

voies aux dissolutions qu'en laissant échapper les minerais fondus. On trouve souvent les filons au point de contact du granite et des terrains de sédiment, comme M. de Beaumont l'a observé dans l'Oisans. Il semble, dit ce savant, que les matières métalliques soient venues souder les deux terrains. M. Necker, en considérant la question sous un point de vue plus général, a reconnu que le voisinage des roches non stratifiées était une condition essentielle de l'apparition des substances métallifères. Il en est surtout ainsi pour une sorte de porphyre, à laquelle on a donné l'épithète de *métallifère*, parce qu'il indique dans les deux continens le voisinage des métaux.

CHAPITRE TRENTIÈME.

ACTIONS DE CONTACT, DE SUBLIMATION ET DE DOLOMISATION.

Les différentes masses qui ont été injectées dans les divers terrains, les filons de toute nature remplis par des dépôts successifs, ont nécessairement donné naissance à un grand nombre de phénomènes chimiques. Il y a eu d'abord des actions de contact, c'est-à-dire, que les matières injectées ou déposées ont altéré les parois des fentes qu'elles ont remplies. Ensuite sont venus divers phénomènes produits par la sublimation des vapeurs qui se sont trouvées en contact avec des matériaux divers, et qui les ont plus ou moins altérés en les pénétrant ou en se solidifiant sur leur surface. Nous allons donc examiner quelques-unes de ces réactions.

Une des plus frappantes est l'altération que l'on a remarquée dans certains conglomérats, au point de contact d'une masse injectée qui a dû arriver incandescente et agir sur ses parois. M. Lyell en cite un exemple remarquable dans la Forfarshire, où les galets de quartz contenus dans le conglomérat ont été brisés, puis réunis, circonstances qui sont absolument celles que l'on s'attendrait à voir résulter de l'application subite d'une forte chaleur. La houille traversée par des basaltes se transforme en coke plus ou moins parfait.

C'est du reste à des actions de contact qu'il faut attribuer cette sorte d'altération que présentent les parois d'un grand nombre de filons; l'aspect saccharoïde de certains calcaires traversés par des roches ignées; la division prismatique de couches sédimenteuses qui touchent des roches d'épanchement, etc. Il serait impossible de décrire toutes les variétés de réaction, qui ont eu lieu de cette manière, au contact des roches ignées et des roches sédimenteuses, et par le séjour prolongé de dissolutions variées dans les fentes, qui plus tard ont été remplies de leurs dépôts.

Ce sont surtout les corps gazeux, et ceux qui sont susceptibles de le devenir par la chaleur, qui ont produit les effets les plus variés dans une foule de circonstances. De nos jours, nous observons à chaque instant ces singulières réactions dans les phénomènes des volcans. Ce sont principalement ceux qui s'éteignent, ou les solfatares, qui donnent naissance au plus grand nombre de minéraux sublimés. Il est naturel, en effet, que dans les points où la température est assez élevée, où l'air extérieur est pour ainsi dire en communication avec l'intérieur du globe, que des minéraux se déposent, que des réactions s'opèrent, et qu'un grand nombre d'espèces minérales en soient le résultat. Le *soufre* est une des matières les plus communes dans ces circonstances. A la *solfatare* de Pouzzole, il s'insinue dans la substance même des anciennes laves, qui en sont toutes pénétrées, et d'où l'on en retire une immense quantité. En Islande, non-seulement les anciens volcans, mais jusqu'aux plaines qui les environnent, sont riches en *soufre*.

Le soufre que Dolomieu a observé à l'Etna, ne se trouve que dans le cratère même, où il se présente sous forme pulvérulente, et quelquefois en petits cristaux

octaèdres : quand la chaleur du volcan le fait fondre, il coule en stalactites dont la forme est quelquefois singulière : on observe la même chose au Vésuve, où les stalactites ont des couleurs aussi variées que leur structure.

Spallanzani a vu aussi, dans une caverne du cratère de Volcano, des stalactites de *soufre*, qui sont immédiatement formées par les vapeurs sulfureuses qui s'attachent à la voûte de la caverne. Quelques-unes de ces stalactites avaient jusqu'à trois pieds de longueur sur deux pouces tout au plus de diamètre. Leur forme est cylindrique, et il paraît singulier qu'une matière sublimée, qui semblerait devoir former une incrustation uniforme sur les parois qu'elle recouvre, y ait pris une perrille configuration. Le *soufre* est quelquefois couleur de chair, mais ordinairement d'un beau jaune, et demi-transparent.

