

II.

ESSAI SUR LA DISTRIBUTION

GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

DES

MINÉRAUX, DES MINÉRAIS ET DES ROCHES,

SUR LE GLOBE TERRESTRE,

AVEC DES APERCUS SUR LEUR GÉOGÉNIE,

PAR A. BOUÉ.

Magnorum virorum iudicio credo, aliquid et meo vindico.

(SÈNEQUE.)

AVANT-PROPOS.

Chaque science a ses progrès marqués par quelque genre particulier d'observations. Longtemps la géologie ne fut que le reflet des phénomènes volcaniques; plus tard, on délaissa Pluton pour n'apercevoir que l'influence de Neptune. Aujourd'hui, tout partage fait entre ces deux divinités, les restes organiques sont devenus la boussole du géologue au détriment de la géognosie minéralogique. Cependant on recherche plus que jamais les explications géogéniques, qui dépendent autant et plus même des découvertes minéralogiques et chimiques, que de celles qui se font en botanique et en zoologie. C'est cette idée qui m'a engagé à risquer ce mémoire sur la géographie, le gîte et la géogénie des minéraux et des roches. Vu nos observations encore limitées, vu le petit nombre de mes devanciers et la difficulté du sujet, j'ai besoin de beaucoup d'indulgence et suis toujours prêt à changer ma modeste monnaie contre celle de meilleur aloi. Mais qu'on rende au moins justice à mes bonnes intentions, qu'on me pardonne quelques redites



nécessaires et qu'on m'accorde quelques moments d'attention, quand bien même on ne trouverait ici presque aucun nom nouveau d'animaux ou de plantes. Point d'anathème en un mot, et qu'on veuille se rappeler que la minéralogie est la base de tout ce qui existe.

La distribution des grandes masses minérales sur la surface terrestre n'est pas un effet du hasard ; au contraire, elle paraît soumise à de grandes lois dépendantes des phases de formations et d'encroûtement par lesquelles a passé notre terre. Tel est l'axiome qui déjà découle évidemment du résumé de nos connaissances sur la géognosie et la géographie géologique, comme je l'ai développé dès 1833 dans mes divisions de la terre en régions géologiques diverses (voyez *Bull. Soc. géol. de Fr.*, vol. III ; *Rapp. des progrès de la géol.*, p. 81 à 86, et *Guide du géologue voyageur*, vol. II, p. 354-369), et en 1833 dans mon *Essai sur la géologie du globe* (voyez *Bullet. N. S.*, vol. I, p. 296-371). C'est un des grands résultats des nombreux voyages d'histoire naturelle, qui ont été exécutés de nos jours dans toutes les parties du monde : ainsi les récits les moins complets, les impressions les plus fugaces des voyageurs acquièrent un prix infini en venant ajouter, quoique souvent à leur insu, une pierre à l'édifice véritable de la nature, dont le plan de construction est l'étude du géologue. — Mais si les masses minérales sont dans un certain ordre autant géographique que géologique, puisqu'elles ne sont que l'assemblage de minéraux divers, n'est-il pas probable, *a priori*, qu'on pourra découvrir certaines lois constantes pour la distribution de ces derniers sous ces deux rapports ? Or ce soupçon est en partie déjà une réalité prouvée, quoiqu'il lui manque encore nombre de faits qui l'étayeront un jour.

D'abord la minéralogie est loin d'être une science complète ; au point de vue géologique, ses bases mêmes ne sont posées qu'imparfaitement et ne pourront l'être que dans un état plus avancé de la chimie. Le plus souvent les espèces minérales ont été décrites jusqu'ici plutôt pour le minéralogiste que pour le géologue, car l'un n'a pour tâche que de distinguer, au moyen de figures mathématiques, de formules chimiques ou de toute autre manière mixte, les espèces et de réunir les variétés sous un type commun ; tandis que l'autre, ne cherchant qu'à étudier le règne minéral en grand, doit voir les choses du point de vue philosophique le plus élevé de la géogénie. Une espèce n'existant qu'en un petit nombre d'échantillons, dût-elle avoir la forme la plus décidée, les propriétés physiques les plus singulières, tant qu'elle n'est pas analysée et que son gîte n'est pas connu, elle reste une inutilité momentanée pour le géologue, tout en intéressant beaucoup le minéralogiste. Aussi ne voyons-nous guère de classements géologiques des minéraux, ou tout au moins aucun essai de ce genre n'est-il complet. Ensuite, la topographie minéralogique, ainsi que l'étude du gîte individuel, des minéraux sont des sujets à peine ébauchés. Si les données manquent, celles qu'on possède n'ont pas été utilisées convenablement, parce que ces sortes d'observations sont enfouies trop souvent dans de volumineux traités ou dans la masse des journaux

périodiques, qui tous les jours devient plus effrayante, grâce à l'affluence des travailleurs et surtout à cause du désir immodéré de chaque rédacteur de tenir ses abonnés au fait de presque toutes les découvertes scientifiques. Les doubles emplois sont l'écueil du jour.

Si l'on a cru être arrivé à quelques généralisations, soit sur le gîte des minéraux, soit sur leur distribution géographique, trop souvent les conclusions ont été aussi fausses que les systèmes géologiques. D'autres fois on n'en a pas pu dire davantage pour le moment, ou bien on n'a pas compilé assez habilement et considéré ces intéressants sujets sous toutes leurs faces. C'est ainsi qu'on a ajouté à chaque classe de roches ou à chaque terrain la liste de leurs minéraux particuliers; or ces catalogues, très imparfaits d'abord, n'ont pu se compléter et se corriger qu'à mesure que les sciences minéralogique et géologique se sont perfectionnées. D'autre part, on a voulu restreindre dès longtemps certains minéraux et surtout certains minerais ou métaux à certaines roches ou formations. L'ancienne distinction des terrains anciens métallifères était fondée sur ce principe. Mais les progrès de la science ont montré qu'on avait émis autant d'erreurs que de vérités. D'ailleurs, on a négligé presque toujours de rechercher les causes de la distribution des minéraux, soit par suite de l'état de la science, soit en l'oubliant de passer du connu à l'inconnu, au lieu de se laisser éblouir par les théories chimiques ou géologiques du moment.

Quant à la distribution géographique des minéraux, certaines espèces ont été reconnues propres au Nord, même dans les deux hémisphères, d'autres n'ont été vues que dans les pays tropicaux. Certains minéraux ont été indiqués dans quelques pays, tandis qu'ils sont très rares ou n'existent nulle part ailleurs. Enfin, quelques autres ont leur gîte et leurs localités restreints à un ou deux points du globe. Beaucoup de données de ce genre se trouvent, je le répète, relatées, mais un résumé substantiel de ces petits faits ne se lit nulle part; de telle manière que, la généralisation manquant, l'utilité en reste inaperçue, et les auteurs ont peur de surcharger leurs opuscules de données de topographie minéralogique pure. Si la description minutieuse des diverses modifications des formes cristallines est nécessaire au cristallographe pour pouvoir les réduire à un certain nombre de figures fondamentales, de même les nombreux catalogues tout aussi secs de topographie minéralogique sont nécessaires pour amener le géologue à des conclusions sur la distribution géographique des minéraux. Ces déductions ne peuvent même s'entrevoir encore qu'en partie, et les plus intéressantes restent réservées probablement à ceux qui viendront après nous.

Considérant ce dernier sujet sous un autre point de vue, ne peut-on pas se permettre le raisonnement géologique suivant : l'intérieur du globe est composé de métaux divers, on le croit généralement dans l'état actuel des sciences naturelles, savoir la géodésie, la physique, la chimie et la géologie. Ces métaux ont chacun des propriétés particulières, physiques et chimiques, c'est un fait ;

mais ces caractères divers ne leur permettent pas d'être mélangés ensemble sans observer un certain ordre. On devra supposer que ces matières métalliques et métalloïdes sont encore dans un état de fluidité ignée ou déjà à demi refroidies ou même solides. Mais si un tel arrangement régulier existait, si, au lieu d'un mélange informe, d'un alliage universel ou de quelques alliages, on ne devait admettre qu'un réseau métallique d'un genre défini ou même un sphéroïde composé de bandes ou enveloppes métalliques reticulées de diverse nature, qu'en résulterait-il ? Dans ce cas, loin d'être indifférent pour le calorique et le fluide magnétique, qui vivifient notre terre et tout ce qui lui appartient, cet ordre fournirait à ces agents des moyens d'excitation et de propagation, et serait peut-être une nécessité absolue pour la circulation gyroïre et éternelle du magnétisme terrestre, tandis que ce dernier serait de son côté la cause première de cet ordre.

*Ignis ubique latet : naturam amplectitur omnem,
Attrahit et pulsat, dividit atque parit.*

Si cette idée était admissible, des perturbations dans ces bandes ou circuits métalliques pourraient servir à expliquer les tremblements de terre, leur étendue et leur propagation, en même temps qu'on comprendrait pourquoi ils sont accompagnés de dérangements dans les oscillations de l'aiguille aimantée; tandis que des mouvements ou dislocations de ces mêmes bandes d'excitation seraient les causes des déclinaisons diurnes et séculaires de l'aiguille aimantée vers l'Ouest ainsi que de sa marche rétrograde, et de ses phénomènes d'inclinaison. De plus, comme corollaire, on entreverrait comment le magnétisme terrestre a pu être, par son mouvement ordinaire, la cause première des effets ou des catastrophes qui ont donné à nos continents leur forme pointue australe au milieu de vastes déchirures et affaissements du reste du globe, tandis que l'action destructive des eaux se résume en des cavités ou échancrures faisant face à l'Est ou à l'Ouest. Les régimes destructeur et constructeur des continents formeraient donc deux directions déterminées et se coupant à angle droit, savoir celui de l'eau selon les parallèles, et celui de l'agent intérieur ou magnétique suivant les longitudes.

Il deviendrait donc de la première importance de connaître la distribution des masses métalliques de l'intérieur de la terre; mais pour les plus profondes nous ne le pourrons jamais, quoiqu'il se puisse qu'un jour les aérolithes et surtout les phénomènes magnétiques amènent à quelque idée théorique plausible sur la structure du noyau terrestre. En effet, si le magnétisme n'est pas encore assez étudié, les aérolithes et les fers météoriques sont réputés pour le moment des fragments d'astéroïdes. Les uns et les autres offrent des caractères particuliers d'arrangement, savoir surtout du fer natif nickelifère avec une cristallisation en treillis et divers minéraux disséminés ou en veines dans ce fer. Pourrait-on sup-

poser que la structure de notre noyau approche de celle du fer météorique, tandis que les autres aérolithes à matières hétérogènes et en partie sulfurées, ainsi que le fer météorique à olivine, donneraient un grossier aperçu des couches supérieures de l'intérieur inconnu de notre planète?

Quant aux masses tout à fait extérieures et encroûtées par nos formations minérales connues, une voie paraît déjà ouverte pour en soupçonner la nature, savoir l'observation des minéraux dominant dans chaque espace un peu considérable de la surface terrestre, et leurs espèces caractéristiques; car ces substances métalliques ou terreuses sont provenues, pour la plupart, des entrailles du globe. Néanmoins une condition est nécessaire pour ne pas rendre notre raisonnement illusoire, c'est la réalité des corps simples de la chimie moderne; car s'il était prouvé que nos métaux et métalloïdes peuvent se réduire à un bien plus petit nombre, ou que tel ou tel métal n'est qu'une modification particulière de quel-qu'autre, nos inductions perdraient beaucoup de leur valeur.

Une *première considération* qui frappe, et qui semble montrer que dans la nature tout est régi par les mêmes causes locales, c'est que le règne minéral de la zone tropicale paraît faire le pendant de sa flore et de sa faune par la richesse et la beauté de ses minéraux, quand on les compare aux productions des autres zones. Les tropiques sont le berceau des gemmes les plus précieuses, des diamants, des rubis, des saphirs, des cymophanes, des plus belles émeraudes et topazes, etc. Certaines de ces espèces se trouvent à la vérité aussi dans d'autres zones, mais en général elles n'y ont pas toujours une eau si pure, des couleurs si vives, en sorte que le joaillier les estime bien moins.

Serait-il donc tout à fait paradoxal de penser que la chaleur et la lumière tropicale sont pour quelque chose dans cet accident minéralogique? Ces agents invisibles, pénétrant les masses en apparence les plus denses, n'ont-ils pas pu influencer sur la formation plus complète des gemmes par un ultra-plutonisme ou métamorphisme zonal ou local? Tout au moins, n'ont-ils pas pu apporter certaines modifications aux actions qui ont produit ces minéraux non loin de la surface terrestre? Or, c'est surtout ceux-là dont nous nous servons. — D'après cela on aurait exagéré en prétendant, comme on l'a fait souvent, que le règne minéral ne participe pas du tout aux particularités climatériques des flores et des faunes et a le même aspect sous toutes les zones.

Une *seconde considération* générale nous est offerte par la nature minéralogique de notre Nord dans les deux hémisphères. Ce n'est pas assez qu'il soit occupé principalement par des schistes cristallins et des roches granitoïdes ou porphyriques; ces masses renferment de plus des amas énormes de fer et de cuivre avec un peu d'argent, ainsi qu'un nombre considérable, et encore imparfaitement connu, d'espèces minérales qu'on ne voit guère ailleurs. On pourrait presque croire qu'il y a eu d'autant plus de tendance à la formation de certains cristaux dans les schistes cristallins du Nord, qu'ils ne contenaient pas la quan-

tité de grands amas granitiques des autres zones, et que le granite y était plus en filons et culots qu'en masses éruptives considérables.

Parmi ces minéraux, je me contenterai d'énumérer les suivants : 1° les minéraux à cérium : cérérite, cérium carbonaté et fluaté, ainsi que cryptolithe ; 2° ceux à cérium et yttria, pyrorthite, gadolinite, yttrrocérite, pyrochlore ; 3° ceux à cérium, yttria et lantane, orthite, euxénite, monazite, tchewkinité ; 4° ceux à cérium et zircone, fergusonite, aeschnite, polymignite ; 5° ceux à zircone, zircon et eudialite ; 6° ceux à zircone et tantale : woehlérite et oerstédite ; 7° ceux à glucine, leucophane, gadolinite et orthite ; 8° ceux à thore, thorite et monazite ; 9° ceux à tantale, tantalite, fergusonite et yttriotantalite ; 10° ceux à titane, pérovskite, yttriotantalite, mosandrite et ilménite ; 11° une foule d'autres minéraux en partie silicatés, tels que cuivre sélénié argenté, yttria phosphaté, cryolite, ostranite, saphirite, diaspore, pyrodmalite, latrobite, monradite, lépidomélan, hydrotalcite, pyrophyllite, pyrallolite, pyrargillite, rosite, polyargite, wichnite, wörthite, xénolite et les pseudomorphoses du dichroïte, connues sous les noms de chlorophyllite, gigantolite, préseolite, fahlunite, weissite, esmarquite et bonsdorffite (1).

Parmi ces espèces, s'il y en a qui se trouvent ailleurs, au moins ont-elles dans le Nord des caractères assez particuliers pour en faire très souvent des variétés remarquables. Dans ce cas se trouvent, par exemple, les minéraux nommés pétalite, triphane, labrador opalin, hypersthène, hisingérite, zircon, monazite, sordavalite, néphéline-élaéolite, apatite-moroxite ou bleu, pyroxène ferrifère ou hédénbergite, coccolite, arendalite, dichroïte-steinheilite, topaze-pyrophyssalite, grenat-colophonite, spinelle zincifère bleu, fer oxydé zincifère ou franklinite, crokidolite, manganèse silicaté, etc. De plus, plusieurs de ces minéraux se présentent, dans le Nord, en cristaux ou en nids gigantesques, tels qu'on ne les revoit guère ailleurs, témoin certaines topazes et idocrases, des bérils, des tantalites et malachites, du cuivre natif, etc. En outre, bon nombre des espèces citées sont composées de métaux et de terres qui ne se retrouvent jusqu'ici nulle part ailleurs, ou sont fort rares ailleurs qu'au Nord. Dans ce cas sont le cérium, le norium (dans le zircon), le cantanium, le didymium, l'erbium, le terbium, le niobium, le pélopium, l'ilménium, l'urane (fergusonite), le lantane, le tanthale, le cadmium, le lithium (pétalite, triphane, etc.), le thorium, l'yttria, la glucine et le zircone. Pour le cérium, on ne peut encore citer que très peu d'autres localités, comme le cérium oxydé et oxydulé de Saxe, l'yttriocérite du Massachusetts, le cérérite titanifère de Coromandel et le parisite de la Nouvelle-Grenade. On a retrouvé le niobium et le pélopium dans le tantalite de Bavière, le lanthane dans un composé de cérium et de fluaté de chaux de l'Amérique méridionale, et l'yttria

(1) Voyez le Mémoire de M. Haidinger, *Abh. der K. Böhmischen Ges. der Wiss.*, 5^e sér., vol. IV ; *Ann. de Pogg*, 1845, et *Naturwiss. Abh. de Fr. de Naturwissenschaft zu Wien*, 1847.

dans l'yttria silicaté de Saxe et dans le warwickite, une rareté de l'État de New-Yorck. Quant aux titane, tantale, cadmium et urane, on les connaît bien dans d'autres zones.

Une autre particularité du Nord est l'absence du soufre natif, hors un petit nombre de points volcaniques, et celle des grands dépôts de sulfate de chaux et de l'hydrochlorate de soude, ainsi que la rareté du fluaté de chaux, des borates et des phosphates en général. Il y a aussi très peu d'eaux minérales.

D'après notre manière de raisonner, l'encroûtement des schistes cristallins du Nord, principalement des silicates d'alumine, recouvrirait des masses de fer entremêlées de cuivre, de cobalt, de plomb, d'argent et des autres métaux nombreux ci-dessus mentionnés, avec des portions de métalloïdes, d'alcalis et de terres, mais sans ces magasins de soufre, de bore, de fluor et de phosphore d'autres zones.

D'un autre côté, la distribution des métaux et des minéraux peut amener à quelques généralités quand on ne fait attention qu'aux grandes masses et qu'on néglige les petites; car, dans notre hypothèse, les grands amas de telle ou telle matière peuvent seuls fournir des indications relatives à notre but. Au contraire, les métaux répandus partout, comme le fer, rendent probable qu'eux seuls composent le noyau terrestre.

D'après la fréquence plus ou moins grande des métaux, on peut dresser approximativement l'échelle suivante; savoir: Fer, plomb, cuivre, manganèse, arsenic, or, argent, titane, cobalt, bismuth, antimoine, tungstène, étain, molybdène, mercure, chrome, platine; et comme des raretés, l'urane, le tantale, le sélénium, le cérium, le vanadium, ainsi que les autres métaux énumérés ci-dessus et nouvellement découverts.

D'après la masse totale plus ou moins considérable de ces métaux, on obtient à peu près l'autre échelle suivante; savoir: Fer, plomb, cuivre, zinc, mercure, étain, argent, or, manganèse, cobalt, antimoine, platine, arsenic, chrome, molybdène, titane, tungstène, et les autres métaux rares.

De même, pour les minéraux et les roches, on trouve certaines de ces substances qui sont très fréquentes, d'autres le sont moins, un bon nombre sont rares et quelques uns même le sont extrêmement. Dans la première catégorie sont les espèces des genres siliceux, alumineux, calcaires, magnésiens et carbonatés. En seconde ligne viennent se placer d'abord les espèces salines à acides hydrochlorique ou sulfurique, ensuite les groupes des feldspaths, des micas, des amphiboles, des grenats, les phosphates et fluates de chaux, les barytes, les zéolithes, les minéraux à acide borique (tourmaline, axinite, etc.). Dans cette dernière ligne se trouvent encore les roches vitreuses, serpentineuses, hypersténiques, le pyroxène en roche, etc. Parmi les minéraux plus rares, on peut citer comme exemple les minéraux à glucine (béryl et zircon), et en général les gemmes, certains minéraux accompagnant les dépôts ferrifères, comme le liévrîte, cronstedtite, kakoxène,

diaspore, etc., certains hydrates d'alumine (halloysite), la wavellite, la turquoise; certaines espèces des filons métallifères, comme les arsénates et phosphates de cuivre, l'urane phosphaté, les raretés de la cryolite et du thorite, etc. Parmi les roches, on peut nommer sur la même ligne les roches de couzérinite, d'idocrase, de triphane, de topaze, etc.

