinie, pendant laquelle les phénomènes géologiques auraient tourné perpétuellement dans le même cercle. Si tout s' était toujours passé de la même manière, sans aucun changement essentiel, on trouverait dans tous les gisements de minéraux la même série de corps simples, et non pas une série plus nombreuse dans les gîtes formés les premiers que dans ceux formés les derniers. La série des phénomènes dont le globe terrestre porte les traces a donc eu *un commencement* que la science nous permet d' entrevoir. Le globe, semblable en cela aux êtres organisés, a eu sa jeunesse et il a sensiblement vieilli. Si, dans les intervalles des grandes commotions dynamiques qui produisent les chaînes de montagnes et qui tuent alors des myriades d' êtres organisés sans détruire complètement toutes les espèces, il conserve encore les mêmes organes de mouvement et de changement qu' à son origine, ces organes

p83

ne conservent plus la même vivacité d' action, ne sont plus alimentés par des substances aussi énergiques. Il est évident que les plus intenses de ces phénomènes chimiques dont la nature minérale est le produit, ont dû avoir lieu, pour la plupart, antérieurement à l' existence des êtres organisés ; et cela seul démontre que le globe terrestre a passé par une série de phénomènes divers et successifs, qu' il y a eu un développement de la nature inorganique. C' est au milieu de ce développement de la nature inorganique qu' a eu lieu le développement de la nature organique, tel qu' il nous est indiqué par l' apparition successive des différentes classes des êtres organisés. Cette marche graduée, suivant une progression décroissante, des phénomènes chimiques, est une des merveilles de la nature, une des parties les plus remarquables de l' ordre général de l' univers. Le globe terrestre était destiné aux êtres organisés qui ont peuplé sa surface, et l' ordonnance générale des phénomènes inorganiques dont il a été successivement le théâtre, était étroitement liée au plan général de la nature organique. Les substances des éruptions et des émanations ont été, avec le temps, restreintes presque uniquement aux corps simples, qui devaient être constamment restitués à la surface du globe, pour qu' aucune de ses parties ne manquât des matières dont les êtres organisés devaient se composer ; et les corps simples, qui, par leur nature, auraient pu exercer une action délétère sur les êtres organisés, ou qui devaient rester étrangers à leur composition, ont été retirés, en grande partie, de la circulation dès les premiers âges du monde. L' affaiblissement graduel des agents chimiques qui ont agi à la surface du globe, comparé à l' ordre suivant lequel y ont apparu les différentes classes d' êtres organisés,

laisse apercevoir dans l'histoire de la nature un plan aussi harmonieux que celui qu'on admire dans la constitution de chaque être en particulier. Les organisations les plus complexes et les plus frêles ont paru seulement après que les principes qui auraient pu leur nuire ont été presque complètement fixés ou réduits à des proportions inoffensives. L'homme, dont le développement physique et intellectuel exige des ménagements plus délicats encore que celui de tous les êtres qu'il domine et dont il couronne la série, a paru le dernier, lorsque l'action habituelle des foyers intérieurs du globe sur sa surface était réduite à son minimum d'énergie, lorsque la terre était devenue propre à le recevoir par la fixation presque complète de tous les principes délétères, ou du moins par la réduction

p84

de leur émission aux quantités minimales, qui, dans les eaux minérales, servent au soulagement de ses infirmités et à la prolongation de son existence. Toutes les branches des connaissances humaines sont liées entre elles, et la géologie, sœur cadette des autres sciences, a avec ses aînées des relations plus multipliées encore qu'elles n'en ont entre elles : on en trouve une nouvelle preuve dans les conséquences variées auxquelles conduit le *tableau de la* distribution des corps simples dans la nature, *qui a formé la base de cette note et que je place ici en la terminant.*

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)