L'abondance du soufre dans les volcans presque éteints, et l'on peut dire sa rareté dans ceux qui sont en activité, tendraient à faire supposer que dans ces derniers il est brûlé par l'oxigène de l'air, à mesure qu'il se dégage, et qu'il donne naissance à des acides sulfureux et sulfurique assez abondans tous deux dans les éruptions.

L'acide sulfureux se perd dans l'atmosphère, mais souvent, comme le gaz hydrochlorique, il décolore les surfaces qu'il touche et les masses dans lesquelles il pénètre assez promptement. On trouve dans un assez grand nombre de volcans, des blocs de laves, des pouzzolanes, etc., passés à l'état terreux, et offrant une teinte jaunâtre qui se communique même aux cristaux qu'ils renferment. Des masses énormes de domite ne sont peut-être autre chose que des trachytes plus compactes, qui ont été ainsi décolorés par d'abondantes émissions

gazeuses et acides, qui ont changé leur nature en se chargeant de quelques-uns de leurs principes.

L'acide sulfurique qui se forme abondamment au volcan de Puracé, à Java, et qui sans doute a paru autrefois en quantité bien plus grande, ne peut, en raison de sa grande énergie, s'éloigner beaucoup de son point de naissance; il doit décomposer une foule de corps pour s'en approprier les bases; il doit surtout agir sur les matières calcaires et former des gypses. C'est peut-être à une action de cette nature qu'il faut rapporter l'origine des grandes masses de sulfate de chaux et certains dégagemens d'acide carbonique.

L'acide hydrochlorique doit agir de même en formant des muriates solubles que les eaux entraînent aussitôt, ou qui se développent sous forme d'efflorescences. On le trouve aussi emprisonné dans des roches poreuses, comme celles de Sarcouy, en Auvergne.

Dès que les acides sulfurique, hydrochlorique, carbonique, se dégagent en abondance des volcans, du moment où l'on sait que les roches volcaniques contiennent presque toutes de la soude, de la silice, de l'alumine, du fer et de la magnésie, on conçoit de suite les nombreuses combinaisons qui peuvent s'opérer, et quelle variété de sels doivent offrir les environs des volcans, comme toutes les contrées qui ont été autrefois soumises à ce genre d'action.

Les sulfures d'arsenic se rencontrent aussi dans les mêmes circonstances. Breislack indique leur présence à la solfatare.

Le sulfure de fer peut aussi se produire par sublimation, et a été trouvé, quoique rarement, au milieu des produits des volcans.

Le sulfate et le muriate d'ammoniaque cristallisent dans les fissures des laves, et des réactions analogues

s'opèrent pendant la combustion des houilles, car un grand nombre de cristaux d'ammoniaque muriatée tapissent les fissures du terrain qui recouvre les houilles embrasées de St-Etienne et de Commentry.

C'est encore par sublimation que se forment ces beaux groupes de fer oligiste que l'on rencontre dans les trachytes et dans les laves labradoriques. C'est par sublimation que l'acide borique sort des fissures des lagonis, et cependant ces matières ne sont pas volatiles. Il faut qu'elles soient entraînées par la vapeur d'eau ou par d'autres gaz, ou bien il faut qu'elles se forment de toutes pièces par des réactions électro-chimiques et par des actions de présence au contact de certains corps.