Quant aux masses individuelles de ces minéraux et de ces roches, elles se rangent dans un ordre à peu près semblable à celui qui indique leur fréquence ou leur rareté.

Nous devrions maintenant considérer la distribution géographique des minéraux et des roches en détail; mais, pour être plus bref, il faut distribuer préliminairement les minéraux en groupes géologiques, afin de pouvoir substituer autant que possible aux indications individuelles des minéraux celles de leurs groupes.

Prises du point de vue de la généralisation chimico-géologique, les espèces minérales fondamentales se réduisent à un moindre nombre que celui qui est indiqué dans les traités de minéralogie; tandis qu'on est amené à reconnaître que les chimistes n'auront pas épuisé de longtemps toutes les compositions minérales, vu le grand nombre des alliages, des mélanges et même des combinaisons possibles. Lorsque la minéralogie est sortie de l'empirisme pour devenir une science mathématique, on n'a plus voulu entendre parler de passage entre des espèces minérales cristallisées, et tout ce que les anciens minéralogistes avaient dit à cet égard fut taxé d'erreur; or à présent, à force de faire et de comparer des analyses, on tend à revenir sur cette proposition inconsidérée. En effet, outre les passages entre minéraux amorphes par mélange mécanique, comme celui du silex corné au jaspé, à la calcédoine, il y en a d'autres entre des minéraux cristallisés régulièrement, soit par mélange véritable de deux espèces ou même par la composition de deux espèces, comme pour le barytocalcite, le barytocélestine, etc.; soit par des variations dans la proportion des éléments d'un minéral ou du remplacement de certains éléments par d'autres sans changement essentiel de forme. Des exemples nous en sont offerts par des carbonates de chaux et de fer, des feldspaths, des pyrites à noyau de fer oligiste, et en général par la division des pseudomorphoses produites par simple modification, et non par remplacement total. Ainsi la série des minéraux considérés géologiquement reste de toute nécessité imparfaite, et on peut déjà prévoir çà et là, par des considérations chimiques ou géogéniques, les nouvelles découvertes des chimistes futurs; tandis que l'étude complète du pseudomorphisme réduira à un plus petit nombre les espèces distinctes par leurs formes. D'un autre côté, les caractères cristallographiques, si utiles pour reconnaître promptement les espèces, importent assez peu dans leur considération géologique générale, depuis qu'on connaît les cas assez nombreux de dimorphisme et d'isomorphisme, et qu'on s'est procuré par expérience des cristallisations très différentes au moyen de changements dans la température, la pression, ou dans la surface des

réipients, aussi bien que par la présence ou l'absence de quantités minimales de certaines substances élémentaires. Au contraire, quand on entre dans le détail géogénique des espèces minéralogiques et de leurs variétés, les différences cristallographiques deviennent tout aussi intéressantes que celles tirées de la chimie. Quant à notre classement, suffisant pour la géologie et utile pour la géogénie, nos vues concordent en partie avec celles de M. Weiss, au moins pour les minéraux terreux; mais sa distribution des minerais et des minéraux salins a dû être rejetée. La suite de ce mémoire fera sentir l'à-propos de nos modifications à sa classification, parce que souvent nos groupes cadreront tout à fait avec nos déductions géogéniques.

Essai d'un classement géologique des minéraux.

1° Le règne minéral n'offre que six gaz principaux, savoir : l'hydrogène simple, carburé, phosphoré ou sulfuré, l'azote et l'air atmosphérique.

2° Les DISSOLVANTS naturels principaux sont l'eau et les sept acides suivants; savoir : les acides carbonique, sulfureux, sulfurique, hydrochlorique, borique, arsénieux et tungstique.

3° La CLASSE DES SELS comprend les sels proprement dits et les minéraux salins.

Le groupe des *Sels* proprement dits est composé, savoir : A par la famille des *Sulfates* de soude simples ou composés (glauberite), de potasse, d'ammoniaque, d'alumine et de magnésie avec le polyhalite; B par celle des *Hydrochlorates* de soude et d'ammoniaque; C par celle des *Nitrates* de soude, de potasse, de magnésie et de chaux; D par celle des *Carbonates* de soude et du bicarbonate de soude hydraté ou gaylussite; E par celle des *Borates*, se réduisant uniquement au *Borate de soude*.

Le groupe des *Minéraux salins* se divise en six familles; savoir : A. Celle des *Carbonates* de chaux, de magnésie, des composés de ces deux sels, de baryte et de strontiane. Cette série des carbonates de chaux est rendue considérable, non seulement par l'accession du carbonate de magnésie, mais encore par celle du fer et du manganèse (chaux carbonatée ferrifère et manganésienne simple ou composée, etc.). Il y a aussi un hydrocarbonate de magnésie.

B. La famille des *Sulfates* de chaux anhydre ou hydratée, de baryte et de strontiane, y compris leurs combinaisons ou mélanges; savoir : le barytocalcite, le sulfo-carbonate de baryte, le dreelite, le baryto-célestine, etc.

C. La famille des *Borates* de chaux simple ou siliceuse (datolite), de magnésie et de leur composé, l'hydroboracite.

D. La famille des *Fluates* de chaux, d'alumine (fluellite) et de cérium, y compris la cryolite et le baryte-fluor.

E. La famille des *Arséniates* de chaux (pharmacolite, picroparmacolite, hajdingérite) et de magnésie.

F. La famille des *Phosphates* de chaux, de magnésie (wagnérite), d'alumine (wavellite, variscite) et d'yttria, y compris la turquoise et le lazulite avec l'amblygonite et même le struvite en appendice.

4° LA CLASSE DES MÉTAUX comprenant seize groupes, savoir : A. La famille des *Métaux natifs*, l'or, l'argent, le platine, le palladium, l'iridium, le cuivre, le fer, l'étain, le plomb, le mercure, l'antimoine, le tellure, le bismuth et l'arsenic. Si l'on peut prévoir qu'on découvrira encore d'autres métaux à l'état natif, la série des alliages naturels des métaux entre eux ne serait pas épuisée et s'agrandirait au contraire d'année en année. En effet, si on excepte les métaux nouvellement découverts et mal connus, et ceux associés au platine, presque tous les autres peuvent former des alliages entre eux d'après les expériences du laboratoire. Or, malgré les nombreux cas semblables qu'ont offerts les minerais, et que je crois devoir rejeter en note (1), un vaste champ est encore ouvert aux possibilités d'alliages et de mélanges. Si ces derniers ne peuvent être rangés en appendice à chaque métal natif, les *alliages* véritables sont au moins dans ce cas, comme ceux de sélénium, l'iridosmine, le tellure aurifère, l'amalgame, l'argent antimonial, l'uranotantalite, le bismuth tellurifère, etc.

B. La famille des *Métaux oxydés*, distingués en oxydules, oxydes, peroxydes, oxydes hydratés, oxydes hydratés silicifères et oxydes silicatés.

On connaît 1° trois *oxydules*, savoir, ceux de fer, de cuivre et d'urane y compris le crichtonite ou fer oxydulé titanifère et le fer titané.

2° Environ treize *oxydes* ; savoir : ceux d'étain, de fer, de plomb, d'antimoine, de titane (rutile, anatase et greenovite), de manganèse, de zinc, de chrome, de cobalt, d'urane, de molybdène et de tantale, y compris le tantale oxydé yttrifère.

(1) Dans la nature, la chimie a déjà noté les alliages et associations suivantes dans une même espèce, savoir : l'or avec le fer, le tellure et le rhodium ; l'argent avec l'or, le cuivre, le plomb, l'antimoine, le manganèse, le bismuth et le sélénium ; le platine avec l'or, le palladium, l'iridium, l'osmium, le rhodium, le ruthénium, le fer, le cuivre, le chrome et le titane ; l'iridium avec l'osmium ; le cuivre avec l'argent, le nickel, le zinc, le sélénium, l'urane, l'arsenic et le platine ; le fer avec le titane, le manganèse, le nickel, l'arsenic, le chrome, l'or, le tungstène et le tantale ; le plomb avec l'argent, l'antimoine, le cuivre, le fer, le zinc, l'arsenic, le cobalt, le bismuth, le molybdène et le sélénium ; le mercure avec l'argent, le sélénium et le cuivre ; l'antimoine avec l'argent, le plomb, le cuivre, le nickel et le cobalt ; le tellure avec l'or, l'argent, le plomb, le fer, le bismuth et le nickel ; le bismuth avec l'argent, le cuivre, le plomb, le cobalt, le nickel et l'arsenic ; le cobalt avec l'arsenic, le plomb, l'antimoine, le bismuth et le sélénium ; l'arsenic avec le fer, le manganèse, le nickel, le plomb et le bismuth ; le manganèse avec l'arsenic, le cuivre, le fer et le titane ; le nickel avec l'arsenic, le fer, le cuivre, le bismuth, l'antimoine et le tellure ; le zinc avec le fer, le cuivre, le manganèse et le cadmium ; le molybdène avec le plomb ; le chrome avec le fer ; le tungstène avec le fer et le manganèse ; le titane avec le fer, le manganèse et le cérium ; le tantale avec le fer, le titane, l'urane et l'étain ; l'urane avec le cuivre et le tantale ; le sélénium avec le cuivre, le plomb, l'argent, le cobalt et le mercure ; le cadmium avec le zinc ; le vanadium avec l'or, le plomb, le cuivre et le fer.

En appendice viennent les *ochres* de fer, de chrome, de cobalt, d'urane, de molybdène, de plomb, d'antimoine, de bismuth et de tellure.

3° Trois *peroxydes*; savoir : ceux de fer (fer oligiste), de manganèse et d'antimoine, y compris la roméine.

4° Deux séries d'*oxydes hydratés* de fer et de manganèse.

5° Quatre *oxydes hydratés silicifères*; savoir : ceux de cuivre (diopside), de zinc, de manganèse et de fer (anthosidérite).

6° Quatre *oxydes silicatés*; savoir : ceux de cuivre, de fer, de manganèse, de zinc et de bismuth, avec un bisilicate de fer, la chamoisite.

C. La famille des *Métaux sulfurés*. A l'état de sulfure se trouvent le fer, l'argent, le cuivre, l'antimoine, le plomb, l'étain, le zinc, le mercure, le molybdène, le manganèse, le bismuth, le cobalt, l'arsenic et le cadmium (greenockite); mais plusieurs de ces métaux offrent diverses modifications de sulfures, comme le fer, l'argent, le plomb, l'arsenic, le cuivre, etc. En appendice se placent certains sulfures composés, tels que l'argent et le plomb antimoniés sulfurés, divers cuivres sulfurés en partie argentifères, le cuivre gris, etc.

D. La famille des *Métaux sulfatés*; savoir : ceux de fer (deux espèces), de plomb, de cuivre (deux espèces), de zinc, de cobalt et d'urane, avec quelques composés en appendice, tels que le sulfate de plomb cuivreux.

E. La famille des *Métaux hydrochloratés*; savoir : ceux de plomb, de fer, de cuivre, d'argent et de mercure.

F. La famille des *Métaux carbonatés*; savoir : ceux de fer, de cuivre, de plomb, d'argent, de zinc, de manganèse et de bismuth. Quelques métaux ont divers carbonates et même des *carbonates siliceux*, tels que le cuivre, le zinc et le fer (fer spathique, sphérosidérite, junkérite et ankérite). En appendice viennent les sulfato-carbonates de plomb, le carbonato-hydrochlorate de plomb et le muriato-carbonate de fer.

G. La famille des *Métaux arséniatés*, distingués en métaux simplement *arsénicaux*; savoir : le fer, le cobalt, le nickel et l'antimoine arsénical; et en *Métaux arséniatés*; savoir : le fer, le cuivre, le plomb, le nickel et le cobalt arséniaté. Tous ces métaux offrent des arséniates divers : ainsi on connaît les cuivres olivénite, euchroïte, condurite, kupferglimmer et le cobalt-roselite, etc., etc. Il y a un nickel bi-arséniaté, et même certains arséniates sont hydratés, tels que l'érynite et l'arsénite de cobalt. Un second appendice est formé par un sulfo-arséniure de fer et le fer oxydé résinite.

H. La famille des *Métaux phosphatés*; savoir : le plomb, le fer, le cuivre, le manganèse, l'urane et le zinc. Le fer et le cuivre présentent plusieurs phosphates; il y a des phosphates composés de fer et de manganèse, et même des composés de phosphate et de sulfate de fer (diadochite).

I. La famille des *Métaux molybdatés*, jusqu'ici le seul molybdate de plomb.

K. La famille des *Métaux chromatés* ; savoir : le fer et le plomb avec leurs diverses espèces.

L. La famille des *Métaux tungstatés* ; savoir : les tungstates de fer et de plomb, ainsi que le scheelin calcaire avec sa variété cuivreuse.

M. La famille des *Métaux vanadatés* ; savoir : ceux de plomb, de fer, de cuivre (volborthite) et de chaux.

N. La famille des *Métaux sélénurés* ; savoir : ceux d'argent, de plomb, de cuivre, de mercure, de zinc et de palladium (eugénésite).

O. La famille des *Métaux iodés* ; savoir : jusqu'ici l'argent, le mercure, avec la soude iodée en appendice.

P. La famille des *Métaux bromurés* ; savoir : jusqu'ici seulement l'argent bromuré.

Q. La famille des *Métaux oxalatés* , jusqu'ici le seul oxalate de fer.

5° La CLASSE DES MINÉRAUX PROPREMENT DITS, divisés en minéraux métallifères, gemmes, grenats, amphiboles, micas, feldspaths, macles, amphigènes, zéolithes, quartz, hydratés et argileux.

A. Le groupe des *Minéraux métallifères* se partage en sept familles ; savoir : 1° la famille *ferrifère*, comprenant les minéraux suivants ; savoir : cronstedtite, kakoxène, crokydolite, liévrilite, wehrlite, chamoisite, chloropale, achmite, isopyre, sordawalite, carpholite, breislakite, turnérite et wichtine.

2° La famille *plombifère* : le plombgomme, etc.

3° La famille *titanifère*, composée des minéraux suivants ; savoir : titane silicéo-calcaire ou sphène, perowskite, brookite, warwickite, mosandrite, et les titanates de zircon ; savoir : l'ærstedtite, æschnite et polymignite.

4° La famille *chromifère*, offrant les minéraux suivants ; savoir : miloschine, wolchonskoïte, kœmmererite et pyrosklerite.

5° La famille *tantalifère*, composée des minéraux nommés yttrotantalite, wœhlérilite, pyrochlore, fergusonite et euxénite.

6° La famille *cérifère*, comprenant les minéraux suivants ; savoir : cérérite, cérium silicaté, carbonaté et titanifère, ytrocérite, allanite, pyrorthite, gadolinite, tschewkinite et monazite.

7° La famille *thorifère*, pour le seul thorite, jusqu'ici.

B. Le groupe des *Gemmes*, comprenant : 1° celles à alumine ; savoir : spinelle, saphir, saphirine, corindon et dichroïte.

2° Celles à glucine ; savoir : émeraude, euklase, cymophane et phenakite.

3° Celles à zircon ; savoir : zircon et eudialite.

4° Celles à acide fluorique, les topazes.

5° Celles à acide borique ; savoir : tourmaline, axinite, forstérite et ostranite.

C. Le groupe des *Grenats* ne contient que les grenats, les idocrases, les épidotes et l'helvine.

D. Le groupe des *Amphiboles* est composé par les amphiboles, les pyroxènes, le

babingtonite, les diallages, le bronzite, l'anthophyllite, l'hypersthène et le wolastonite.

E. Le groupe des *Micas* est constitué par les divers micas (commun, à un axe, à deux axes, hexagonal, margarite, à lithium, lépidomélan et lépidolithe), le pennine, les talcs, les chlorites y compris certaines terres vertes, le clintonite, le pyrophyllite, le praséolite et le leuchtenbergite.

F. Le groupe des *Feldspaths* comprend le feldspath commun et vitreux, l'albite, l'anorthite, l'oligoclase, l'andésine, le labrador, le saussurite, le jade ascien, le néphrite, la pagodite, le paragonite, le pétalite, le triphane, le latrobite, et le gehlenite s'il forme une espèce différente de l'humboldtilite.

G. Le groupe des *Macles* est formé par le périclase, la paranthine (meionite, dipyre), la couzeranite, la macle, l'andalousite, le disthène, la staurotide, l'ottrelite, le wœrthite, le diaspore, l'hydrargillite, le sillimanite, le rozite, le polyargite, le chondrodite, le killinite, le pyrallolite et le picrosmine.

H. Le groupe des *Amphigènes* se compose des minéraux suivants, savoir : amphigène, néphéline (élæolite), péridot, villarsite, ligurite, sodalite, hauyne, lapis lazuli et humboldtilite.

I. Le groupe des *Zéolites* comprend actuellement près de vingt-cinq espèces, savoir : apophyllite, chabasié, mésotype, analcime, thomsonite, stilbite, épistilbite, heulandite, brewsterite, laumonite, harmotome, prehnite, édingtonite, brevicite, harringtonite, lehuntite, antrimolite, glottalite, cluthalite, chalilite, pektolite, okenite, morvenite, sphérostilbite et hypostilbite. Les treize premières espèces sont seules bien étudiées (Voy. Mém. de M. Gust. Leonhard, *N. Jahrb. f. min.*, 1841, p. 269-291).

K. Le groupe des *Quartz* avec ses nombreuses variétés est connu et admis par tout le monde.

L. Le groupe des *Minéraux hydratés* réunit les minéraux suivants, savoir : allophane, schroetterite, halloysite, kollyrite, scarbroïte, pyrargillite, kerolite, gibbsite, magnésie hydratée siliceuse, monradite, hydrotalcite, nontronite (quincite), chlorophéite, hisingérite, tachylite, pigotite, écume de mer, kaolin et savon de montagne, serpentine et rhodochrome.

M. Le groupe des *Minéraux argileux* n'est composé que des minéraux suivants, savoir : aluminite, magnésie silicatée ou boltonite, stéatite, lithomarge, cimolite, les bols, la terre jaune des Allemands, les terres vertes reconnues dans cinq terrains, etc.

Enfin la dernière classe, celle des **MINÉRAUX INFLAMMABLES**, comprend les soufres (soufre ordinaire et sélénié); le diamant; les divers charbons de terre, savoir : le graphite, l'anthracite, les houilles et les lignites; les bitumes, savoir : l'asphalte, le guyaquillite, le bérengelite et le caoutchouc fossile; les résines, savoir : ambre, mellite, retinasphalte, middletonite, copal fossile, scheererite,

branchite, hartite, piauzite et ixolite; les cires ou suifs (ozocérite et hatchetine), et les naphtes ou pétroles.

Distribution des minéraux, des minerais et des roches.

Les alcalis, la soude, la potasse et le lithium sont de toutes les zones et entrent dans la composition de beaucoup de minéraux, et surtout de ceux des roches cristallines, soit schisteuses ou métamorphiques, soit ignées. On les retrouve dans les produits de nos volcans actuels et dans des eaux minérales, thermales ou salines; mais la soude paraît plus abondante et plus fréquente que la potasse.

Les autres grandes sources de ces alcalis sont, d'un côté, le *Carbonate de soude*, y compris le gaylussite et le trona ou urao de la Colombie, et, de l'autre, le *Salpêtre*. Ces sels ne semblent abonder surtout que dans les plaines et steppes de la zone tempérée australe. Un certain degré de chaleur paraîtrait donc nécessaire pour le jeu des affinités chimiques, qui produisent ces sels sous nos yeux. On sait, par exemple, qu'on a découvert du gaylussite dans le crâne d'un ours des cavernes. La formation du nitre n'a lieu, en Suède, que dans des lieux obscurs.

Si la formation du *Nitrate de potasse* dans divers lieux et sous différentes circonstances a pu faire éclore plusieurs théories assez connues, celle du *Nitrate de soude* du district de Tarapaca, au Pérou, est plus problématique. Serait-il permis de supposer la présence préalable du carbonate de soude formé, comme à l'ordinaire, par la décomposition du sel marin par le carbonate de chaux, puis la formation de l'acide nitrique comme dans le cas du salpêtre? Ceci admis, ce dernier aurait formé avec la potasse du nitre, tout en décomposant de plus le carbonate de soude et remplaçant son acide carbonique par un effet de plus grande affinité. Rechercher l'origine de l'azote de l'acide nitrique dans des eaux thermales ou même dans une décomposition de l'ammoniaque de sels ammoniacaux des volcans, c'est recourir à une explication beaucoup moins rationnelle et simple. Il vaut mieux admettre, avec M. Fournet, que l'acide nitrique peut se former sans le concours de matières organiques, par la seule réaction des éléments de l'air et de la vapeur d'eau, surtout avec la présence de corps poreux, tels que des sables.