Quand on a bien comparé les produits sublimés des volcans et des solfatares, qui sont en très-grand nombre, avec ceux des filons métallifères, qui sont pour le moins aussi nombreux, on arrive à une conclusion qui appuie fortement la théorie de la formation des filons par voie aqueuse. C'est que l'on ne trouve presque jamais de minéraux solubles dans les filons métallifères, tandis qu'ils abondent autour des volcans où les eaux pluviales ne tardent pas de les entraîner. Il est probable que les filons en contiendraient aussi un grand nombre, s'ils n'avaient pas été eux-mêmes les conduits que des eaux thermales, chargées de différens principes, suivaient pour se répandre au dehors. Ces eaux ont nécessairement charrié, comme elles le font aujourd'hui, toutes les matières solubles, et même une partie de celles dont l'acide carbonique favorisait la dissolution, tandis que les matériaux insolubles, ou qui devenaient moins solubles à mesure que la température s'abaissait, et qu'ils s'approchaient de la surface, se sont déposés sur les parois, qu'ils ont fini par obstruer. On explique facilement de cette manière l'inégalité

de richesse des dépôts métallifères, à des hauteurs différentes, qui faisaient nécessairement varier la température et les circonstances plus ou moins favorables. Tel filon qui, à son affleurement offre un métal en abondance, peut changer de nature à une certaine profondeur, et offrir de grandes variétés, quoique toutes indépendantes de la nature de la roche. Qui sait si les eaux minérales que nous voyons de nos jours chargées de principes solubles, ne déposent pas encore à de grandes profondeurs des matières métalliques ou des minéraux cristallisés, analogues à ceux qui existent dans les filons ? Les forces agissantes actuelles sont les mêmes que celles d'autrefois, affaiblies sans doute, mais elles nous montrent en petit les effets qu'elles ont produits jadis sur de gigantesques proportions. Ces faits nous semblent confirmer pleinement la savante théorie de M. Fournet, qui attribue l'origine d'un grand nombre de filons à un passage des eaux thermales, et les ingénieuses recherches de M. Becquerel, qui considère les réactions électro-chimiques comme une cause lente mais continue de créations nouvelles et de perpétuels changemens.

L'action la plus curieuse des diverses sublimations des matières minérales, est le changement des calcaires en dolomie, ou, autrement dit, l'addition de magnésie dans le carbonate de chaux, par un procédé tout-à-fait analogue à celui de la cémentation. C'est au célèbre géologue de Buch que l'on doit cette ingénieuse théorie de la dolomisation, et les faits sur lesquels il l'a établie sont tellement positifs, les exemples sont tellement frappans et si multipliés, que l'on ne peut plus maintenant lui opposer le moindre doute. M. de Buch considère les dolomies (carbonate double de chaux et de magnésie) comme produites par des gaz qui se sont dégagés du

sein de la terre, au moment de la sortie des mélaphyres (porphyres noirs pyroxéniques) et de quelques autres roches, en profitant de toutes les fractures que le sol venait d'éprouver.

C'est dans les Alpes du Tyrol que M. de Buch a fait cette importante observation. Dans cette contrée, qu'il a si bien décrite, se trouvent d'énormes masses calcaires qui ont été soulevées par un large dôme de mélaphyre, roche qui, selon M. de Buch, a joué le plus grand rôle dans le soulèvement d'une grande partie de la chaîne des Alpes. Au-dessus du mélaphyre, existent des couches extrêmement puissantes de calcaire qui a été élevé à une grande hauteur et dont la masse a été très-profondément fracturée. Des cours d'eau ont agrandi quelques-unes de ces fissures primitives, et bien que d'un peu loin cette masse semble à peine divisée par quelques fentes, de près elle se compose d'énormes quartiers à pentes abruptes et escarpées, ayant souvent plus de mille pieds de hauteur, et séparés par de petits cours d'eau qui ravinent encore les gorges étroites qu'ils parcourent. Ce sont ces immenses fragmens de roches calcaires qui ont été pénétrés de magnésie; leur structure est changée, la stratification a disparu, les joints des couches n'existent plus ni les débris des corps marins qui s'y trouvaient contenus. Toute la masse a pris la texture grenue, a acquis une blancheur éblouissante, et ressemble à de vastes manteaux, à d'immenses enveloppes qui cachent les massifs de mélaphyres qui leur servent d'axe et de support. La recherche des causes qui ont opéré de si grands changemens a long-temps occupé le célèbre auteur de cette théorie dans ses courses nombreuses aux environs de la vallée de *Fassa*, lorsque tout-à-coup un point remarquable vint résoudre pour lui un des grands problèmes de la géologie, en ce qu'il

se rattache d'une manière très-directe à l'action qu'ont dû exercer sur les roches de sédiment, les diverses éruptions plutoniques.