L'*Hydrochlorate de soude* se forme dans les cheminées volcaniques, et imprègne nombre de sources minérales des sols tertiaire, secondaire et primaire, et d'autres qui sourdent du milieu des schistes cristallins et des granites; mais ces faits s'observent surtout dans les zones tropicales et tempérées, régions où se trouvent aussi seulement les plus grands dépôts de sel gemme avec des minéraux gypseux, la glaubérite et le polyhalite. Il y a là évidemment une connexion de causes premières. Vers le pôle nord il y a des chaînes de divers âges, sans gypse ni sel, et avec très peu d'eaux salées; dans notre zone, plusieurs chaînes d'époques

différentes sont à bords ou à amas gypseux ou salifères avec un nombre très considérable de sources salées ou salines, qui sortent de terrains fort divers (1).

Vu la rareté des volcans vers les pôles, comparativement aux régions tropicales surtout, les sels ammoniacaux y sont moins abondants que dans les autres zones. Il en est de même des sulfates de soude et de potasse, ainsi que du carbonate de soude, qui produisent des effervescences dans les fentes des laves de nos volcans.

Les minéraux et les roches composées de *carbonate de chaux*, surtout celles de ces substances qui se trouvent dans des dépôts d'eaux douces, sont éminemment propres aux zones tempérées et tropicales. Dans les zones polaires, il n'y en a guère de formées que sous des eaux salées, car même le tuf calcaire y est une rareté. Or, la chaux entrant dans la composition d'une foule de minéraux répandus partout, ne doit-on pas lier le peu de fréquence du carbonate de chaux de formation récente dans le Nord avec le très petit nombre ou l'absence complète des sources acidulées, au moins autour du pôle arctique? A l'appui de cette présomption, on peut alléguer que lorsqu'on trouve une exception à cette règle, comme en Islande et dans certains points du Groënland, on est sûr d'y voir de la chaux carbonatée. De plus, pourquoi le fer du Nord est-il si rarement carbonaté comparativement aux fers des autres zones? — Les calcaires de la zone polaire sont des roches grenues très cristallines, souvent à minéraux composés surtout de silicates d'alumine, en un mot, des produits du genre de ceux du métamorphisme ou de l'action plutonique. Outre ces amas assez rares, on n'y voit que du spath calcaire dans des roches ignées et de grandes étendues de calcaires plus ou moins bitumineux, surtout primaires et coquilliers. Il y a donc pu avoir une période où les eaux acidules n'étaient pas rares vers les pôles. Quant au spath d'Islande, il peut être rarement d'origine ignée, puisqu'on en revoit des cristaux dans des pierres rejetées par le Vésuve. — On a remarqué que le carbonate de chaux cristallisé est assez peu fréquent dans l'Oural, et qu'il n'existe aux Canaries que dans la région maritime. Ces petit faits s'expliquent tout naturellement par la rareté des eaux acidules dans l'Oural, et leur existence surtout dans la zone basse et non élevée des Canaries.

L'*Arragonite* n'est pas un minéral polaire, mais principalement des autres zones. Cette forme du carbonate de chaux n'est qu'un effet de température différente; témoin cette stalactite composée, suivant M. Haidinger, de treize alternats de ces deux sortes de cristallisations du même sel. Or, ces alternatives n'indiquent probablement rien autre chose que les dépôts de treize hivers et de treize étés.

La chaux carbonatée magnésifère, les calcaires magnésiens et les dolomies ont

(1) L'extrême rareté du gypse en Angleterre, en Écosse et en Irlande, est un fait remarquable; on n'y trouve guère que de la sélénite et du gypse fibreux: ce dernier surtout dans le grès bigarré. L'abondance des trapps et des porphyres, et même des dépôts de sel gemme, à côté de si peu de gypse, constitue un type local qui mérite d'être signalé.

à peu près la même distribution que le carbonate de chaux, probablement par des causes assez analogues; tandis qu'on observe dans toutes les zones les espèces magnésiennes par excellence, telles que les magnésites, les serpentines, les pierres ollaires et les roches talqueuses: mais, comme toutes les roches ignées, elles ne se trouvent que dans certains cantons avec leurs minéraux particuliers. — La distribution géographique et géologique des dolomies, le pendant de celle des gypses, est telle, qu'on doit admettre à diverses époques géologiques, dans des localités plus ou moins nombreuses, et surtout en dehors de la zone arctique, des moments plus ou moins longs et favorables à ce genre de dépôt, qui a eu lieu immédiatement du premier jet, ou aussi par épigénie (1), avec augmentation de volume et cellulosités gazeuses (*Bullet.*, vol. VIII, p. 184) L'arrivée d'eaux acides calcarifères dans la mer y a dû produire des réactions chimiques, vu la présence des muriates et sulfates, et des sels magnésiens en résultant.

Les *Acides sulfureux* et *sulfurique*, ainsi que l'hydrogène sulfuré, sont avec l'acide hydrochlorique les acides ordinaires de nos volcans et de ceux qui ont existé de toute ancienneté géologique. Peu de régions volcaniques présentent de l'eau chargée d'acide sulfurique, comme dans la Colombie et à Java (2), et encore plus rarement de l'acide hydrochlorique dissous dans l'eau, comme à l'île Blanche (Nouvelle-Zélande) (voy. *J. de Physique*, 1818, vol. LXXXVI, p. 68); mais des eaux imprégnées d'hydrogène sulfuré abondent aussi bien dans les environs des volcans que dans différents terrains neptuniens, derniers dépôts où se voient aussi très rarement des sources d'acide sulfurique.

Aussi trouvons-nous dans les zones tempérées et tropicales de nombreux gîtes contemporains de soufre, de chaux sulfatée anhydre et hydratée, de sel gemme, qui paraissent manquer dans les régions polaires connues, si on en excepte les soufres, les sélénites et les incrustations salines de l'Islande, de certains volcans du nord-ouest de l'Amérique et de quelques îles peu nombreuses. Dans l'ancien monde, les dépôts dont nous nous occupons se trouvent amoncelés, surtout dans les terrains secondaires et tertiaires, ou même près des volcans brûlants; il en serait environ de même dans le nouveau monde sans les grands gîtes primaires de gypse et de sel de l'Amérique septentrionale. Le prix du sel dans l'Afrique centrale pourrait y indiquer une absence de gypse et de sel, ainsi que de terrains volcaniques, si toutefois des gîtes semblables n'avaient pas pu échapper par leur recouvrement à l'ignorance de la race noire.

Si le soufre se dépose dans les fentes des solfatares, les eaux hydrosulfureuses, surtout thermales, en forment des variétés pulvérulentes ou cristallisées; tandis que la décomposition des pyrites et de certains autres sulfures métalliques (ga-

(1) Voyez Leube, *N. Jahrb f. Min.*, 1843, p. 145-150; Haidinger, *Rapport sur la Soc. d'hist. natur. d'Allemagne*, 1843, p. 95; Klipstein, *Arch. f. Min. de Karsten*, 1843, v. 17, p. 269.

(2) Voyez le Mémoire de M. Rivero sur le Rio Vinagre, *Ann. de chim.*, 1825, v. 27, p. 113; et Dr Junghuhn, *Voyages à Java*, 1845, ou Leschenault, *Mém. du Muséum d'hist. natur.*

lène), donne lieu à la production du soufre terreux, de la sélénite, et au changement du calcaire en gypse compacte (1).

Ainsi s'expliquent par des voies très diverses les cristaux de soufre de certains amas gypseux, comme les soufres amorphes ou cristallisés tertiaires. On conçoit toute la différence originaire de certaines eaux hydrosulfureuses froides ou presque froides d'avec leur congénères, qui sont thermales, ou n'ont perdu leur chaleur primitive qu'à cause de leur long trajet souterrain; les unes ne sont qu'un accident d'actions chimiques peu profondes; les autres, les traces des anciens soupiraux volcaniques. De même les sources à acide sulfurique dans les terrains neptuniens ne sont que le résultat de la décomposition de pyrites, tandis que celles des régions volcaniques sont la condensation d'émanations sulfureuses chaudes, qui ont absorbé encore plus d'oxygène à leur contact avec l'air.

D'une autre part, la science a acquis les faits géogéniques suivants, savoir : la certitude de la métamorphose du calcaire en gypse au moyen de l'acide sulfurique (2), la formation aqueuse du gypse fibreux même au milieu de marnes gypsifères formées par épigénie (3), et celle de sélénites secondaires et tertiaires, ainsi que des gypses calcarifères tertiaires, au moyen d'eaux hydrosulfureuses et calcarifères (4). Les gypses se trouvent dans tous les terrains sur ou à côté des failles, ou sur des lignes parallèles à des éruptions ignées, des redressements ou soulèvements, ou au moins dans des positions propres à certains accidents hydrologiques (Paris). Les amas eux-mêmes sont souvent dans des cavités cratériformes et accompagnés de dérangements dans les couches, comme par exemple derrière le Weissenstein près de Soleure, à Füssen en Tyrol, etc. Les gypses sont donc bien l'indication des places ou du voisinage des événements d'où sont sorties, après les catastrophes volcaniques anciennes, des vapeurs sulfureuses et hydrochloriques, comme aujourd'hui les solfatares succèdent à l'activité des volcans. Il est presque inutile d'ajouter que l'acide sulfurique peut être résulté de l'acidification complète des vapeurs sulfureuses, ou plus souvent de la décomposition mutuelle de l'hydrogène sulfuré et de l'acide sulfureux, ce qui a produit une évolution de gaz. C'est ainsi qu'on a voulu se rendre compte de la formation des cargneules ou des roches poreuses dans le voisinage des gypses, cavités qui n'ont été remplies qu'en par-

(1) Voyez mon Mémoire sur l'Allemagne, *Journ. de phys.*, 1822, v. 92.

(2) Voyez mon *Essai sur l'Écosse*, 1820, p. 413, et, 1822, mon *Mém. sur l'Allemagne*. Si, en 1791, Deluc niait que le gypse fût une modification du calcaire par l'acide sulfurique, il y voyait cependant l'effet d'un fluide expansible hors de la terre (*Journ. de phys.*, vol. 38, p. 182).

(3) Voyez Fournet, *Géognosie de d'Aubuisson*, éd. de Burat, 1835, vol. II, p. 418; Cotta, sa *Géologie*, 1846, p. 150.

(4) Voyez Lamanon, *Obs. sur la phys. de Rozier*, 1782, vol. 19, p. 185, pl. 3; Coupé, *Journ. de phys.*, 1807, vol. 65, p. 196; Const. Prévost, *Bull. soc. philom.*, 1825.

tie par des déplacements moléculaires postérieurs; mais n'oublions pas que plusieurs calcaires cellulaires et terreux (asche) ne sont que de la dolomie plus ou moins décomposée (1). Ainsi, M. Élie de Beaumont a pu expliquer fort bien par la tuméfaction les apparences éruptives des gypses (*Bull.*, vol. VIII, p. 175, 1837), sans que pour cela ces roches fussent, pas plus que les dolomies, les analogues des laves éruptives comme on se l'imagine quelquefois par inexpérience (voyez Frapolli, *Ann. phys. Pogg.*, vol. LXIX, p. 481). Ainsi s'expliquent enfin la concomitance du sel, du gypse, du soufre, du sulfate de soude pur, de la glaubérite, du quartz rubigineux cristallisé, et même les rares boracites de certains gypses avec leur fer oligiste, leurs pyrites, leur arsenic sulfuré, leur bitume, etc., tous produits de nos volcans actuels. La glaubérite a été formée probablement par l'action décomposante de vapeurs sulfureuses sur l'eau saumâtre, comme on voit se produire encore le sulfate de soude aux îles Sandwich.

L'état *anhydre* de certains sulfates de chaux est plus difficile à éclaircir. Un cas tout à fait analogue est présenté par le sulfate de soude anhydre dans le sel d'Aranjuez, et de celui qui est en filons dans le terrain tertiairesalin de Tarapaca (Pérou méridional). Si le sulfate de chaux de nos roches volcaniques est hydraté, plusieurs gypses anciens ne le sont qu'à la surface, de manière qu'on pourrait supposer que l'anhydrite s'est convertie petit à petit en hydrate, ce qui est encore étayé par l'apparence contemporaine des deux espèces de sulfate de chaux dans plusieurs terrains. Ainsi l'anhydrite n'est pas seulement en amas dans des dépôts anciens, mais encore, comme la baryte sulfatée et la sélénite, en lits dans des marnes tertiaires salifères et avec des caractères d'origine aqueuse. Or, si certains gîtes salifères ne paraissent que le produit d'une supersaturation de certaines mers intérieures, résultat d'évaporation ou d'affluents salés comme dans les stepes aralo-caspiennes, les autres gîtes salifères ne semblent que les restes d'énormes éjaculations ou salses, dont les produits sont restés intacts ou ont été redissous en partie ou bien retravaillés par des vapeurs et des filtrations aqueuses, à la manière de certaines marnes gypsifères du sol secondaire. De là vient aussi la position d'une partie des amas de sel dans le fond d'entonnoirs cratériformes et le désordre étrange des couches dissemblables environnantes, comme à Hall en Tyrol, Hallein et Hallstadt, etc. L'anhydrite ne se trouvant jamais dans la première sorte de sel gemme, mais toujours avec l'autre dans un gisement un peu obscur jusqu'ici géogéniquement, il devient donc évident que pendant ce dépôt il a dû se présenter certaines circonstances particulières de température, de pression, d'affinité particulière pour l'eau, etc., qui ont rendu possible la formation de l'anhydrite et du sulfate de soude anhydre. D'ailleurs, on connaît le premier minéral même dans des amas de sulfure de cuivre et de plomb dans les schistes cristallins de la Suède. La décomposition de l'eau ayant lieu même à de

(1) Voyez Haidinger, *Bericht d. Vers. deutsch. Naturf.*, 1843, p. 96.

basses températures d'après Grove, serait-il possible que tout l'oxygène de l'eau ait été absorbé pour la formation de l'acide sulfurique et que l'hydrogène se fût dégagé seul? La production du sel gemme décrépitant ou à hydrogène carboné serait-elle liée à cette évolution gazeuse? Dans tous les cas, la découverte de Grove (*Brit. assoc.* pour 1846) est un nouveau facteur à faire entrer dans l'explication de l'origine des gypses, par exemple, pour l'acidification complète des vapeurs sulfureuses.

La *Baryte sulfatée* se trouve partout et dans plusieurs terrains; c'est une rareté dans les basaltes, comme aux Canaries: mais elle serait surtout dans des filons, si on ne connaissait pas celle des arkoses et des argiles sub-apennines, ainsi que les nodules ou géodes de certaines marnes du lias et du calcaire secondaire. Un lit de 10 pouces de puissance en a été vu, dit-on, sur le Lenne, dans la grauwacke (*Arch. f. Min.*, Karsten, 1845, vol. XIX, p. 741), et on en cite dans ce genre de gîte, près de Servoz, en Savoie.

La *Strontiane sulfatée* n'est pas si fréquente que la baryte et elle est bien moins dans des filons qu'en rognons, druses ou petits filons géodiques dans des couches tertiaires ou secondaires d'origine aqueuse, tandis que les carbonates de baryte et de strontiane et leurs sulfato-carbonates ne sont que des raretés de quelques fentes anciennes du globe ou sont liés à des dépôts de soufre assez rares. Que doit-on conclure de ces faits? Ces deux terres ayant plus d'affinité pour l'acide carbonique, n'est-il resté qu'une petite quantité de ces bases pour leur combinaison avec ce dernier acide? Ces rares carbonates ne sont-ils plutôt que des sulfates changés après coup en carbonates, par d'autres corps élémentaires, qui leur ont soustrait par plus d'affinité l'acide sulfurique et leur ont cédé de l'acide carbonique ou ont laissé simplement ces terres exposées à l'action de cet acide ou de l'eau acidulée? Si Bischof a raison de faire arriver la baryte et la strontiane sous la forme de carbonate dans des eaux chaudes chargées en même temps de sulfates alcalins (1), il est difficile de croire que la petite quantité existante de carbonates se soit déposée en même temps que les abondants sulfates qui ont été formés par une réaction entre les sulfates alcalins et les carbonates par suite d'un changement de température. D'un autre côté, la composition des eaux minérales, le gîte des sulfates de baryte et de strontiane, l'association de la baryte et du fluor, l'existence de cristaux de barytine dans des cavités de l'alunite, roche trachytique retravaillée par des vapeurs aqueuses acides, et la théorie rectifiée du remplissage des filons métallifères, tout concourt à rendre probable la formation de ces minéraux par les eaux minérales, environ comme certaines sélénites.

S'il est remarquable de ne pas trouver le sulfate de chaux comme gangue ordinaire des filons, tandis que c'est le cas fréquent pour les sulfates de baryte,

(1) Voyez *Ann. phys. de Poggend.*, 1843, vol. 60, p. 285.

cette différence ne doit-elle pas provenir de l'affinité plus grande de l'acide sulfurique pour la baryte que pour la chaux, et au contraire de l'affinité moindre de l'acide carbonique pour la baryte que pour la chaux, de telle sorte que cette dernière n'ait trouvé à s'unir qu'à l'acide carbonique des eaux ou aux vapeurs hydrosulfureuses acidules. Aussi, le spath calcaire est le minéral associé le plus habituellement avec la baryte. Si des filons offrent des sélénites, ce ne sont surtout qu'un produit secondaire résultant de la décomposition de sulfures métallifères en contact avec du carbonate de chaux.

L'*acide borique* n'existe jusqu'ici que dans le volcan de Vulcano et dans les rares lagoni de Toscane (Monte Cerboli); mais au centre du Thibet il doit s'en trouver une source considérable, puisque le borate de soude du commerce nous en vient, et la plaine sèche d'Iquique au Pérou est couverte d'un borate hydraté de chaux accompagné d'alun magnésien. Sauf ces localités, on ne peut citer que les deux buttes gypseuses du nord de l'Allemagne (Lunembourg et Segeberg) et le gypse du keuper de la Meurthe, où se trouve un borate de magnésie; un point du Caucase où existe une variété hydratée, et une des localités de la rubellite de Sibérie, où on a découvert un borate de chaux. Enfin, il y a même peu de minéraux qui contiennent cet acide, tels que la tourmaline, le cymophane, le beril, l'eulase et l'axinite, tous minéraux des schistes cristallins ou des roches granitoïdes. — Cet acide ne s'est donc jamais exhalé en grande quantité et dans beaucoup de lieux de la surface terrestre à la fois, et il a été toujours infiniment moins abondant dans le nord que dans la zone tempérée, surtout dans sa partie méridionale.

Les borates se caractérisent tous comme des formations de vapeurs acides, ce que confirme leur gîte habituel et l'existence du boracite en druses dans le gypse. L'acide borique a pu se changer chemin faisant en borates par la rencontre de différentes roches, et ce composé est resté dissous dans l'eau thermale vaporisée. Quant au borate de soude du Thibet, qu'il soit un dépôt assez ancien ou qu'il se forme encore à présent dans des mares comme on le dit, il ne semblerait que le dérivé d'une décomposition exercée par l'acide borique d'un lagoni sur du sous-carbonate de soude, sel qui se forme dans ce pays comme en Égypte au moyen du carbonate de chaux en présence de matières salines.

L'*acide fluorique* en nature n'a pas encore été observé dans les bouches de nos volcans, mais bien dans des eaux thermales, et il se laisse extraire des matières animales, surtout des os, tandis qu'il entre dans la composition de plusieurs minéraux, tels que les minéraux de notre famille des fluates, plusieurs de ceux de la famille des phosphates salins, savoir l'apatite, la wagnerite, la wavellite, l'amblygonite, le carpholite, la topaze, le chondrodite, le pyrochlore et même un petit nombre de composés métalliques, comme le bismuth silicaté, l'yttrio-cérite, etc. — S'il est de toutes les zones, on l'a trouvé jusqu'ici en plus grande quantité dans la zone tempérée septentrionale. Sa diminution vers le nord est

bien marquée dans les Iles Britanniques par la grande rareté du fluorine en Écosse, et sa fréquence en Angleterre et en Allemagne. Au Mexique, ce minéral n'est abondant que dans très peu de localités. Son gîte est dans les calcaires tertiaires (Paris) et secondaires (Salève), aussi bien que dans des arkoses, des filons et des réseaux métallifères ou des filons granitiques, ou même dans des dolomies et des calcaires grenus. On en a vu dans les cavités des roches rejetées par le Vésuve. Il n'est qu'un accident d'anciens filons et non pas de filons métallifères modernes; c'est ce qui explique son absence en Hongrie et Transylvanie, où l'on exploite surtout des gîtes de l'époque crétacée ou tertiaire. Sa position la plus singulière est sa dissémination en cristaux microscopiques dans des houilles d'Angleterre, ce qui, dit-on, occasionne leur petillement fréquent.