« Je crois, dit-il, avoir découvert, aux environs de *Trento*, la marche de la nature dans cette opération, et cette marche m'a paru si évidente, qu'au moment de l'observation même, j'ai senti la satisfaction la plus vive que j'aie jamais éprouvée dans mes courses à travers les Alpes. Quand on se trouve à *Trento*, vis-à-vis de l'enfoncement dans lequel le *val Sugana* prend naissance, on est frappé de la forme extraordinaire de deux montagnes isolées qui s'y présentent, l'une derrière l'autre : la première, en cône arrondi et pointu, ressemble à un volcan ; elle porte à sa cime une petite chapelle d'où elle tire son nom de *Dosso di Santa Agatha* ; la seconde, plus élevée, et d'une forme non moins élancée, se nomme la montagne de la *Celva*. A leur pied est placé, d'un côté, le village de *Pante*, de l'autre, celui d'*Oltre Castello*. En s'approchant du cône de *Santa Agatha*, on voit qu'une grande partie du penchant vers la ville ne forme qu'un éboulement d'une blancheur éclatante. Des ouvriers y sont ordinairement occupés à tamiser la masse dont la montagne se compose et à la séparer en sables de différentes grosseurs, opération qui doit paraître assez singulière sur le penchant d'une montagne calcaire à couches presque verticales. Veut-on examiner la nature de cette pierre calcaire ? jamais on n'y réussit ; les pièces se brisent constamment, selon la direction des fissures qui les traversent en tout sens ; de gros quartiers, réduits en petits morceaux de la grosseur d'une noix, ne font pas apercevoir la moindre apparence d'une cassure fraîche. On est réellement surpris jusqu'à quel point cette montagne est crevassée et fendillée, on l'est plus

encore en examinant la surface de ces fissures ; partout on les voit couvertes de petits rhomboédres qui tantôt présentent leurs faces, tantôt leurs bords et leurs angles. Quand les fissures sont plus visibles et plus larges, les rhomboédres le deviennent aussi davantage ; et si deux fissures de cette nature se croisent, on voit les rhomboédres se combiner et former une petite masse de vraie dolomie, avec tous les caractères de cette substance, tels que les colosses de *Fassa* les présentent.

» On conçoit facilement qu'une montagne déchirée et fendillée, comme nous venons de l'indiquer, doit perdre toute apparence de couches ; on conçoit que des milliers de routes sont ouvertes à la magnésie pour pouvoir s'introduire et se combiner avec la pierre calcaire ; on conçoit même pourquoi ces rhomboédres ne se touchant que sur peu de points, leur formation doit s'arrêter dès que la masse calcaire leur manque ; et c'est ainsi que des couches compactes remplies de coquilles peuvent se changer en une masse uniforme, blanche, grenue et saccharoïde, sans vestige de corps organisés et sans séparation horizontale quelconque. Un reste de couleur rouge que l'on découvre sur plusieurs des morceaux, à *Santa Agatha*, fait présumer que la pierre qui a été transformée en dolomie est la même pierre calcaire rouge à ammonites, divisée en couches très-minces, qui forme la plus grande partie des penchans de la vallée de *Trento*. On s'en assure en tournant la montagne par *Pante*, vers *Oltre Castello* ; on y voit ces couches en dalles immenses sans aucune altération, et formant le revers de la montagne de *Santa Agatha*. Ces couches se dirigent du nord-ouest au sud-est et traversent toute la montagne, de manière que je suis persuadé qu'avec un peu de peine on pourrait en trouver qui, à leur extrémité nord-ouest, présenteraient tous