D'après ces gisements divers, il n'est pas douteux que l'acide fluorique a une double origine : dans les filons et les arkoses c'est un produit de l'intérieur du globe ; dans les autres cas ce n'est qu'un résultat d'accumulations de matières animales et végétales. Le fluor fait partie des matières souterraines de notre terre, il en est de ce corps comme du lithium des tourmalines, des pétalites, du triphane et de quelques micas, ou du cérium, yttrium et métalloïdes ou métaux qu'on n'a vus que rarement ou même jamais encore dans les volcans. L'acide fluorique, se combinant très aisément avec l'acide borique, la silice et avec l'eau, a dû jouer un rôle assez considérable dans le remplissage des filons métallifères, comme dans la formation de certains porphyres et certains réseaux métallifères, surtout stannifères, comme l'a dit fort bien M. Daubrée (1). En général il doit avoir été utile pour la production de certains silicates, parce que les vapeurs aqueuses acides tenaient la silice en dissolution et que l'acide s'évaporait après la formation des silicates. Doit-on employer cette propriété d'évaporation pour expliquer la fluorine des houilles ? D'après ses propriétés chimiques on devrait s'attendre à la découverte de plus de fluates métalliques.

Si l'*acide phosphorique* est répandu en petite quantité dans un assez grand nombre de minéraux et de minerais, ses composés simples sont peu abondants, ce qui est malheureux pour l'agriculture. Les petites masses de phosphates des métaux gisent presque uniquement dans les filons, et sont un accident de toutes les zones; il n'y a guère d'exception que pour le phosphate de fer, qui existe partout et se forme encore, grâce à la présence de matières animales. Quant à la chaux phosphatée, elle ne se trouve qu'en cristaux peu nombreux dans les roches granitoïdes, plutoniques, volcaniques, météoriques ou métamorphiques. Sa variété cristallisée est de toutes les zones, mais le phosphorite compacte ne forme qu'un filon dans les schistes de Logrosan en Estremadure (2), tandis qu'une variété se trouve dans un terrain houiller de France, une autre dans les terrains secondaires,

(1) Voyez *Bull. de la Soc. géol.*, vol. 12, p. 396.

(2) Voyez Daubeny et Widdrington, *Phil. Mag.*, 1844, vol. 25, p. 216.

moyens et tertiaires. La variété siliceuse est en rognons dans du fer hydraté au milieu d'un grès du lias d'Amberg (Bavière) (1). Celle qui est en petites masses testacées ou en stalactites est dans un filon d'étain à Schlackenwald, et le phosphorite pulvérulent du Marmarosh n'est qu'un accident minime d'une fente de roches quartzesuses près du fer hydraté et dans le système carpathique secondaire (?)

Comme l'acide fluorique, l'acide phosphorique a deux origines bien distinctes : d'un côté le phosphore est une substance qui entre dans la composition du corps de notre planète, puisque, outre les apatites des aérolithes, les roches ignées offrent cet élément (2), qu'il y a des apatites dans les dolérites, une variété stalactiforme dans l'île volcanique de l'Ascension et des phosphates même dans la bouche du Vésuve. L'association de l'apatite avec le quartz et le fer hydraté à Logrosan comme dans le Marmarosh indiquerait des vapeurs acides silicifères. D'une autre part, l'acide phosphorique est un dérivé évident des matières et de l'organisation animales, témoin le phosphate de chaux des os, le phosphate de fer et la phosphorite d'Amberg. De plus, cet acide se trouve dans plusieurs minéraux formés par infiltration dans des fentes ou des vacuoles, ou au moins dans des substances ayant ce gisement : telles sont toutes les espèces de notre famille des phosphates salins, les phosphates métalliques et le wernérite.

Les phosphates salins ont une distribution locale individuelle, qui indique bien que leur formation est tout à fait accidentelle ; les uns sont des phosphates de magnésie, comme le wagnérite et le variscite ; les autres, des phosphates d'alumine. Ainsi le lazulite et le wagnérite sont spécialement autrichiens ; savoir : dans la Basse-Autriche, la Styrie et le Salzbourg, où ils gisent dans des roches quartzomiacées ou des schistes peut-être dévoniens, s'ils ne sont pas secondaires (Werfen). La turquoise n'existe qu'en Perse, en Silésie et dans la Saxe royale, dans des fentes de schistes siliceux ou de roches quartzesuses, et même dans l'argile tertiaire du Khorasan, dit-on. La wavellite est plus généralement distribuée, quoique dans des gîtes assez semblables à ceux des phosphates mentionnés et du variscite. Elle accompagne la phosphorite du fer hydraté d'Amberg, et a été rejetée par le Vésuve dans un bloc de calcaire grenu. L'yttria phosphatée est du nord et le struvite est un produit demi-animal du jour.

Le fer est de tous les pays : le fer oxydé hydraté, le fer limoneux et le fer sulfuré sont les espèces les plus répandues et offrent les gîtes les plus divers, depuis le sol primaire (Hesse, Nassau, etc.) jusqu'à l'époque actuelle. Au contraire, le fer oxydulé ou magnétique et en partie titanifère abonde surtout dans la zone boréale cristalline (Norwège, Suède (Taberg), Laponie, Oural (Blagodot), Amérique septentrionale) ; mais il y en a aussi en moindre quantité (?) entre les tropiques (Brésil) et même un peu dans nos Alpes. D'un autre côté le fer spathique et

(1) Voyez mon Mémoire sur le S.-O. de l'Allemagne, *Ann. des sc. nat.*, 1824, vol. II, p. 192.

(2) Voyez Mémoire de M. Fownes, *Lond. phil. Trans.* pour 1844, p. 33.

le fer oligiste sont concentrés surtout dans les roches métamorphiques des zones tempérées et tropicales, comme le fer carbonaté amorphe est lié à leurs houillères. Le fer oxydé rouge est un accident des filons des terrains primaires et secondaires, qu'on a surtout étudié dans la zone tempérée, comme dans le Lancashire, à Framont, au Fichtelgebirge, en Biscaye, en Portugal et dans le royaume des Birmans. Les fers oolitiques et en grain sont liés aux terrains jurassique et crétacé, qui existent surtout dans la zone tempérée boréale et dans une partie de la zone tropicale. Le fer hydraté se trouve en rognons dans le sol tertiaire comme dans nos alluvions.

Quant à la géogénie de ces fers, l'espèce limoneuse de nos marais est le pendant des hydrates de fer des terrains modernes, comme les pisolithes ferrugineuses de nos sources thermales acidules est celui du minerai de fer en grains ou oolitique. Les exhalaisons de fer micacé dans nos volcans et le fer oxydulé de nos laves caractérisent le fer oligiste des anciens terrains (île d'Elbe, Brésil), comme provenant d'une sublimation, aussi bien que le fer oxydulé des schistes comme provenant d'une matière éruptive; tandis que les traînées de fer spathique sur les deux versants de nos Alpes ainsi que le fer carbonaté de nos houillères doivent avoir des rapports intimes avec les émanations d'eaux acidules ou seulement de gaz acide carbonique, qui ont accompagné le soulèvement des chaînes, les éruptions ignées et la formation de divers dépôts. Enfin, il y a une opération chimique incessante, qui altère les oxydes de fer et les convertit, eux et les carbonates, en différents hydrates, de manière que les amas de fer spathique sont modifiés en tout ou en partie, et que des filons de fer offrent supérieurement des hydrates qui n'existent pas dans leurs profondeurs.

Le *cuivre* abonde sous la zone polaire et non loin de son cercle; il est souvent natif, en blocs énormes (Amérique du Nord, Scandinavie, Sibérie). D'autres espèces de cuivre sont distribuées également dans les zones tempérées et boréales. Le cuivre pyriteux, le cuivre gris argentifère, les cuivres carbonaté et silicaté sont les formes les plus ordinaires, et chacun de ces minerais paraît lié préférentiellement à certains terrains. La zone tropicale offre aussi des dépôts cuivreux. Les carbonates de cuivre sont surtout en grande abondance dans le groupe secondaire inférieur; les autres minerais mentionnés sont dans les schistes cristallins, les roches primaires et secondaires anciennes, mais les grandes masses de cuivre natif sont dans les trapps et les serpentines.

Les régions les plus riches en cuivre sont la Norvège, la Suède, le Cornouailles, le Devonshire, les bords inférieurs du Rhin, le Bannat, le nord de la Hongrie, l'Oural, l'Asie-Mineure, le Thibet, la Chine (Yunan et Formose), le Japon, l'Afrique méridionale, les environs du lac supérieur en Amérique, le Nouveau-Mexique, les Andes, le Chili, la partie méridionale de la Nouvelle-Hollande. Des localités moins riches sont la France (les Pyrénées, Chessy), l'Espagne, les Alpes orientales, l'Allemagne centrale, la Croatie et la Toscane.

L'or est un métal des zones tempérées et tropicales, car jusqu'ici les zones polaires n'en ont offert que très peu en Scandinavie. On pourrait même croire que la plus grande masse gît entre les tropiques et diminue vers les pôles. L'or est le plus souvent pur et n'apparaît que rarement sous forme de pyrites aurifères (Transylvanie, Norwége, Piémont et Alpes), ou même il s'allie au tellure. Ses gîtes dans les roches massives (porphyres, serpentine, etc.) et dans les schistes métamorphiques ont éprouvé de telles destructions par suite de bouleversements ou de l'action des eaux, qu'une grande partie de l'or du commerce provient du lavage de sables aurifères, et que les filons aurifères exploités sont comparativement peu nombreux. L'Oural, l'Altaï, la Chine, Bornéo, le Pérou, le Chili, l'Afrique centrale et le sud-ouest de ce continent, la Transylvanie et la Hongrie sont les contrées les plus aurifères du globe.

La distribution géographique de l'argent ressemble assez à celle de l'or; cependant des dépôts considérables de ce métal existent non loin du cercle polaire, en Norwége. L'argent se rencontre habituellement à l'état de sulfure, et s'allie au plomb, au cuivre et à l'antimoine. Son état natif n'est qu'un accident rare, qui souvent résulte d'actions électro-chimiques postérieures à la formation des sulfures. Si l'or est souvent disséminé dans les roches, l'argent est presque uniquement en filons ou petites veinules dans des dépôts schisteux cristallins ou massifs ou des roches primaires. Les régions argentifères sont surtout le Potosi, la province de Coquimbo au Chili, le Mexique (Oaxaca, Zimapan, Zacatecas, Catorce, Guanajuato, Sombrière), la Chine, l'Altaï (Nertschink et Kolivan), la Norwége (Kongsberg), la Suède, l'Erzgebirge, la Bohême (Przibram), le nord de la Hongrie, le Harz, l'Espagne et Sumatra. Le sulfure d'argent et de cuivre, rareté en général, forme au Schlangenberg, dans l'Altaï, le minerai le plus fréquent.

Le platine, avec le palladium, l'iridium, l'osmium et le rhodium, est surtout un métal tropical, car il ne s'est trouvé jusqu'ici surtout que dans un seul canton de la terre, savoir dans l'Amérique méridionale (Nouvelle-Grenade, Choco, provinces d'Antioquia et de Barbacoas, Matogrosso et Minaes-Geraes, au Brésil). Hors ces contrées, on ne l'a vu que dans l'île de Saint-Domingue, dans le pays des Birmanes, au cap de Bonne-Espérance, à Bornéo et dans l'Oural. Cette dernière chaîne a offert aussi l'irite et l'iridosmine, et dans le royaume birman le platine est aussi uni à l'iridium. Néanmoins le palladium a été découvert dernièrement comme rareté au Harz (Tilkerode), et M. Dobereiner prétendait même avoir extrait du platine des sables aurifères du Rhin! Comme le platine est disséminé et non en filons dans des roches massives (serpentes) ou schisteuses, qui ont beaucoup souffert, on en trouve aussi des lavages considérables avec des pépites assez grosses.

Le Tellure uni à l'or, à l'argent et au plomb appartient à la zone tempérée boréale, car il n'est connu principalement que dans trois localités de la région porphyrique aurifère du terrain crétacé en Transylvanie; savoir: à Nagyag, Of-

fenbanya et Faczebay. Comme des raretés apparaissent le bismuth telluré de Retzbanya, de Schemnitz, de Scandinavie et du Brésil; le bitellure d'argent, et le plomb telluré de l'Altaï, et le tellure nickélique ou herrérite du Mexique.

L'*Étain* est un métal assez rare; mais lorsqu'on le trouve il est en assez grande abondance, ou même il est mêlé aux alluvions des pays stannifères. On le voit dans peu de contrées de la zone tempérée boréale, comme dans le Cornouailles, le Devonshire, l'Erzgebirge saxon et bohémien, l'Oural, l'Espagne, le Portugal et la Bretagne. Dans la zone tropicale, on le connaît dans l'île de Ceylan, dans la presque île de Malacca, les royaumes des Birmans et de Pégou, à Banca, à Bornéo et en Chine, ainsi que dans les cordillères des Andes, du Mexique, du Chili et au Brésil. Le nord polaire n'en offrirait guère sans une localité du Groënland. L'étain est toujours oxydé; son état natif et son sulfure ne sont que de grandes raretés; le premier dans les lavages aurifères de la Russie, et l'autre, dans un de ses gîtes en filons. L'étain paraît lié aux éruptions granitiques et porphyriques, comme cela se remarque bien dans l'Erzgebirge et dans l'Ouest celtique et cantabrique de l'Europe, massif qui, quoique séparé en quatre, forme une bande aussi remarquable par la similarité de sa géologie que par celle de sa flore et de sa faune.

Le *Mercure* n'est pas non plus un métal du Nord, car ses grands magasins sont Almaden, en Espagne; COUNA, en Portugal; Idria, en Carniole; Leogang, dans le Salzbourg; le Palatinat du Rhin, la Chine, quelques points du Mexique, de la Colombie et du Pérou (Huancavelica), ainsi que les Apennins toscans. Le cinabre ou son sulfure abonde autant que le mercure coulant, et se trouve isolément en petites quantités dans quelques autres contrées, comme la Transylvanie, la Carinthie, à Rosenau, en Hongrie, etc. L'amalgame d'Europe et le mercure sélénié du Mexique sont des espèces de moindre importance qui accompagnent les autres minéraux dans leurs gîtes principaux. L'amalgame est aussi une rareté à Sala, en Suède. Un alliage de cuivre et de mercure existe au Chili, un mélange d'idrialine et de cinabre forme l'idrialite à Idria, et le bitume mercurifère de l'île Maurice est un accident volcanique. Les terrains primaires, secondaires et tertiaires recèlent du mercure; ces derniers terrains n'ont présenté jusqu'ici que du mercure coulant et l'espèce iodée (Mexique).

Le *Plomb* est un métal qui se trouve plus ou moins dans la plupart des pays, quoique ses plus grands dépôts semblent concentrés plutôt dans les zones tempérées que dans les zones polaires, ou même qu'entre les tropiques. Sous sa forme ordinaire de sulfure ou de galène, il est amoncelé surtout dans les royaumes ibériques de Murcie et de Grenade, dans le Michigan, le Missouri et le Massachusetts aux États-Unis, en Angleterre, en Belgique (Vedrin), dans la Daourie et la Chine intérieure, dans l'Australie méridionale, dans certaines parties des Alpes allemandes, savoisiennes (Pesay) et asiatiques, en Perse et au Mexique. Ce minerai est le plus souvent argentifère à des degrés plus ou moins avantageux pour le mineur, comme dans les Vosges, la Lozère, la Forêt-Noire, le Piémont,

à Przibram, en Bohême, en Hongrie, à Clausthal, au Harz, etc. Le plomb natif est une rareté; le minium et la litharge ne sont que des produits d'altérations ignées de la galène, comme le plomb natif d'Irlande, la litharge d'une cheminée volcanique au Mexique; d'autres fois ce sont des effets de modifications électro-chimiques postérieures au dépôt primitif.

Le *Zinc*, sous forme de calamine et de blende, est un dépôt des zones tempérées, et quelquefois le cadmium est uni au zinc (Przibram). C'est dans le terrain secondaire ancien de la Sibérie supérieure et de la Pologne, le sol primaire de la Belgique (Limbourg), le carbonifère de l'Angleterre (Northumberland, Derbyshire, pays de Galles) et du nord de l'Amérique, le terrain ancien de l'Altaï et le jura de Raibel, en Carinthie, et de Almunecar (roy. de Grenade), que sont les grands réceptacles du zinc du commerce. Ces minerais, et surtout la blende accompagnant la galène, se rencontrent encore en plus ou moins grande quantité dans les gîtes nombreux de ce métal. Très rarement le cadmium se montre à l'état de sulfure au Mexique, ainsi que dans des roches trappéennes des houillères de l'Écosse, sous la forme de greenockite.

Le *Manganèse* est un métal assez répandu, sous la forme d'oxyde, dans beaucoup de terrains et même dans les plus récents (Paris); mais ses amas les plus considérables sont dans les roches secondaires anciennes ou même dans des étages primaires, comme au Harz (Ilfeld), dans la Hesse électorale, en Thuringe, dans la Prusse rhénane, dans les Vosges, à Romanèche, en Irlande, dans le Cornouailles et l'Exeter, en Angleterre, en Écosse, aux États-Unis, etc. Ce serait un métal de toutes les zones, mais exploité, jusqu'ici surtout, dans la zone tempérée boréale.

L'*Antimoine* en sulfure est un minerai du sol ancien dans bon nombre de pays de toutes les zones, hors la zone polaire; mais il est rarement fort abondant, comme, par exemple, dans le Devonshire, la Lozère, les Pyrénées, l'Espagne méridionale, la Hongrie, la Carinthie, la Forêt-Noire et la Westphalie, ainsi qu'à Bornéo et au Mexique (Catorce), etc.

Le *Cobalt* ne se voit en masses un peu considérables qu'à l'état de cobalt arsenical et de sulfure, ou oxydé. Son gîte est dans les terrains primaires et secondaires anciens, surtout de la zone tempérée boréale; mais ce métal existe aussi dans les autres zones. Quelques unes de ses mines les plus considérables se trouvent en Norvège (Modum), en Suède (Tunaberg), dans le Nassau, dans la Hesse, dans l'Erzgebirge, la Styrie, les Pyrénées, etc.

Le *Nickel* est dans la même catégorie que le cobalt; il est aussi surtout arsenical et sulfuré, comme en Bohême.

L'*Arsenic*, communément sulfuré, se trouve dans plusieurs pays, mais jamais en grande abondance; comme, par exemple, dans le Bannat, la Transylvanie, la Bohême, l'Espagne, le Pérou, le Chili, etc. Des pyrites arsenicales sont exploitées çà et là, comme à Reichenberg, en Silésie.

Le *Bismuth* ne forme que de petits dépôts à l'état de sulfure ou à l'état natif ; il est surtout connu jusqu'ici dans les zones tempérées et tropicales (Suède, Europe centrale, etc.).

Le *Chrome* uni au fer se trouve dans toutes les zones, comme le montrent les localités les plus riches en ce métal ; savoir : les serpentines de l'île d'Unst (Shetland), de l'Aveyron, de la Styrie (Kraubath), de l'Oural, de la Chine, de la presqu'île en deçà du Gange, et des États-Unis septentrionaux. Le chrome oxydé n'est qu'une rareté, comme celui des grès secondaires inférieurs en France.

L'*Urane* est un métal rare qui n'a été vu, surtout sous la forme d'oxyde et de sulfure, qu'en Cornouailles et en Saxe ; mais il existe probablement dans d'autres continents. L'urano-tantalite et l'urane oxydé avec du cuivre siliceux sont des raretés.

Le *Titane* combiné avec le fer, ou plus rarement avec la chaux et la silice, ou bien en oxyde, est un métal répandu partout dans certaines roches massives, telles que les granites, siénites, euphotides, basaltes et roches volcaniques, ainsi que dans certaines roches quartzo-talqueuses. Ce sont ces dernières que le rutile affectionne principalement. Or, il y a de ces roches dans toutes les zones, mais elles abondent surtout dans les zones tempérées et tropicales. Si le sphène est disséminé dans beaucoup de siénites, le titanate de fer existe dans des contrées très diverses, sous le nom d'isérine, de menakanite, de crichtonite, d'ilménite, d'hystatite, de fer titanifère, etc. ; tandis que l'anatase ne se voit guère que dans de petits filons de roches cristallines, dans le Dauphiné, la Suisse, l'Espagne, le Cornouailles et le Brésil. Quant aux pérowskite et greenovite ou titanates manganésiens, ce ne sont que des curiosités, l'un de l'Oural, l'autre du Piémont.

Les *Scheelins* ferrugineux et calcaires des roches anciennes sont dans un cas voisins du titane, excepté qu'ils manquent dans les roches volcaniques, mais ils n'existent nulle part en abondance.

Le *Tantale* oxydé est surtout cité en Scandinavie, en Bavière et aux États-Unis, dans des roches granitoïdes.

Le *Sélénium* n'a été reconnu jusqu'à présent qu'en Suède, au Harz, dans le pays de Saxe-Meiningen, dans l'Erzgebirge (Freiberg) et au Mexique.

Le *Vanadium* n'a été vu qu'au Mexique, dans le terrain primaire du S.-O. de l'Écosse, dans l'Oural, dans la serpentine de Zoëblitz, en Saxe, et dans un bronzite de Ligurie.

L'*Ilménium* est un nouveau métal de l'Oural et des États-Unis. Le *Ruthénium* est associé au platine de l'Oural, et les autres métaux récemment découverts sont surtout scandinaves ; mais tous sont en quantité trop minime pour être de quelque importance géogénique.

Sur plus de trente métaux connus, il n'y en a que quatorze qui se trouvent à l'état natif dans la nature. L'or, le platine, le palladium, l'iridium, le cuivre, le mercure, le tellure et le bismuth sont disséminés dans des roches massives ou

métamorphiques, ou altérées, ou bien dans de petits fendillements ignés; ils se caractérisent donc bien comme des produits de sublimation ou bien de cristallisation d'une fusion ignée; un exemple de ce dernier genre est l'or des serpentines et des porphyres, tandis que des minerais sublimés sont, par exemple, le mercure disséminé dans le granite ou dans l'argile tertiaire, ou même certaines lamelles d'or des grès crétacés altérés, des quartzites et des itabirites. Au contraire, les autres métaux natifs, l'antimoine, l'arsenic, le plomb, l'étain et même le bismuth, ne sont bien plutôt que des états secondaires des minerais; au moins pour quelques uns, c'est un fait, comme pour le plomb natif, quand il n'est pas une sublimation. Si l'argent natif paraît souvent un résultat d'actions électro-chimiques, d'autres fois il peut être une sublimation; ce sont des cas particuliers à étudier. L'or même aurait subi des déplacements semblables, si on osait se fier à Fichtel, qui parle de coquillages siliceux aurifères, à moins qu'il ne voulût parler que d'or alluvial empâté accidentellement. Quant au cuivre natif, il est résulté positivement dans certains cas du jeu des affinités chimiques, et est venu du sulfure de cuivre. Il est particulier qu'on ne trouve pas plus de fer natif, puisque l'analogie des aérolithes semblerait en indiquer beaucoup dans les profondeurs du globe; mais des propriétés et des circonstances chimiques s'opposent à sa sortie de terre sous cet état. D'un autre côté, l'extrême rareté du fer natif nickélifère, dans les divers terrains même très récents, a étonné plus d'un astronome, puisqu'on enregistre si souvent des chutes d'aérolithes. Cet accident météorique n'avait-il donc pas lieu autrefois ou était-il beaucoup plus rare? Si l'on doit découvrir probablement encore d'autres métaux natifs, n'est-il pas bien plus probable que ce seront plutôt des produits secondaires que des sublimes?

Les *Oxydules* et les *Oxydes métalliques* sont loin d'avoir une origine unique, comme on le croyait jadis. Ainsi, si le crichtonite ou le fer titané des roches massives se range, par sa dissémination ou sa position, parmi les produits ignés de premier jet, les expériences ont prouvé que le cuivre oxydulé pouvait avoir, et avait, en effet, une triple origine, l'une ignée, l'autre aqueuse, et une troisième électro-chimique. Le fer oxydulé même peut quelquefois n'être qu'un oxyde de fer rouge modifié. D'un autre part, si les peroxydes semblent se rapporter plutôt aux sublimes qu'à d'autres genres de formation, la plupart des oxydes et toutes les ocres sont reconnus pour des résultats de décomposition ou d'altérations chimiques de sulfures ou d'autres espèces de minerais. Dans ce cas sont surtout le cobalt, le plomb, le zinc, l'antimoine, le molybdène, le mercure, etc. Il n'y a d'exceptions bien évidentes que pour les oxydes de titane, de tantale, probablement de chrome, et peut-être même d'urane, qui paraissent des productions ignées immédiates. L'étain oxydé pourrait y être aussi adjoint, mais non pas tous les oxydes de fer. Quant aux oxydes hydratés, ce ne sont que des minerais divers retravaillés par des vapeurs aqueuses ou l'air atmosphérique, ou des dépôts d'eaux thermales, comme certains minerais de manganèse. Les hydrates silici-

fères et les oxydes silicatés indiquent, par leur nature, leurs caractères et leur gîte, que les eaux thermales, ou au moins des vapeurs aqueuses chaudes, ont eu une grande part dans leur formation. Quelquefois cette action n'a eu lieu que postérieurement au dépôt de minerais sulfurés, qui ont été ainsi modifiés et transformés. Dans d'autres cas, le véhicule de l'eau et la décomposition à la température ordinaire ont suffi pour cette formation, comme dans le cas des hydrosilicates de cuivre.

L'état de *sulfure* est l'état normal, la composition la plus habituelle sous laquelle les laboratoires souterrains ont amené des métaux à la surface de la terre. Il n'y a guère que l'or, le platine, le tellure et les métaux associés au platine, qui fassent exception à cette règle, car les métaux nouvellement découverts sont encore trop peu étudiés pour entrer en ligne de compte. Or, comme l'union de ces métaux exceptionnels avec le soufre n'est pas une impossibilité chimique, il faut que leur ascension à la surface ait été accompagnée de circonstances chimiques qui s'y sont opposées. — En général les sulfures sont une formation ignée, soit de cristallisation, soit de sublimation, et beaucoup d'autres minerais oxydés ou autrement acidifiés en dérivent évidemment. Ce qui prouve le mieux leur formation ignée, ce sont les pyrites quelquefois microscopiques disséminées dans les granites, les porphyres et les schistes cristallins, le gîte du molybdène sulfuré, celui des pyrites aurifères dans le quartzite, l'imprégnation métallifère des roches voisines des filons métallifères au moyen d'un métamorphisme de contact, etc.; mais les sulfures sont-ils sortis des profondeurs de la terre sous cette forme, ou se sont-ils formés seulement dans les cheminées ignivomes et les vides des pâtes plutoniques, au moyen du contact de métaux natifs sublimés avec des vapeurs sulfureuses et de l'hydrogène sulfuré? Les deux cas ont dû se présenter, et cela paraît plus probable que de ne vouloir adopter qu'un mode de formation. Les différentes propriétés des métaux auront agrandi, restreint ou même empêché ces cas de double origine, dont les aérolithes nous offrent des exemples.

D'un autre côté, il y a aussi bon nombre de sulfures formés par la voie aqueuse à l'aide de la chaleur ou par les eaux thermales, comme certains sulfures de fer; tandis que d'autres ont eu pour origine des actions moléculaires électrochimiques, témoins ces restes de végétaux changés en sulfure de cuivre à Frankenberg, dans la Hesse, et ce même sulfure dans des coquilles fossiles. Chaque cas individuel de sulfure exigerait donc un examen géogénique particulier, d'autant plus qu'il y a plusieurs métaux qui offrent plusieurs espèces de sulfures, dont quelques uns peuvent être des produits ignés immédiats, en même temps que d'autres ont une origine double ou triple. Ainsi les sulfures de molybdène, de cadmium, de mercure, d'argent, d'arsenic et de bismuth seraient dans la première division, et ceux de fer, de plomb, de zinc et même de manganèse dans la seconde. Dernièrement M. Kersten nous a montré, non seulement la réduction du carbonate, sulfate et phosphate de plomb en sulfure au moyen de l'hydro-

gène sulfuré, mais encore celle du sulfate en sulfure par le contact de restes organiques. Or, ces faits peuvent servir à expliquer diverses anomalies apparentes, savoir : la galène recouvrant du bois ou des os d'animaux domestiques dans d'anciennes galeries de mines ; les mouches et les nids de galène et de blende de certaines houilles et du muschelkalk, ainsi que cette galène cubique avec l'impression d'une feuille de fougère d'un terrain carbonifère. (Voy. *N. Jahrb. f. Min.*, 1833, p. 309, pl. IV.)

Les *Métaux sulfatés*, *hydrochloratés*, *carbonatés*, *arséniatés* et *phosphatés* ont été reconnus, par leur nature et leur gîte, pour des états secondaires d'autres minerais et surtout de sulfures. Les sulfates résultent de la conversion de l'acide sulfureux en acide sulfurique par l'accession de l'oxygène soutiré à l'air atmosphérique ou à l'eau. Bien plus rarement, de l'acide sulfurique rendu libre, comme dans le cas de la décomposition de pyrites, a réagi sur d'autres composés, tels que les carbonates, pour en former des sulfates.

Les *Hydrochlorates* ont été produits surtout au moyen de sulfures, de carbonates et de métaux natifs par l'arrivée de vapeurs hydrochloriques ou par celle d'eaux qui ont pu recevoir leur salure de l'intérieur du globe, ou simplement du trajet à travers des couches salifères.

La pénétration possible dans certains cas de petites quantités d'eau de mer a pu produire les mêmes effets. Des fendillements permanents ou momentanés, suite de tremblements de terre, ont pu contribuer à ce dernier accident. Dans tous les cas, il est remarquable d'en trouver autant dans certaines mines de Coquimbo au Chili.

Les *Carbonates* sont dus surtout à l'action décomposante et recomposante de l'acide carbonique, soit de l'air atmosphérique, soit de certaines eaux, sur les sulfures ; et les carbonates siliceux indiquent que ces dernières ont dû quelquefois posséder une température assez élevée ou les ingrédients alcalins nécessaires pour dissoudre la silice. D'autres fois, des émanations d'acide carbonique ou des moffettes ont pu seules produire ces sels métalliques. Les mines de plomb, les grès et les schistes cuivreux sont bien intéressants à étudier sous ces divers rapports ; mais personne ne doute de l'origine de leurs carbonates, qui, si elle n'a pas lieu comme je l'ai dit, peut provenir quelquefois d'une décomposition double de minéraux ou de minerais sous la forme de carbonates, en présence d'autres sels métalliques ; les bases étant différentes, leurs affinités pour l'acide carbonique et l'autre acide présent le seront souvent aussi. D'ailleurs, on a vu de la calamine se former dans les mines.

Les *Arséniates* sont dérivés surtout de la décomposition de diverses pyrites arsenicales, qui semblent un produit immédiat de sublimation ou de cristallisation ignée. Il s'établit un jeu d'affinité entre ces minerais et d'autres sulfures métalliques ou bien avec des oxydules (cuivre, par exemple) ou des oxydes. Le

fer oxydé résinite et ses stalactites montrent que l'eau est aussi un agent dans quelques unes de ces métamorphoses.

Les *Phosphates* paraissent aussi des accidents secondaires; mais l'acide phosphorique peut tout aussi bien être venu d'en haut que d'en bas. Ce sont des produits tantôt de la voie aqueuse presque à froid, et tantôt de la voie aqueuse ignée. Il faut étudier chaque gîte à part sous ces rapports divers. Comme les quatre sels métalliques ci-dessus, les phosphates existent surtout dans le haut des filons métallifères, démontrant ainsi assez bien leur origine, postérieure au reste de la masse des filons.

Les *Molybdates*, n'offrant jusqu'ici que celui de plomb, indiquent, ce me semble, une origine toute particulière. Vu la rareté et la position de ce minerai, ne serait-il pas permis de croire que du molybdène sulfuré du terrain ancien a été attaqué d'abord par la chaleur souterraine, et puis décomposé et acidifié: c'est cet acide vaporisé qui serait arrivé par des fentes jusque dans le lieu où était, ou bien se déposait de la galène, et aurait formé le composé en question dans les parties supérieures et plus froides de ces fentes. Si cette idée n'était pas à rejeter, on pourrait supposer de même des décompositions semblables par la chaleur, pour se rendre compte de l'acide de certains phosphates et même d'arséniates. Dans tous les cas, dès qu'on admet dans l'intérieur du globe une température élevée, même à une profondeur peu considérable, il devient évident que certains minéraux doivent se volatiliser dès qu'ils en trouvent la place, c'est-à-dire les cavités ou les fentes nécessaires, et que la pression est surmontée. Aussi n'ai-je point été étonné d'apprendre qu'on trouvait du mercure coulant jusque dans le sol tertiaire et alluvial, et que le bitume et le naphthe étaient çà et là une simple distillation souterraine.

Les *Métaux chromatés* sont encore trop peu nombreux pour qu'on puisse croire que nous les connaissons tous. Les deux espèces établies seraient des produits de cristallisation et de refroidissement igné pour l'un, le chromate de fer, et d'action de vapeurs acides sur la galène pour l'autre, le chromate de plomb; à moins qu'on ne pût admettre une action électro-chimique entre l'oxyde de chrome et le sulfure de plomb avec le secours de l'air et de l'eau.

Les *Tungstates* de fer et de plomb sont le produit de l'action de l'acide tungstique volatilisé sur des minerais de fer et de plomb, probablement des sulfures; et le scheelin calcaire un produit de cristallisation ignée à l'aide de vapeurs acides.

Les *Métaux vanadatés, séléniurés, iodurés et bromurés* sont des découvertes fort intéressantes de la chimie moderne. Les premiers sont des sublimations ou même simplement des résultats de l'action de vapeurs acides sur d'autres minerais. D'ailleurs nous avons déjà cité du soufre sélénié dans le cratère de Vulcano. Quant aux deux autres minerais, une fois qu'on avait reconnu le rôle important des eaux minérales salines, en grande partie chaudes, dans le remplissage des filons, il devenait certain qu'on y découvrirait tôt ou tard le brome et l'iode, puisque ces deux corps ont été reconnus dans un bon nombre de ces sources minérales.

Il est même probable qu'on y trouvera encore d'autres composés métalliques. D'une autre part, l'iode existant dans la mer et certains végétaux marins et le brome dans les mollusques, le chimiste devait s'attendre à en signaler, soit dans certains dépôts salifères, soit dans quelques combustibles ou des roches bitumineuses. En effet, on a découvert déjà une soude iodée, et des houilles ont fourni ces corps élémentaires.

Dans la classe des *Minéraux proprement dits* sont réunis beaucoup de minéraux qui n'ont que rarement, comme espèce, une distribution géographique particulière, parce qu'ils forment dans les terrains des accidents plus généraux que la plupart des minerais. Néanmoins on peut observer que le groupe des *Minéraux métallifères*, à l'exception de la famille plombifère, trouve éminemment sa patrie dans le Nord plutôt que dans les autres zones, tandis que c'est tout le contraire pour le groupe des gemmes. On découvrira probablement peu de pierres précieuses, nouvelles, mais la série des minéraux métallifères s'accroîtra encore sûrement. Tous, excepté le plomb gomme, sont des produits de la voie ignée par cristallisation de refroidissement, par sublimation ou avec l'aide de vapeurs acides, suivant les espèces. Les familles cérifère et titanifère sont surtout des exemples du premier et dernier genre de formation, et la famille ferrifère offre des cas du second genre, où les minéraux tapissent des fentes, comme certains minéraux artificiels les cheminées des hauts fourneaux. L'isopyre a, en particulier, l'apparence d'une matière fondue.

Quant aux *Gemmes*, je ne puis que faire remarquer la patrie jusqu'ici exclusivement américaine de l'eulase, européenne du phénakite, et groënlandaise pour le saphirine et l'eudyalite. Le cymophane ne se trouve pas en Europe, mais en Asie et dans les deux Amériques (1). Environ comme les minéraux métallifères, ces espèces sont empâtées dans les roches massives granitoïdes, plutoniques ou volcaniques, dans les schistes cristallins ou dans de petits filons, dernier gîte exclusivement réservé aux gemmes à acides fluorique et borique, ce qui indique bien l'aide de vapeurs acides pour leur formation. Les autres gemmes sont des produits du métamorphisme moléculaire ou des cristallisations ignées contemporaines ou presque contemporaines avec celle des roches contenantes. Plusieurs des dépôts gemmifères étant anciens ou se désagrègent aisément, comme certaines laves et brèches, il y a assez d'alluvions gemmifères.

Les groupes des *grenats*, des *amphiboles*, des *micas*, des *feldspaths* et des *macles* sont, de tous les pays et de toutes les zones, parce qu'ils caractérisent et ornent surtout les schistes cristallins comme les roches massives. Les macles sont en partie surtout dans les schistes établissant le passage entre les roches fossilifères et les roches feuilletées cristallines. Dans le groupe des grenats, l'helvine est le seul minéral rare et restreint aux schistes anciens de l'Erzgebirge.

(1) Les topazes existent surtout au Brésil, dans l'Oural, la Daourie, et à Auerbach, en Saxe.

Dans le groupe des amphiboles, on peut remarquer l'espèce d'antagonisme de l'amphibole et du pyroxène, leur réunion dans l'ouralite et le vague qui plane sur les diallages d'après les recherches récentes des minéralogistes. Dans le groupe des micas, il y a plusieurs espèces nouvelles, dont la distribution est mal connue. Dans le groupe des feldspaths, le pagodite est un minéral surtout chinois, qui paraît passer par le jade au feldspath compacte. Parmi les macles, la couzeranite et le dipyre sont jusqu'ici des espèces pyrénéennes, qui y remplacent pour ainsi dire la rareté comparative du grenat. Plusieurs autres minéraux de ce groupe sont du Nord.

Les minéraux de ces cinq groupes sont des produits de cristallisation ignée ou de sublimation, ou d'actions moléculaires sous une certaine température. Dans les deux premiers cas leur formation est presque contemporaine de la cristallisation de la pâte qui les enveloppe, comme le grenat dans le granite, l'épidote dans la siénite et l'amphibolite; tandis qu'il en est tout autrement dans le dernier cas, où ils se caractérisent comme accidents métamorphiques de contact près de roches ignées ou dans des masses schisteuses assez chauffées pour le libre jeu des affinités chimiques et l'admission de nouveaux éléments entre les vides des molécules. Les macles, les couzeranites et les dipyres sont, à cet égard, au premier degré de cette opération, tandis que les groupes des amphiboles, des feldspaths et des grenats l'offrent dans son état le plus complet. Il y a aussi des idocrases dans du calcaire grenu contenant des parties de cette roche. Les blocs de roches calcaires et schisteuses rejetées par le Vésuve offrent de beaux exemples de métamorphisme, soit par leurs altérations, soit par la quantité des minéraux qui y tapissent des druses et appartiennent surtout aux groupes dont nous nous occupons (1). Si plusieurs de ces espèces ne sont que des minéraux restés intacts dans des roches arrachées aux couches traversées par les événements volcaniques, comme, par exemple, la topaze associée avec de l'étain oxydé, etc., d'autres espèces ne paraissent que le résultat métamorphique d'une chaleur assez longtemps continuée sur des fragments étrangers à la lave. Si l'idocrase en druses dans la serpentine est un cas de sublimation, l'égeran a cristallisé par refroidissement, le péricline et le quartz ayant rempli postérieurement les vides.