les caractères de la formation calcaire inférieure, tandis que l'extrémité opposée serait dans cet état de décomposition qui précède vraisemblablement la formation de la dolomie. Cette observation se répète à peu près avec les mêmes circonstances sur la grande route de *Cevizzano* à *Trento*. En sortant du premier de ces endroits, les masses pyroxéniques, qui sont la cause d'un changement si extraordinaire, ne sont pas fort éloignées. On les voit au pied de la colline de *Santa Agatha*; elles traversent la gorge de la *Fessina*, et se retrouvent sur la grande route dans le village de *Cognola* même. Ce sont des boules noires à couches concentriques et à noyau solide telles quelles forment généralement l'extérieur de masses compactes, soit de porphyre pyroxénique, soit de basalte. Des roches analogues se retrouvent encore plusieurs fois dans les environs de *Mella* et *Gardolo*. La cime de la montagne de *Gardolo* et celle de *Saint-Marcello*, qui en forme la continuation et se prolonge en chaîne très-élevée jusqu'à *Vigolo*, sont composées d'une dolomie des plus saccharoïdes et des plus brillantes, parsemée de vides et de trous qui sont tapissés de petits rhomboédres. Ces mêmes dolomies forment aussi l'immense montagne de la *Scanupia*, au-dessus de *Caliano*; puis elles descendent, et on les retrouve tout le long de la vallée de *Lagarina* jusqu'à la *Chiusa*. Plusieurs couches calcaires rouges, non transformées en dolomie, forment le haut; plus loin se rencontrent les oolithes et d'autres dépôts caractéristiques de la formation du Jura, formation dont se composent et le *Monte Baldo* et les montagnes des *Sette-Commune*. Les dolomies s'enfoncent vers la *Chiusa*, au-dessous de la surface de la vallée; les oolithes les suivent, et pour la première fois, on les retrouve dans le bas, dans la gorge même de la *Chiusa*. Les couches du côté gauche,

qui jusqu'alors s'étaient inclinées vers l'est, tournent peu à peu et affectent dans le défilé une inclinaison vers le sud; elles continuent ce mouvement vers *Rivoli*, où elles se trouvent avoir entièrement la direction et l'inclinaison de celles du *Monte Baldo*. Elles forment donc pour ainsi dire, de toute la vallée de la *Lagarina*, une espèce de chaudière allongée dont les dolomies composent la bande inférieure. C'est là que se terminent les montagnes, et vraisemblablement aussi les effets du porphyre pyroxénique. »

M. de Buch cite aussi la contrée de *Lugano* comme un point classique pour l'étude de ces phénomènes.

Là, comme dans le Tyrol, les dolomies touchent rarement à ces colonnes centrales qui, au moment de leur élévation, ont rejeté de côté les roches primitives; elles se lient donc aux mélaphyres, par suite du rôle essentiel que jouent ces derniers dans la constitution des massifs de roches non stratifiées, mais non, dans le plus grand nombre de cas, par un contact immédiat et visible. Au contraire, on peut dire que les dolomies se trouvent toujours dans le voisinage de la fracture qui a dû se former entre les roches primitives soulevées et les roches primitives de même nature restées à leur ancienne place.

« Les circonstances, dit M. Fournet, sont absolument les mêmes pour les filons métallifères. Les uns, en petit nombre, sont en contact immédiat avec les roches plutoniques; les autres se sont distribués dans leur voisinage (1).

Le calcaire compacte, en se transformant en dolomie, devient toujours grenu. On remarque ce chan-

(1) FOURNET, p. 225.

gement partout, et principalement dans les éjections calcaires du Vésuve, qui sont constamment aussi de la dolomie grenue; leur seul aspect le prouve, et l'analyse chimique de MM. Smithson, Tennant et Léopold Gmelin, a confirmé ce qu'en indiquaient déjà les caractères extérieurs. Des phénomènes entièrement analogues se présentent dans les environs de Rome, sur les bords du lac d'Albano: le Peperino y est rempli de blocs de dolomie d'une blancheur éclatante, les calcaires du Vésuve sont crevassés et fendillés comme les dolomies de Fassa, et ce n'est que dans les fissures que l'on trouve superposés, couche par couche, d'abord des cristaux qui renferment de la magnésie et de la silice, enfin, comme les plus récents, des cristaux de silice hydratée (zéolithes). Un minéralogiste anglais, qui a résidé long-temps à Naples, M. William Thompson, a émis depuis long-temps l'opinion que ces dolomies du Vésuve sont le calcaire même des Apennins, rendu grenu par le feu volcanique, et rempli de cristaux par voie de sublimation; en effet, les dolomies du Vésuve ne peuvent avoir appartenu à des montagnes primitives, car elles n'offrent jamais dans leur masse une trace de talc ou de mica, deux substances qui ne manquent jamais dans la masse des dolomies du Brenner intercalées au schiste micacé. Or, d'après les analyses de Klaproth, le calcaire compacte des Apennins ne présente pas un atôme de magnésie, et cette terre, surajoutée dans l'intérieur du volcan au calcaire compacte, ne peut aussi être due qu'à une pénétration (1).

Des roches très-différentes peuvent produire la dolo-

(1) Extrait d'une lettre de M. L. de Buch à M. Alois de Pfaunder. *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIII, p. 405.

misation, pourvu qu'elles contiennent de la magnésie; car il paraît que c'est aux dépens de celle qui est renfermée dans les pyroxènes des mélaphyres que la réaction s'opère. Les basaltes agissent de même, comme on le remarque sur plusieurs points de l'Auvergne.

M. Le Play a reconnu en Espagne, près de Badajoz, des calcaires très-récents, transformés en dolomies par des injections d'euphotide (1).

M. Dufresnoy a vu aussi dans les Pyrénées des terrains calcaires qui étaient altérés par la présence de l'ophite; les parties en contact avec cette roche sont à l'état de dolomie. Le gypse lui-même n'est peut-être que le résultat d'une altération du même genre. Enfin, dans cette même localité, l'ophite est souvent accompagnée de beaucoup de substances étrangères, telles que *fer oxidulé*, *fer oligiste*, *quartz cristallisé*, *épidote*, etc. (2).

Ces minéraux ont peut-être été produits par des procédés analogues à ceux de la dolomisation; car, en considérant ce phénomène en grand, c'est-à-dire en faisant abstraction de la nature des roches pénétrées, et de la composition des vapeurs pénétrantes, on arrive à reconnaître que les terrains de sédiment, à couches redressées, sont les seuls qui renferment un certain nombre de substances minérales analogues à celles que contiennent les roches cristallisées; ces minéraux se sont pour la plupart sublimés par les fractures. On peut aussi expliquer de la même manière cette sorte de pénétration

(1) LE PLAY, Observations sur l'Estramadure et le nord de l'Andalousie. *Annales des Mines*, 3^e série, t. VI, p. 375.

(2) DUFRESNOY, Relation des ophites, des gypses et des sources salées des Pyrénées. *Annales des Mines*, 3^e série, t. II, p. 21.

qui change la nature des roches sédimenteuses à leur point de contact avec les roches d'épanchement, et qui établit ces nombreux passages quelquefois si bien fondus entre ces deux sortes de roches.

Il reste encore un grand nombre de points à éclaircir dans la vaste question de la dolomisation, et de bien belles études pour un chimiste géologue; c'est une question neuve, à laquelle M. Buch a su donner tout l'intérêt qu'inspirent ses vues profondes et la haute sagacité de son jugement. Cette question, liée à la théorie des soulèvements, de M. de Beaumont; à celle de la chaleur centrale, par M. Cordier; aux recherches savantes sur l'électro-chimie, par M. Becquerel, ouvre au géologue une carrière nouvelle et neuve à parcourir.

CHAPITRE TRENTE-UNIÈME.

PHÉNOMÈNES DE REFROIDISSEMENT ET DE LIQUATION.

Nous venons de voir comment de nouveaux élémens pouvaient pénétrer par contact dans des roches préexistantes, et ces sortes d'actions sont certainement très-fréquentes dans la nature. La silice, la chaux, la magnésie et plusieurs autres substances entrent ainsi jusqu'à une grande profondeur, et modifient totalement l'aspect et la nature des roches. Nous allons terminer ce qui est relatif à ces différens phénomènes chimiques, en étudiant ce qui se passe pendant le refroidissement de ces matières.

Nous avons déjà supposé, en parlant du granite qui se décompose en boules très-volumineuses, que ce genre d'altération avait pour cause première un phénomène de refroidissement. Un expérience curieuse de M. Gregory Watt, sur la structure des basaltes, vient confirmer cette opinion. Après avoir fondu une masse de basaltes non cristallisés, pesant 700 livres, ce savant a observé avec soin les différentes phases de son refroidissement, et il a remarqué qu'une portion de la masse retirée, pendant que le basalte était en fusion, devint parfaitement vitreuse, tandis que la même matière donna naissance à un certain nombre de masses sphé-