Le groupe des *amphigènes* est surtout volcanique, et rentre dans la division dont je viens de parler pour celles des espèces ou variétés qui existent dans d'autres roches. Ces minéraux laviques se forment au moment du refroidissement de ces matières fondues, tout en ayant déjà leur place presque ébauchée

(1) Ce sont des spinelles, des grenats, des idocrases, des amphiboles, de la grammatite, du pyroxène, de l'épidote, du feldspath vitreux, de la méionite, des amphigènes, des néphelines, la sodalite, la wollastonite, l'humboldtite, le mica, le forstérite, la wavellite, la prehnite, la chaux carbonatée, l'arragonite, le fluorine, etc. Voyez *Mineralog. vesuviana*, de Monticelli et Covelli, 1825.

avant cet instant. Plusieurs d'entre eux se revoient dans les roches schisteuses cristallines ; ainsi l'haüyne, qui orne certaines laves, comme celles du mont Vultur les phonolites, se retrouve aussi bien dans le calcaire grenu rejeté à la Somma que dans certain calcaire semi-cristallin rose de Tyrée (Écosse). La sodalite du Vésuve, en enduit dans des cellules de laves, est bien connue au Groënland et dans l'Oural, au milieu de roches granitoïdes. Quant au lapis lazuli, il paraît propre à l'Asie centrale et a son gîte dans le calcaire grenu et les roches granitoïdes ; il se caractérise autant comme minéral de métamorphisme de contact que comme un produit cristallin igné.

Dans le groupe des *quartz*, les espèces sont d'autant plus fréquentes que leur mode de formation a pu se présenter souvent. Ainsi si les silex et les jaspes abondent, le quartz hyalin cristallisé et les calcédoines sont déjà moins communs, et l'hyalite ne se voit que çà et là, parce que son dépôt a déjà exigé des circonstances assez particulières qu'on ne revoit qu'autour de nos volcans. Pour des raisons analogues, le quartz résinite n'est pas si fréquent que le silex corné ou la meulière ; l'améthyste, la chrysoprase, l'héliotrope, et, en général, les agates ne se trouvent que dans certains pays et l'opale n'est qu'une gemme rare, parce qu'elle a demandé un dépôt de matière siliceuse assez pur et une dessiccation particulière pour lui donner son chatoiement. L'opale des bijoutiers est limitée pour cela à un très petit canton trachytique du nord de la Hongrie, aux îles Feroé et au pays de Honduras ; la chrysoprase à la Silésie, à la Saxe et à un des États-Unis, etc. ; au contraire de très beaux quartz résinites se trouvent déjà dans plusieurs pays, tels que l'Islande, les îles de Feroe, le Mexique, la Hongrie, etc.

Les quartz sont reconnus maintenant pour des dépôts d'origine aqueuse sous une certaine température, ou des cristallisations de refroidissement igné. Ainsi le quartz des roches granitoïdes et porphyriques est dans ce dernier cas, et, malgré les difficultés élevées par les chimistes, il est de formation contemporaine avec la cristallisation du mica et du feldspath de ces roches, car il y a impossibilité physique à expliquer autrement la pénétration mutuelle des cristaux de ces diverses substances, surtout par exemple dans le cas des pegmatites. Il me semble qu'il suffit d'admettre que les molécules des divers cristaux se sont groupées en même temps, comme dans les laves ; les cristaux étaient donc plus ou moins ébauchés, sans que pour cela leurs molécules eussent perdu tout à fait leur mollesse primitive, vu la conservation d'une bonne partie de leur chaleur primordiale ; en se refroidissant et achevant leur acte de cristallisation, les espèces moins réfractaires auront réagi sur les cristaux de quartz et les auront pu refouler un peu vu leur manque de rigidité ; de là seraient résultées soit la structure des pegmatites, soit certaines fractures dans les cristaux de quartz pour ceux d'entre eux déjà trop rigides. Plus tard le quartz aurait perdu enfin toute sa mollesse. Dans le cas du porphyre quarzifère, les molécules siliceuses ont pu se grouper par

affinité, environ comme celles des silex dans la craie , ou des boules siliceuses de certaines résinites (Planitz), parce que la masse était encore pâteuse; de là seraient résultées aussi les formes dodécaèdres bipyramidales, vu la pression éprouvée de tous les côtés par les cristaux et l'absence de cette forme dans les druses, où, par contre, se trouve surtout la forme prismée. Cette dernière est aussi celle la plus ordinaire dans les granites, parce que l'effet de la cristallisation contemporaine a dû être de tendre à allonger les cristaux pour ceux qui s'y prêtaient. Ce qui confirme encore l'origine du quartz des porphyres, c'est le cas semblable des grenats, et surtout, dans des roches feldspathiques, certains embryons de cristaux de mica et d'amphiboles dont les molécules n'ont pu parvenir à se réunir complètement vu l'intervention de la matière feldspathique, environ comme les embryons des macles dans les schistes fossilifères au premier degré du métamorphisme. L'intervention possible de vapeurs siliceuses doit être surtout réservée pour certains cas rares de quartz dans des cavités de laves ou de trachytes.

D'une autre part, le quartz résinite est un dépôt d'eaux thermales, qui ont dû abonder encore davantage autrefois, vu le refroidissement moins avancé de la croûte terrestre. L'hyalite est une incrustation de vapeurs aqueuses chaudes, qui tiennent en dissolution de la silice au moyen de leur température et de leur alcali. L'Islande et les Açores sont là pour prouver ces origines, comme elles démontrent aussi que la calcédoine et l'agate ne sont que des produits d'infiltrations aqueuses sous une certaine température; témoin aussi la calcédoine en stalactites dans les calcaires secondaires et même dans du calcaire d'eau douce, ainsi que la calcédoine sur du bitume. Cette espèce se trouve aussi dans quelques amas de fer oxydulé des schistes cristallins. On peut faire les deux suppositions suivantes: elle aurait tiré son origine de l'infiltration d'eaux ordinaires à travers ces roches, où elle aurait acquis une certaine température et dissous de la silice, ou bien ce serait un dépôt de vapeurs siliceuses, et cette dernière hypothèse serait étayée par la coexistence du datolite.

Quant à certaines roches et surtout certains filons de quartz, s'il est bien prouvé que ce ne sont pas des grès métamorphosés, on y peut voir des érucations ignées, tout en admettant que des vapeurs ou eaux thermales silicifères ont contribué principalement au remplissage de beaucoup d'autres filons de quartz.

Enfin, il y a la classe des produits siliceux, qui sont composés en plus ou moins grande partie de carapaces siliceuses d'infusoires. Ce sont les farines fossiles, les silex pyromaque et corné, les ménilites, certains jaspes, certains tripolis, certains schistes siliceux, les meulières et la silice pulvérulente. Néanmoins, la présence des infusoires n'exclut pas l'intervention des eaux thermales silicifères; au contraire, ces deux causes d'amoncellement de silice sont dans un rapport mutuel et ne sont que le complément l'une de l'autre. Le gîte des silex comme

des autres matières siliceuses nodulaires démontre un pelotement des particules siliceuses par attraction moléculaire au milieu d'une vase, comme l'a bien illustré M. Virlet; celui des meulière dénote une pénétration abondante d'eaux siliceuses dans des argiles, des sables ou des limons calcaires. A la différence près de la matière, la chaux carbonatée nous offre encore aujourd'hui les mêmes opérations dans nos alluvions, et les silex calcaires n'y manquent pas plus que dans le loess. — Les silices pulvérulentes non dérivées d'insuoires peuvent être des précipités aqueux (Saint-Ouen), ou même des vapeurs aqueuses comme dans certaines dolomies, ou bien être liées à des opérations de décomposition ou d'épigénie. Des particules siliceuses peuvent être mises en évidence par la destruction de la pâte qui les enveloppait; par exemple, de l'eau acidule peut détruire une enveloppe calcaire, ou bien l'acide carbonique de l'air et l'eau décomposent des minéraux et rendent libre leur silice, comme M. Fuchs a prouvé, dès 1823, que c'était le cas pour le quartz résinite résultant du changement d'une roche feldspathique à paranthine (son porcellanspath) en kaolin (1).

Les *zéolithes* sont propres aux dépôts volcaniques anciens et modernes, qui ont eu lieu dans toutes les zones et toujours dans des îles ou sur le bord des Océans ou de mers intérieures actuellement écoulées. Ainsi, l'Islande, les îles Feroe, les Hébrides, le nord de l'Islande, les environs de la Clyde en Écosse, les Açores, le Vicentin, la Nouvelle-Écosse et le Groenland occidental, sont les contrées basaltiques ou trappéennes les plus riches en zéolithes, tandis qu'on en trouve moins dans des pays plus éloignés de la mer, comme dans le Tyrol méridional, en Bohême, en Auvergne, au Chili ou dans l'Indostan central. — Outre le gîte précédent, un petit nombre de zéolithes s'offrent en moindre quantité dans les amas de fer oxydulé et dans certains filons de fer, de plomb, d'argent et de cuivre. Ce sont l'apophyllite, la stilbite, l'harmotome, la laumonite, l'analcime, la préhnite, l'édelforsite et la seule espèce à acide borique, la datolite.

La voie ignée ou la voie aqueuse peut avoir formé ces minéraux. Ainsi on a trouvé dans des blocs de lave rejetés du Vésuve de l'analcime, de l'harmotome, de la thomsonite et du phillipsite; j'ai vu quelques zéolithes dans des druses de trachytes au col de Cabre (2); on a cité du stilbite dans du granite et divers zéolithes dans le fer oxydulé des gneiss. Tous ces cas appartiennent-ils au premier genre d'origine? Loin de vouloir l'assurer, je trouve en général les preuves et raisonnements pour cette origine bien moins convaincants que les faits démontrant la formation aqueuse d'au moins beaucoup de zéolithes. D'abord la forme stalactiforme de plusieurs espèces n'a son pendant que dans le carbonate de chaux, comme les plaques mamelonnées de préhnite ne se retrouvent que dans les calcédoines, les malachites et les hématites. Les formes des agates se rever-

(1) Voyez *Denkschrift der Munchner Ak. der Wiss.*, vol. 7, p. 65.

(2) Voyez *Journ. de géolog.*, v. I, p. 382.

raient même dans les zéolithes, s'encroûtant mutuellement, si leur composition moins simple eût permis une juxtaposition aussi complète que dans les agates. De plus, il y a des trapps et des basaltes si remplis de druses et de petits filons de chabasie et de mésotype que leur masse l'emporte sur celle de la roche contenant. D'ailleurs, la postériorité du dépôt zéolithique est rendue évidente par la chabasie remplissant les vides laissés entre des cristaux d'amphibole et la pâte basaltique, donc l'amphibole était complètement cristallisé avant l'arrivée de la chabasie. J'ai vu des zéolithes se prolonger des basaltes dans des fissures de la craie d'Irlande. On a vu des apophyllites dans des coquillages pétrifiés et non altérés. Cette espèce et la mésotype existent dans le calcaire d'eau douce et même dans les tubes d'indusies, en Auvergne. M. Karsten a vu se former des zéolithes en incrustations sur du bois dans les mines de Freiberg. Ces minéraux sont donc bien des dépôts aqueux dans des vacuoles et des fentes de roches ignées, surtout submergées, ou bien dans des crevasses stériles ou métallifères. D'après l'Islande, il paraît évident que des sources considérables d'eaux thermales alcalines et silicifères ont facilité ce dépôt, qui a acquis une si grande variété par les substances élémentaires dont l'infiltration ou les vapeurs aqueuses ont pu s'emparer à leur passage à travers les roches.

Le groupe des *minéraux hydratés* est éminemment une réunion de minéraux formés par des infiltrations aqueuses dans des fentes ou même, pour un ou deux, dans des vacuoles de roches (chlorophéite). Les espèces très magnésiennes sont liées à la serpentine. Le kaolin est une altération chimique du feldspath ou plutôt de divers feldspaths, une pseudomorphose, qui peut avoir eu lieu suivant les localités à des époques fort diverses, qui se continue çà et là et se présente dans plusieurs roches, telles que les pegmatites, certains gneiss, certains porphyres et trapps. Dans certains cas des vapeurs acides y paraissent avoir contribué; dans les autres, l'acide carbonique de l'air et l'eau en sont les causes premières. L'écume de mer n'existe qu'en Anatolie, Livadie, Espagne, Moravie et Portugal; les autres espèces n'ont pas une distribution assez particulière. Ainsi, si on ne recherchait pour les arts que le kaolin le plus pur, il y en aurait partout où existent les roches qui le fournissent.

Les *minéraux argileux* sont de plusieurs genres. L'aluminite n'est qu'une pseudomorphose de pyrites, la stéatite une métamorphose de minéraux magnésiens, feldspathiques, micacés, quartzueux ou même de gemmes. La lithomarge, la cimolite, les bols sont des altérations de roches feldspathiques de divers âges ou d'aggrégats fins ignés de cette nature, ou bien des pseudomorphoses. La terre jaune est une argile ocreuse, et les terres vertes sont tantôt de véritables composés particuliers, savoir des silicates de fer, tantôt de simples parties triturées et altérées de roches serpentineuses.

La classe des *matières inflammables* est surtout des régions tempérées du globe et bien moins des autres zones, autant que nous sachions. Les *houillères*

ne se trouvent que dans les pays suivants, savoir : les Iles britanniques, la Belgique, la France, l'Allemagne centrale, le Bannat, le sud de l'Espagne, la Russie méridionale, la Chine septentrionale, l'Indostan au sud du Gange, le Mazuderan (1), la Perse, le sud-est de l'Australie, la Nouvelle-Zélande, le Chili, l'Uruguay, la Nouvelle-Grenade, la Pensylvanie et les États environnants, la Nouvelle-Écosse, et peut-être l'Amérique arctique insulaire. Si véritablement la Russie était peu riche en houilles, malgré l'étendue énorme de son terrain carbonifère, il y aurait peu d'espoir pour le vaste territoire semblable et silurien de la Sibérie. L'Afrique n'a point offert encore de véritable houille, cependant, ne devrait-on pas en soupçonner au moins vers son extrémité méridionale, ou que les terrains primaires y abondent. D'un autre côté, l'exemple du Brésil, de la Guyane et du Mexique même est peu rassurant, puisque ces pays n'ont pas de houille ancienne malgré leurs dépôts cristallins et primaires (intermédiaires des auteurs). Il est digne de remarque d'observer des roches à diamants dans les grandes contrées où il manque de houille, comme au Brésil, au Mexique, dans le centre de l'Indostan et à Bornéo.

Quant aux *Anthracites*, elles sont encore moins fréquentes que les houilles, parce que leur formation a demandé probablement des circonstances particulières de chaleur souterraine. Ainsi, si on en trouve de très petites quantités dans tous les pays où s'est déposé le terrain ancien fossilifère, les seules contrées riches en ce genre sont les houillères de Pensylvanie, les Alpes françaises occidentales, quelques points de l'Allemagne, du pays de Galles, de la Bretagne, de l'Espagne et de la Toscane.

Le *Graphite* est disséminé en petites quantités dans bien des cantons différents du globe et dans plusieurs roches ou même dans des filons, mais ses amas exploitables sont restreints à quelques districts peu nombreux, comme par exemple les gneiss des environs de Passau, certains points semblables des Pyrénées, d'Espagne, du Portugal, de la Calabre, de la Chine et des États-Unis, le voisinage de roches porphyriques du Cumberland et de l'Écosse méridionale, etc. Comme l'anthracite, ce minéral paraît assez souvent une simple modification d'un résidu végétal de l'ancien monde au moyen de la chaleur souterraine du métamorphisme ou uniquement par le contact de roches ignées, comme dans les Iles britanniques et dans le trapp d'Islande. Cette explication n'exclut pas, du reste, sa formation immédiate par sublimation ou par l'hydrogène carburé, comme cela a lieu dans les hauts-fourneaux. D'ailleurs, on en a vu même dans les aérolithes, les siénites et les granites; ce dernier gîte est d'origine douteuse. Cette hypothèse serait surtout applicable à la production de certains graphites de filons, à ceux des roches ferrifères du

(1) M. Voskoboinikoff, chargé par le gouvernement russe de visiter le Mazuderan, y a reconnu le terrain silurien par ses fossiles, comme M. Abich dans la vallée de l'Aras en Arménie, et, de plus, le terrain carbonifère avec des houilles. (*Commun. du comte Keiserling.*)

gneiss ou même des calcaires grenus ; mais , dans ces derniers cas , l'anhracite s'y associant aussi quelquefois , on se trouve fort embarrassé pour tracer la limite entre ces divers modes d'origine ; d'autant plus que toutes les observations optiques , microscopiques , chimiques et cristallographiques s'accordent pour ne voir dans le diamant qu'un produit végétal carbonisé et cristallisé. De plus l'idrialine même a l'air d'être provenue de matières végétales, vu le voisinage à Idria de semblables restes intacts.

Les *Lignites* abondent bien plus que les houilles , mais sans former dans un même bassin des lits ni si nombreux, ni si continus que ces dernières. Ils seraient de toutes les zones, si on pouvait placer dans cette division le *Suturbrand* alluvial du nord , ainsi que les bois flottés de ses rivages glacés. Les zones tempérées en posséderaient le plus d'après nos données du jour ; mais , vu l'enfouissement énorme et incessant de matières végétales entre les tropiques , les alluvions de ces contrées doivent recéler encore plus de lignites modernes. Toute la différence entre les houilles et les lignites paraît dépendre de trois circonstances ; savoir : des matières végétales particulières à chacun de ces dépôts , du mode de leur ensevelissement et tassement, ainsi que des modifications d'un travail intérieur postérieur, action chimique, qui a été aidée différemment par la chaleur de la terre, diverse à ces deux époques et pendant un espace de temps plus ou moins long.

Les *Résines* , étant liées intimement à la formation des houilles et des lignites, varient suivant leurs combustibles concomitants ; elles suivent leur distribution et achèvent de mettre le cachet à l'origine végétale de tous ces produits si utiles à l'humanité. Ainsi, si le middlétonite est dans les houillères anciennes, l'ambre et le mellite n'ont été vus que dans les lignites tertiaires , et la plupart des autres résines énumérées ont le même gisement ou sont crétacées.

Quant aux *bitumes* , *cires* et *naphtes* , ces dernières huiles ne sont que des distillations de lignite ou de houille par la chaleur souterraine, ou des composés de gaz souterrains , tandis que les cires ne paraissent être que ces huiles dans un état concret. Les bitumes sont ou des produits d'émanations gazeuses des volcans ou très souvent des résultats de distillation des houilles par la chaleur souterraine, ce qui expliquerait d'une manière ou d'une autre , suivant les cas , le contenu bitumeux de tant de roches secondaires et primaires , lorsqu'on ne peut pas le faire dériver plausiblement toujours de matières végétales et animales , comme dans les Alpes par exemple. Le caoutchouc minéral ne serait qu'une condensation de bitume des houilles ou des roches volatilisé par la chaleur des trapps, pour ainsi dire dans un vaisseau clos et peut-être sous une certaine pression.

Saisissant d'un coup d'œil la distribution des combustibles , on ne peut s'empêcher de trouver fort juste la remarque que leur géographie et géologie cadrent tout à fait avec le siège de l'intelligence, de l'industrie et de la haute civilisation. La zone tropicale ou les glaces polaires ne seront jamais le berceau des maîtres du monde ; mais les zones tempérées et la région tropicale élevée et froide ont été

de toute éternité et seront toujours la demeure des guides de l'humanité. Dans les zones des extrêmes de température, ces présents de la nature auraient été sans but, et les hommes ne s'y seraient même jamais donné la peine de les arracher au sein bienfaisant de cette mère du genre humain. D'une autre part, n'est-il pas frappant de trouver que la zone tropicale se rapproche beaucoup de la nature des zones polaires par l'abondance de certains minéraux et des roches des groupes feldspathiques, amphiboliques, pyroxéniques, micacés et ferrifères. L'analogie doit même faire soupçonner dans les schistes cristallins et les roches granitoïdes des tropiques, une riche moisson de minéraux rares, que nous ne connaissons encore qu'en partie. Ces minéraux, composés surtout des quatre terres principales; savoir : la silice, l'alumine, la magnésie et la chaux, avec quelque alcali ou métal, y présenteront, s'ils ne sont pas nouveaux, au moins des variétés particulières, comme dans le nord. Nous en avons déjà des exemples dans le spinelle rouge de l'Indostan et l'indianite du Pégu.

Passons maintenant aux *Roches*. Parmi celles qui sont stratifiées et d'origine aqueuse il n'y a guère que les suivantes qui n'existent pas partout lorsque les terrains qui leur sont propres y existent. Ce sont d'abord les roches à infusoires; savoir : la farine et le papier fossile, le dusodile et certaines roches tripoliennes, puis les silex pyromaque et ménilite, le quartz résinite et les meulières, les schistes siliceux avec la lydienne et les novaculites, enfin les arkoses, les schistes alumineux, les ampélites, les calcaires et dolomies bitumineuses, les calcaires siliceux à aiguiser et les calcaires lithographiques.

Vu les rapports entre la température et le nombre des êtres ou leur développement, les roches à infusoires doivent être plus nombreuses entre les tropiques que partout ailleurs, et il doit y en avoir plus dans les zones tempérées que vers les pôles. Le dusodile, ou schiste bitumineux à infusoires, n'a été vu jusqu'ici surtout que dans les régions tempérées, tandis que la farine fossile est de toutes les zones et y a servi de nourriture temporaire.

Le *Silex pyromaque* caractérise plutôt la craie de la partie septentrionale de notre zone que celle plus au sud, qui comprend des portions des trois parties de l'ancien monde et où domine davantage le quartz calcédonien, et où les silex sont plutôt en lits qu'en rognons. Dans le système alpin de la craie, le silex corné remplace le plus souvent le silex pyromaque, et silicifie çà et là des amas calcaires et arénacés. Les ménilites abondent surtout dans les bassins tertiaires de Paris, de Moravie et çà et là en Hongrie. La France septentrionale et sud-ouest est riche en meulières, qui manque presque au reste de l'Europe, à l'exception de quelques variétés bosniaques; mais les meulières des sables de Paris l'emportent sur celles du calcaire d'eau douce du sud. Les *novaculites* sont dans les schistes le pendant des pierres lithographiques dans les calcaires : la finesse et l'uniformité du grain ainsi que la dureté égale produite par la dissémination bien uniforme des particules siliceuses, telles sont les qualités requises; ce qui rend compte de

la rareté des gîtes exploités de ce genre. Les *Calcaires siliceux à aiguiser* sont à peu près dans le même cas ; légèrement sableux, ils exigent une texture à feuillets épais, qui se rencontre particulièrement dans certaines couches supra-jurassiques des Alpes bavaroises.

Les *Schistes alumineux*, à cause de leurs pyrites disséminées et qui se décomposent, sont bien plus fréquents que les *Ampélites* ou schistes argileux carburés ; ces roches sont de toutes les zones. Quant aux *Arkoses*, elles ne sont qu'une arène résultant de la décomposition des roches granitoïdes, ou un grès désagrégé retravaillé par des eaux minérales et des vapeurs acides ; c'est ce qui rend leur distribution si intéressante et leur distinction si nécessaire comme roche existante en couches et filons. On comprend dès lors leur liaison intime avec les granites, leur pâte plus ou moins siliceuse et leurs minéraux et minerais disséminés, tels que la barytine, le fluorine, etc., des minerais de fer, de plomb, de cuivre, etc.

Parmi les *Roches ignées* il y en a plusieurs qui n'ont pas une distribution générale, ce qui est surtout le cas pour celles qui sont éruptives. D'abord les roches pseudo-volcaniques provenant de l'embrasement de lignites ou de houillères ne se trouvent que dans les régions déjà désignées de ces combustibles. Les pseudo-volcans les plus nombreux des houillères sont en Écosse, en Angleterre, en France, dans le palatinat du Rhin (Duttweiler), en Saxe (Planitz), dans le Missouri, au Chili, dans l'Australie méridionale, dans l'Asie centrale, où ils ont trompé longtemps les géologues par le commerce de sels ammoniacaux auquel ils donnent lieu (1). Les pseudo-volcans de lignites sont bien moins intéressants ; on peut en voir dans la Hesse électorale, à Héring en Tyrol, près d'OEdenburg en Hongrie, dans la Petite-Valachie et en Mésopotamie (2). Dans le Mittelgebirge en Bohême, ils ont produit de vastes dépôts de grès modifiés et de porcellanites. Les plus rares pseudo-volcans sont ceux provenant de l'inflammation des schistes carburés primaires, comme à Poligny, en Bretagne et près de Réval (3), ou de roches bitumineuses du lias, comme près de Hildesheim (4). La décomposition des pyrites par l'air et l'eau et peut-être rarement l'électricité atmosphérique, sont les causes uniques de ces accidents.

Les *Salses* sont un autre accident rare de quelques districts de la terre situés seulement dans la zone tempérée ou entre les tropiques, savoir dans le nord des Apennins, en Sicile, en Transylvanie, en Murcie, à Taman, à Bakou, dans l'Arracan, à Java, dans une île près de Timor, à la Nouvelle-Grenade et dans l'île de la Trinité. Il y faut lier ces étangs de poix minérale qui existent dans le Texas et à la Trinité ; néanmoins il y a une foule d'endroits de la terre où il existe des sources

(1) Voyez *Archiv. fur wiss. kunde Russlands*, par Erman, 1842, p. 708.

(2) Voyez Ainsworth, *Reis. in Assyria*, 1838, p. 242.

(3) Voyez Severgin, *Tasch. f. min. de Leonhard*, 1809, p. 242.

(4) Voyez Roemer, *N. Jahrb. f. min.*, 1843, p. 332

de pétrole sans salses ni asphalte, et les salses n'offrent guère des masses de ce dernier minéral, mais bien plutôt du naphte. D'après la distribution géographique et géologique des salses et des sources de pétrole sans salses, il est assez évident que ces dernières ne sont qu'un produit de distillation des houilles par suite de la chaleur souterraine, comme en Écosse, etc.; tandis que les salses sont un accident de lignites tertiaires ou crétacés: ce qui n'exclut pas du reste la possibilité que certaines sources de pétrole et même peut-être l'huile de certaines salses puissent dériver de la combinaison de gaz développés dans l'intérieur du globe. La température basse de tous ces phénomènes semble peu favorable à leur liaison avec le volcanisme, et n'oublions pas que si nous trouvons du bitume dans les volcans, leurs cheminées doivent traverser le plus souvent des roches plus ou moins bitumineuses. Le voisinage de certaines salses et de volcans actifs serait significatif si ce phénomène se faisait jour à travers toute sorte de terrains; mais restreint au sol tertiaire, une dépendance particulière se fait en conséquence sentir, qui l'éloigne et non le rapproche des volcans. Sous ce rapport, la salse en miniature nommée le *marais d'enfer* à Kavassna en Transylvanie, est fort instructif (1). La persistance de certaines sources de pétrole, et leur quantité régulière depuis quelque mille ans ne sont pas des raisons sans réplique pour le volcanisme, car des terrains récents peuvent cacher dans ces lieux des trésors immenses de houille. D'ailleurs, personne n'a encore pu lier les éruptions de temps en temps plus considérables des salses avec celles des volcans, même lorsqu'il y en a dans leur voisinage, tandis qu'on ne voit pas comment le plutonisme prétendu des salses expliquerait la concomitance des sources de pétrole et des dépôts de combustibles. D'après notre manière de voir, on s'expliquerait ainsi assez bien, par l'effet puissant de gaz accumulés sous terre, certains tremblements de terre et des détonations circonscrites dans certaines limites comme autour de l'Adriatique, à Murcie, etc.; tandis que descauses plus profondes et plus générales en produiront d'autres d'une étendue bien plus considérable.

Les roches proprement volcaniques, les *Trachytes* ordinaires et surtout leurs espèces *vitreuses* et ponceuses, sont connues jusqu'ici plutôt dans les zones tempérées et tropicales que vers les pôles. Dans ces dernières contrées, la quantité de ces matières en Islande et dans quelques îles australes remplace en partie leur peu de fréquence, car l'Islande est avec les districts trappéens de l'Indostan le plus grand espace terrestre, qui soit uniquement volcanique. Parmi les roches vitreuses l'*obsidienne* chatoyante n'existe qu'au Mexique, et la variété verte en petits morceaux dans les alluvions du nord de la Bohême. Les plus grands dépôts d'*obsidienne* sont en Islande, aux Canaries, dans les îles Ponces, en Arménie, au Kamtschatka, aux îles Sandwich et de la Sonde, ainsi que dans les Andes. Les *Perlites* n'ont été vues que dans certains pays volcaniques, comme dans les îles

(1) Voyez Wimmer, *Annal. de Berghaus*, 1836, vol. II, p. 252.

italiques et océaniques, dans les Euganéens, en Espagne, en Hongrie, au Kamtschatka, au Pérou, au Mexique, et dans l'Orégon; tandis que les *Rétinites* sont un accident local de certains points de l'Islande, de l'Écosse, du nord de l'Irlande, de la Saxe-Royale, de la France, de l'Espagne basque, de l'Italie, de la Hongrie, de l'île de Ceylan, du Mexique, de la Colombie et du Pérou. Le rétinite perlitique existe surtout dans les îles occidentales de l'Écosse et l'Irlande. Si les Ponces accompagnent les obsidiennes, elles se trouvent souvent sans elles, et sont ainsi dans beaucoup plus de localités dans les environs des volcans brûlants comme des volcans éteints.

Les *Basaltes* abondent surtout dans les îles ignées et se montrent dans toutes les zones, en offrant la particularité de n'exister dans aucune haute chaîne du globe. En vertu d'une espèce d'antagonisme entre la sortie de ces roches pyroxéniques et l'exhaussement considérable de la surface terrestre, le basalte ne se montre qu'à distance de ces trappes ouvertes ou tout au plus au pied des chaînes. Si des roches ignées existent dans une chaîne élevée, ce ne seront que des trachytes ou des roches très feldspathiques, comme on le voit fréquemment dans les cordillères des Andes du Mexique et de l'Arménie. Si on voulait objecter que le porphyre pyroxénique n'est qu'une variété de basalte, et qu'il remonte assez loin dans les Alpes méridionales du Tyrol, je répondrais qu'il ne s'y trouve qu'au milieu de roches secondaires, à des niveaux comparativement peu élevés, le plus souvent dans le fond de grandes crevasses, et d'ailleurs je crois devoir le séparer comme dépôt d'un âge différent d'avec le basalte.

Les *Diorites* sont de tous les pays, mais ceux du nord paraîtraient principalement d'un âge assez ancien, tandis que ceux d'une époque récente manqueraient dans le nord et sont fréquents dans le sud de l'Europe. A mon avis, il y a des raisons minéralogiques et géologiques pour les lier aux porphyres siénitiques ou métallifères, qui caractérisent le terrain métamorphique des pays magyares, turques, géorgiens, persans (1) et mexicains. Jusqu'ici la presque totalité des géologues de l'Europe occidentale les ont méconnus et confondus avec les trachytes, parce que ce sont les éruptions porphyriques qui s'en rapprochent le plus par leurs produits et par l'âge de leur apparition.

Le *Kersanton* est une roche caractéristique de la France armoricaine, et le *Pyroxène* en roche un accident des diorites des Pyrénées et de l'île d'Elbe. Les *Euphotides*, les *Serpentines* et les *Variolites* semblent abonder surtout dans certaines contrées, où dominent les terrains secondaires récents, comme dans toute la zone méditerranéenne. Quand on lie ensemble toutes les masses semblables des Alpes, des Apennins et de la Turquie d'Europe, on serait tenté de comparer aux

(1) Si M. Voskoboinikoff a trouvé du terrain primaire au sud de la mer Caspienne, la chaîne du Demavend, d'après M. Kotschi, est composée surtout des terrains arénacés, crétacés, alpins, de la Transylvanie, avec les mêmes porphyres métallifères et des trachites, et la solfatare du Demavend.

coulées des volcans les culots et filons de ce genre en Turquie et en Italie, tandis que les autres amas à cheval sur les Hautes-Alpes et les Apennins de la Ligurie font l'effet du pourtour d'un immense cratère, qui est ouvert à l'est pour laisser échapper le Pô et ses affluents. Les serpentines du nord, bien plus rares, ne sont que des accidents métamorphiques du leptinite (1), des gneiss ou même du calcaire grenu, à l'exception de celles dans le terrain primaire, qui sont liées aux trapps. Le *Diallage en roche* n'a été vu jusqu'ici qu'en Haute-Albanie. Les *Variolites* sont les perlites des roches feldspathiques magnésiennes, et forment quelquefois les salbandes des serpentines (2). Les *Porphyres* et les *Trapps* secondaires sont en un rapport évident de voisinage et de formation avec les houillères anciennes et les grès rouges anciens. Leur distribution montre que la zone tempérée boréale et même certains points de la même zone australe ont été à cette époque le théâtre de phénomènes ignés, dont la grandeur ne se retrouve plus qu'entre les tropiques et qui ne se sont pas étendues aux zones glaciales. Les porphyres micacés (3), quartzifères et mélaphyres caractérisent trois périodes éruptives, dont les trachytes nous offrent les analogues. La *Minette* des bords du Rhin n'est qu'une variété du porphyre micacé. L'*Elvan* est une autre variété du Cornouailles et de la Vendée, où il est en filons dans le terrain primaire. Le *Norite* est un mélange de feldspath et de quartz, surtout particulier à la Norvège, quoiqu'on le revoie aussi ailleurs (Écosse). Les Iles Britanniques et la Nouvelle-Écosse sont remarquables pour les trapps secondaires.

Les *Schaalsteins* et le *Trapp variolaire* avec leurs minerais de fer en salbandes sont des formes particulières de la manifestation du trapp au milieu des roches primaires. Ce sont aussi bien des portions d'éruption intercalées entre les schistes, que des effets de métamorphisme, d'imbibition et de sublimation. Les bords du Rhin, la Hesse, le Fichtelgebirge, la Styrie, le Cumberland, l'Espagne, etc., sont les contrées qui offrent principalement ces accidents, lesquels manquent dans le reste du nord et dans l'est de l'Europe si riche en terrains siluriens.

Si la *Siénite* est de toutes les zones et de presque tous les pays, la siénite hypersénitique est une roche assez rare, puisqu'on ne la connaît en grandes masses que dans le pays de Labrador, dans l'Oural, le nord de l'Écosse, au Harz, dans la Valteline, etc. La siénite zirconiennne, avec tous ses intéressants minéraux au nombre de plus de vingt, n'a été vue que dans le midi de la Norvège; ce qui indique dans ces lieux une assez grande quantité de zircon sous la croûte terrestre, comparativement au moins à d'autres pays.

Les *Protogines* massives ou schisteuses paraissent propres à de certaines chaînes

(1) Voyez Fallou et Muller, *Mitheil. a. d. Osterland. Naturf. Ges. zu Altenburg*, 1842, vol. 5, p. 219. Serpentine produite par l'effet de sublimations chloritiques.

(2) Voyez la théorie de M. Fournet, *Ann. sc. phys.*, etc., de Lyon, vol. 1, p. 151.

(3) M. Cotta a bien démontré l'importance de la distinction du porphyre micacé, que j'avais sentie dès 1820 (voyez mon *Essai sur l'Écosse*).

soulevées récemment, comme celles du Mont-Blanc, du Schar, du Peristeri et des environs de Castoria en Turquie. Quelquefois ces roches ont bien une apparence éruptive, comme à Castoria, tandis qu'ailleurs ils se caractérisent plutôt comme produits métamorphiques, comme au Schar.

Les *Granites* abondent dans la zone tropicale, sans manquer pour cela dans les autres, mais ils semblent préférer les basses montagnes (Oural), et sont rares dans les chaînes élevées, comme en Scandinavie, dans les Alpes, les Andes, etc. Le granite à pinite, la pegmatite ou le granite à albite, celui à oligoclase (1) et celui à Triphane paraissent autant de variétés qu'il est utile de distinguer pour arriver à quelque classement sur la géogénie de ces roches. De cette manière et par l'étude des filons, on est parvenu à en distinguer trois ou quatre éruptions différentes dans une même localité comme à Heidelberg (2), en Saxe, etc.

Les *Gneiss* se présentent dans tous les grands systèmes de schistes cristallins, mais ils n'ont pas pourtant la même structure et position. Ainsi il y a une différence géogénique à établir entre des gneiss en feuillets horizontaux ou peu inclinés, comme ceux du Bœhmerwaldgebirge méridional, et ces séries de schistes redressés ou même ondulés et plissés du nord; mais les gneiss les plus extraordinaires sont ceux en éventail, qui paraissent propres aux Alpes, et ne sont pas si aisés à comprendre que ceux en manteau irrégulier autour d'un massif granitique. Cependant, une fois qu'on admet leur métamorphisme, cette stratification rayonnée de bas en haut n'étonne pas autant. En effet, la métamorphose a été complète dans les Alpes, car il ne s'y est pas seulement formé des schistes cristallins de toute espèce, mais encore des protogines, des leptinites comme des talcschistes, des pierres ollaires, des serpentines, des calcaires phylladifères, des calcaires grenus ou cypolins, des dolomies et des gypses. Il y a eu imbibition de matières étrangères comme dans une éponge, en même temps que toute la masse était chauffée et ses éléments moléculaires écartés par le calorique, de telle manière que çà et là il y a eu même une fusion granitoïde qui ne se distingue plus d'une injection semblable; de là est résulté son passage insensible au gneiss ou à la protogine schisteuse. Or, pour pouvoir subir ces changements, il fallait nécessairement occuper plus de place; donc quelle position devaient prendre des couches schisteuses redressées, ayant conservé tant bien que mal leur structure feuilletée? La stratification en éventail était la seule possible, et naturellement, en repoussant et recouvrant les dépôts adjacents plus récents, nos schistes ont dû entourer partiellement des portions angulaires de ces derniers. Voilà tout ce qu'on voit dans les Alpes. Quant au non-parallélisme des feuillets des schistes cristallins avec leur division en couches, accident occasionnel que j'ai déjà signalé (*Bullet.* 1846,

(1) Voyez Gust. Rose, sur le Riesengebirge, *Ann. phys. Pogg.*, 1842, vol. 56, p. 617.

(2) Voyez A. Léonhard, *Bull. soc. géol.*, A. S., vol. 3, p. 214; et Gust. Léonhard, *Geologie der Umgeg.*, v. Heidelberg, 1844.

V, 3, p. 141), cela peut provenir d'un arrangement moléculaire particulier du mica par quelque action métamorphique, et, dans d'autres cas, d'une séparation en couches opérée postérieurement par l'effet de la chaleur souterraine ou du contact avec des roches éruptives.

Le *Leptinite*, roche ultra-métamorphique, existe surtout avec tous ses caractères dans la Saxe royale, la Basse-Autriche, la Moravie et la Styrie. Mon opinion à l'égard de sa formation n'exclut pas son gîte peut-être quelquefois éruptif, comme M. Cotta l'a figuré pour celui de la Saxe royale (1).

Le *Greisen* ou Hyalomictite est une métamorphose intéressante de grès secondaires divers en Saxe et en Ligurie; la roche isolée de *Topaze*, à Auerbach, en Saxe, est un accident métamorphique local, qui est particulier par sa forme bréchoïde et caverneuse, par ses fragments de gneiss et par la quantité d'acide fluorique qu'il a exigé. Il est lié probablement au dépôt stannifère de certains porphyres de l'Erzgebirge.

Le *Grenat en roche*, l'*Idocrase en roche* et l'*Eclogite* sont des cas extrêmes de métamorphisme d'imbibition, qui se présentent dans les schistes cristallins du nord de l'Allemagne, du Tyrol et de la France. Le *Disthène en roche* est un produit analogue de l'Archipel grec. Il en est de même de la *roche d'Émeri*, qui ne se trouve qu'à Naxos, en Asie mineure, en Livadie, en Saxe, dans le royaume de Grenade et dans l'Oural.

La *roche de Schorl* est un accident bien plus fréquent, et n'est qu'un effet du métamorphisme de contact des schistes primaires avec des roches granitoïdes, en Saxe royale, au Harz, dans le Cornouailles, dans la Bretagne, etc. La *Macline*, l'*Epidosite* et la *Couzeranite en roche* sont des accidents analogues dans des roches primaires ou secondaires, comme en Allemagne, en Cumberland, en Toscane et aux Pyrénées. La *Chamoisite* n'est positivement qu'une roche secondaire fossilifère et ferrifère altérée (Valais); mais les *Itabirites* paraissent tantôt éruptifs, tantôt métamorphiques. Dans ce dernier cas sont surtout certaines roches quartzotriqueuses, où le fer oligiste occupe la place du mica par un effet de sublimation, comme on s'en assure dans certains granites.

Considérations sur les variétés des minéraux.

Si nous considérons les espèces minérales individuelles dans leurs variétés, nous reconnaissons bientôt que plus une espèce est abondante, et surtout plus elle se trouve dans différentes zones, sous divers climats et dans plusieurs terrains, plus elle offre de variétés intéressantes pour le géologue. Or, c'est ce qu'on devait trouver, puisque la formation de ces espèces a dû être soumise à l'influence d'une plus grande variété de milieux. Expliquons-nous par des exemples.

(1) Voyez Cotta, sa *Géologie*, 1846, p. 277.

Le *carbonate de chaux* est un composé très répandu. Nous avons déjà dit que des accidents de température le divisaient en deux espèces bien distinctes par la forme cristallographique; mais comme il n'existe aucun grand dépôt d'arragonite, excepté des stalactites, ce cas particulier de cristallisation n'a donc jamais pu s'effectuer sur une grande échelle. De plus, en vertu de ses gîtes très variés et de ses propriétés, le carbonate de chaux a pu s'unir à plusieurs autres corps ou composés, ou même seulement se mélanger avec eux. Ainsi on le trouve uni au carbonate de magnésie, de fer et de manganèse, et moins souvent à celui de baryte et de strontiane. Le gîte du spath magnésien a dû être préférablement dans les roches talqueuses et les dolomies, dernière roche qui, en vertu de son origine la plus probable, traverse toute la série des terrains, depuis le sol primaire jusqu'au calcaire d'eau douce. De nombreux passages s'établissent entre le carbonate de chaux et la dolomie au moyen des calcaires magnésiens, dans lesquels les chimistes ont reconnu différentes quantités de magnésie et de carbonate de magnésie. Il en est de même du carbonate de fer vis-à-vis du carbonate de chaux. Enfin, ce dernier se mélange avec plusieurs roches arénacées et schisteuses.

La série des *Quartz* est extrêmement nombreuse dans ses variétés cristallisées comme dans ses formes amorphes, parce que c'est un minéral qu'on rencontre en tout lieu et presque en tout dépôt. Aussi, que de circonstances variées chimiques a-t-il fallu pour modifier le quartz hyalin en quartz hyalin enfumé, laiteux, bleu, rose, ferrugineux rouge ou jaune, améthyste et aventurine, en quartz verdi par de la chlorite ou rendu chatoyant par l'asbeste, etc. D'un autre côté, des dépôts moins cristallins ont produit la calcédoine, l'opale, le jaspé, le silex résinite corné et pyromaque, la meulière, ainsi que les sous-variétés des agathes, héliotropes, chrysoprases, prases, etc. Il est intéressant de voir chacune de ces variétés liée à des roches particulières. Ainsi les druses de quartz hyalin gigantesque sont dans les roches granitoïdes et schisteuses cristallines, les petits cristaux prismés dans les granites et certains grès quartzeux secondaires, les quartz hyalins dodécaèdres dans les porphyres, le quartz rose dans certaines roches granitoïdes ou des pegmatites, l'améthyste dans les porphyres, les trapps et les filons de granite, les calcédoines dans les roches trappéennes ou basaltiques, ou des calcaires récents, les beaux jaspés dans les roches porphyriques, le jaspé égyptien dans les roches crétacées, le silex pyromaque dans la craie; d'autres silex se fondant davantage avec la roche environnante dans les calcaires anciens et tertiaires, le silex corné dans la craie des Alpes et dans les filons, les ménilites dans les marnes fluvio-marines tertiaires, les meulières dans les argiles et sables tertiaires et le calcaire d'eau douce, les agathes dans les trapps et les porphyres, la chrysoprase dans la serpentine, l'opale dans le trachyte, l'hyalite dans cette roche, le basalte ou la lave, le quartz nectique dans des marnes d'eau douce, etc.

Le groupe des *Feldspaths* est varié pour des raisons analogues. Le feldspath rose

fait le pendant du quartz rose, comme le feldspath vert celui de la prase et de la chrysoprase; le feldspath opalin ou la pierre de lune rappelle l'opale, et gît pour cela aussi dans des filons ou fentes. Les feldspaths ont des compositions diverses suivant leurs gîtes, outre que les uns sont à soude et les autres à potasse. Le labrador constitue certaines roches surtout ignées ou volcaniques, l'albite certaines roches granitoides, l'andésine certains trachytes, etc., etc. Il me suffit de rappeler les travaux de MM. Beudant, Gustave Rose, Abich et Rivière.

Le groupe des *Amphiboles* offre une grande variété d'espèces liées de même chacune à des circonstances de milieux ambiants. L'amphibole commune, le pyroxène noir, l'hypersthène sont dans des roches à pâte feldspathique plus ou moins foncée, noire, rouge ou blanchâtre, l'actinote, la malacolithe, la diallage, l'anthophyllite dans des roches talqueuses, schisteuses ou massives (serpentine); mais la grammatite, le diopside, la sahlite, le pargasite, le coccolite, le wollastonite sont surtout dans des calcaires ou au moins accompagnés de matières de ce genre. L'omphacite est associée avec la smaragdite et le grenat rouge. L'ouralite a un gîte déterminé dans certains porphyres de l'Oural et de quelques autres pays (voy. le Mém. de G. Rose), et la formation asbestoïde de l'amphibole et du pyroxène semble attachée à des roches magnésiennes massives ou à des accidents de petits filons dans des schistes cristallins plus ou moins talqueux.

Les *Micas* sont diversifiés de même d'après les roches qui les contiennent. Le mica à lithion et le lépidolite paraissent liés à l'albite ou à certains granites à tourmalines rouges et à des calcaires grenus. Le mica à chrome est dans les schistes talqueux, le mica bi-axial dans les granites, des gneiss, des micaschistes, des calcaires grenus, des trapps et des basaltes. Enfin le mica hydraté est dans les roches magnésiennes. Les talcs verts et blancs, les chlorites, la terre verte chloritée prennent aussi leur nature particulière des roches diverses schisteuses ou massives qui les contiennent.

Le groupe des *Grenats* est plein de variations analogues aux amphiboles. Si les schistes cristallins et les serpentines ont des grenats surtout rouges et rarement verts, le granite graphique en a de roses, la serpentine le pyrope, les schistes argiloïdes modifiés ou le calcaire ancien le pyrénéite, les laves le mélanite. Les murs de certains petits filons de serpentine offrent des grenats jaunâtres ou topazolites, tandis que l'essonite appartient probablement à certains filons granitoides à albite, l'aprome et la variété ferro-calcaire à des associations de minéraux métamorphiques, et même à des minerais de fer, l'ouvarovite ou grenat cuprifère à certains districts métallifères, et la colophonite à certains nids de minéraux du Nord. Si les idocrases n'offrent pas autant de gîtes divers, et par conséquent de variétés, la nature des épidotes ferrifères ou bucklandites dépend aussi bien des minerais qui les environnent que les épidotes manganésifères et les gisements particuliers feldspathiques ou amphiboliques distinguent les zoisites et les épidotes ordinaires.

Quant aux *Gemmes*, leurs variations sont très connues. Ainsi la tourmaline reste toujours noire dans le quartz, tandis qu'elle devient le rubellite ou est verte ou bleuâtre (indicolite) dans les granites, surtout à albite, ou bien est verte ou blanche dans la dolomie grenue, et la variété aphrizite est dans un feldspath décomposé. Le corindon granulaire ou l'émeri, c'est-à-dire ce minéral avec du fer oxydé, est bien différent du corindon cristallisé ou de sa gemme, le saphir, parce que la première variété est dans les schistes métamorphiques, la seconde dans le calcaire saccharoïde, et la dolomie grenue et la pierre précieuse dans le gneiss. De même le spinelle-rubis des roches anciennes est tout aussi supérieur au spinelle noir ou pléonaste des produits volcaniques ou au gahnite, sa variété zincifère. Le hyacinthe du gneiss et des roches volcaniques est le pendant du rubis pour le zircon, comme le spinelle bleu du calcaire grenu est celui du saphir ou de l'indicolite. Le cymophane du granite devient le forstérite au Vésuve, comme le chondrodite devient l'humite.

Le groupe des *Macles* est extrêmement curieux pour la géogénie sous le rapport de ses variétés. D'abord, il s'établit des passages entre plusieurs des espèces de ce groupe, suivant les roches dans lesquelles elles sont implantées. Ensuite, quelques unes contiennent jusqu'à deux alcalis à la fois, comme le pinite et le couzeranite. En général leur métamorphisme de contact ou en place est évident, et c'est une des belles conquêtes de la science moderne. Les anciens minéralogistes connaissaient quelques uns des faits caractérisant ce groupe, mais il leur était resté des énigmes. Ainsi les schistes argileux tachetés ont été mentionnés cent fois; mais ce n'est que récemment qu'on a pu reconnaître le premier degré de métamorphisme dans ces taches quelquefois à points brillants. Or, le second degré est celui où ces dernières sont remplacées par des macles, d'où on arrive par des passages insensibles de métamorphose toujours plus décidée aux andalousites, et de ces minéraux aux staurotides; mais en même temps la roche même n'est plus du schiste argileux; elle est devenue du micaschiste. M. le docteur Jackson a trouvé, même aux États-Unis, des cristaux de staurotide ayant encore la forme tessulaire des macles et renfermant comme eux des portions de la roche enveloppante (voy. *Minéralogie de Dana*, n. éd., 1844). Les macles et les staurotides étant enveloppées de mica dans des schistes déjà micacés, on dirait que les lamelles de ce dernier minéral ont fait place aux minéraux étrangers, ou que leur affinité procréatrice a été plus forte que celle qui produisait du mica. On voit de même des lamelles de talc entourer des cristaux d'apatite ou de fer oxydulé dans les gneiss; des bélemnites dans une enveloppe semblable au milieu de schistes secondaires devenus micacés et grenatifères (Novène, Furca). On en doit aussi rapprocher ces cymophanes dans une enveloppe de quartz dans une protogine du Connecticut. Enfin la couzeranite remplissant une bivalve est un fait avéré (*Ann. des Mines*, 1844, vol. VI, p. 15), et M. Durocher a bien exposé en détail les cas de métamorphisme de contact (voy. *Bull.* 1846, vol. III, p. 546). Quant

aux autres espèces de ce groupe, la paranthine des petits filons des roches anciennes devient le dipyre dans les schistes argiloïdes modifiés, et le méionite dans du calcaire grenu à côté du granite, comme dans des produits altérés et rejetés par les volcans. Le disthène est tantôt blanc, tantôt bleu ou bigarré, tantôt coloré par le graphite. Des minéraux contenant de l'eau, tels que le diaspore et l'hydrargillite, ne sont pas exclus de ce groupe, vu que des vapeurs chaudes ont pu et ont dû accompagner souvent la formation des macles, surtout lorsqu'elles avaient lieu dans de petites fentes, comme celles où se trouvent ces minéraux.

Le groupe des *Amphigènes* présente dans les roches volcaniques le pendant des macles dans les schistes anciens en offrant des amphigènes, des néphélines, des péridots et des haüynes contenant des portions de lave dans leur intérieur. Cet accident est surtout fréquent dans les leucites, et est bien connu en dehors des macles dans les couzeranites, dichroïtes, pinites, amphiboles, idocrases, micas stéatiteux, etc., tous minéraux métamorphiques ou granitiques. La néphéline et le davyne des volcans deviennent, dans les roches siénitiques et amphiboliques, l'élæolite et le cancrinite, et il en est presque de même de la sodalite. M. Dufrénoy a aussi opposé le péridot sans eau des roches volcaniques au villarsite hydraté dans des filons.

Le groupe des *Zéolithes* n'est surchargé d'espèces qu'en partie par les nombreuses variétés des espèces fondamentales, témoin les synonymies des méso-types, chabasies, apophyllite, etc. La différence la plus essentielle s'établit entre les espèces qui existent en même temps dans les roches pyroxéniques et dans les filons ou dépôts de fer oxydulé, et même quelquefois dans les roches granitoïdes. Ainsi nous voyons l'harmotome calcaire ordinaire devenir barytifère dans les filons métallifères, le stilbite se transformer en édelforsite dans son association avec le fer de Suède, le datolite se changer en botryolite dans la même position, la pechnite s'y appeler ædélite, tandis qu'elle est le koupholite des gneiss alpins. La méso-type des phonolites y devient natrolite à cause de l'abondance de la soude dans cette roche.

Les minéraux terreux *hydratés et argileux* n'offrent pas des variétés nombreuses, parce que leurs gîtes sont plus uniformes ou leur mode de formation infiniment moins varié. Néanmoins on peut citer les variations de l'halloysite, tantôt pholérinite des filons de fer hydratés, tantôt lenzinite tertiaire, l'allophane commune et opaline ou schrœtterite, etc.

Les *Minéraux métallifères*, et surtout les *minerais*, étant la plupart peu fréquents dans la nature, donnent moins souvent lieu à des observations de variétés. Ce sont des propriétés cristallographiques, physiques et chimiques qui les diversifient individuellement, et le catalogue des espèces n'est pas épuisé. Les métaux les plus fréquents, comme le fer, le manganèse, le cuivre, etc., offrent des exemples de variations remarquables suivant leurs gîtes. Ainsi le fer sulfuré, minerai de tous

les âges et de tous les pays, est le fer magnétique dans les schistes cristallins et les roches granitoïdes, et devient le fer sulfuré blanc, surtout dans les dépôts secondaires récents et tertiaires, en même temps que la pyrite arsenicale se trouve principalement dans les filons métallifères. Il y a de plus des pyrites nickélifères et aurifères. J'ai déjà signalé deux séries d'oxydes hydratés de fer et de manganèse, divers cuivres pyriteux, deux cuivres carbonatés bleu et vert, deux arsenics sulfurés jaune et rouge, deux arséniates de fer, plusieurs arséniates de cuivre, deux arséniures de cobalt, divers phosphates, etc.

La considération philosophique de ces variations dans les espèces minérales fait reconnaître dans la nature inorganique une similitude dans les composés réglés par les lois fondamentales de l'affinité atomique et des mélanges, ou un *plan unique de formation*, comme dans les règnes végétal et animal.

A l'appui de cette proposition, on peut encore ajouter les faits suivants. D'abord plusieurs minéraux ont une tendance à devenir stéatiteux quand ils sont empâtés dans des roches magnésiennes, ou quand les roches de leur gîte ordinaire se chargent de magnésie. Dans ce cas sont le feldspath, l'amphibole, la dichroïte-pinite (oosite), le mica et même la topaze (pyrophyssalite). Lorsqu'une dolérite ou un trapp pyroxénique passe à la serpentine, le pyroxène devient aussi tendre et stéatiteux. Il ne faut pas confondre cet état avec celui de quelques minéraux qui deviennent terreux à leur exposition aux vapeurs acides des volcans, comme les amphigènes, certains feldspaths vitreux, etc.

D'une autre part, plusieurs minéraux prennent une structure asbestoïde dans certaines circonstances de surabondance de magnésie dans le milieu environnant; cela a lieu dans des cristaux, des druses ou de petits filons. Tels sont les asbestes et amianthes résultant de l'amphibole et produisant le quartz chatoyant, celles provenant du pyroxène, du picrosmine, de certaines zéolithes (mésotype), de la magnésie hydratée (nématite), du kakoxène (crokidolite), peut-être même de l'épidote et de la tourmaline. On doit encore ajouter les filaments de disthène et de titane oxydé dans du quartz hyalin. Cette structure capillaire simple ou réticulaire (tourmaline, rutile) se retrouve dans plusieurs métaux natifs, comme l'argent, l'or, l'antimoine, le bismuth et le nickel; dans quelques oxydes (manganèse et cuivre oxydé rouge); des carbonates (cuivre carbonaté) et des sulfures métalliques (antimoine sulfuré), ainsi que dans certains minéraux métallifères, tels que le liévrîte. Cette structure passe à celle des dendrites, dont l'argent, l'or, le cuivre, le tellure nous offrent de beaux exemples où les cristaux sont bien distincts. Comme pendant dans la nature actuelle, nous avons l'obsidienne et la ponce filamenteuse, et surtout certaines cristallisations de nos hauts-fourneaux; mais cette structure peut être aussi un produit de la voie aqueuse, témoins les zéolithes, les carbonates de plomb, le cobalt arséniaté, la sélénite, tous aciculaires quelquefois, et la strontiane sulfatée dendritique.

D'autres minéraux se ressemblent par certaines variétés produites par tel ou

tel mélange métallique, terreux ou bitumineux. Ainsi on connaît les variétés ferrifères du grenat (pyrénaïte), du pyroxène (hédénbergite), de l'épidote et du péridot (hyalosidérite, gœkumite et fayalite). On trouve des variétés manganésiennes du spath calcaire, du grenat (spessartine), du pyroxène (Jeffersonite), de l'épidote, de la tourmaline (rubellite), de la néphéline (davyne), du zinc oxydé, du titane oxydé (greenovite), du silicate de fer (nontronite) et du silex. On peut citer plusieurs minéraux et minerais zincifères, tels que le spinelle-gahnite, un peroxyde de fer, un de manganèse (franklinite) et une galène. Il y a une arragonite et un tellure plombifère, un sulfate de plomb cuivreux et un scheelin-calcaire cuivreux. Plusieurs minéraux sont chromifères, comme le grenat-ouvarite, le mica-fuchsité, le miloschine et un titane oxydé. Il y en a qui deviennent une variété ou une espèce par trop de magnésie, tels que l'apatite talqueux, le mica à un axe, certains pyroxènes, grenats et épidote, l'anthophyllite (relativement à l'amphibole), la chaux carbonatée magnésifère, etc. D'autres minéraux varient par la présence ou la surabondance de la chaux, comme certains grenats et amphiboles, les épidotes-zoisites, l'harmotome-phillipsite, le néphéline-indianite et la tourmaline brésilienne. Il y a des silicates de fer, de cuivre, de bismuth, de manganèse, de zinc, de titane, de cérium, de chaux (wollastonite) et de magnésie, une baryte silicifère ou schoharite. Il y a du cuivre, de la magnésie et de l'alumine hydro-silicatés, de la chaux sulfatée anhydre et hydratée, un zircon sans eau et avec de l'eau, le malakon. Il y a divers minéraux fétides, tels que des variétés de spath calcaire cristallisé et amorphe, de la barytine, du fluorine, un quartz noir (morion), un cuivre pyriteux et une pyrite de fer. Il y a des barytes, fluors, gypses, phosphorites, mésotypes, etc., terreux. Enfin il y a des minéraux qui offrent la même série de couleurs, comme le saphir, le disthène, l'apatite, la préhnite, le spinelle, la tourmaline. Il existe des quartz et des topazes en fumée, des opales, des feldspaths, des quartz et des obsidiennes chatoyants, etc.

Comme conclusion de ces considérations, on peut présumer fortement que la série des variétés n'est pas encore épuisée pour bon nombre d'espèces minérales ayant plusieurs gîtes et patries, et si on avait raisonné de la sorte du temps de Werner, on n'aurait pas fait tant d'espèces.

Gisement des minéraux, des minerais et des roches, avec leur géogénie.

Le Gisement des minéraux, des minerais et des roches est un autre sujet qui donne lieu à beaucoup de déductions très intéressantes pour la géologie et l'art des mines comme pour la géogénie. Cette étude se divise en trois parties; savoir : celle de leur position géologique en grand, celle du détail minéralogique de leurs gîtes et celle de leur géogénie. C'est la première étude qui est la plus avancée, témoins les catalogues sur la distribution géologique des minéraux et des roches

dans toutes les classifications de roches comme dans tous les traités de géologie. Cependant, vu le nombre toujours croissant des espèces minérales, aucun de ces tableaux n'est complet, en sorte que je me réserve de remplir cette lacune, si personne ne m'en épargne la peine. Aujourd'hui je me contente de quelques observations générales en addition de celles déjà énoncées en parlant des groupes divers de minéraux ou même de minéraux et roches individuellement. Quant à la seconde étude, il est étonnant que si peu de savants aient tâché d'arriver à quelques généralisations un peu complètes; à cet égard, M. Alex. Brongniart brille comme une exception (1). Il s'agit ici d'observer minutieusement toutes les particularités générales du gîte des minéraux et des roches, leurs accidents, leurs anomalies et leurs associations mutuelles. Les explications géogéniques viennent couronner l'œuvre; malheureusement la chimie minéralogique et la chimie en général nous font encore défaut pour bien des cas : nous-même nous n'avons pas toujours observé assez judicieusement.

Dès longtemps on a reconnu que certains *corps élémentaires* étaient distribués plusieurs ensemble ou isolément dans tous les terrains et même dans les dépôts de tout genre. Dans ce cas sont l'alumine, la silice, la magnésie, la chaux, le fer, surtout certains oxydes et hydrates, et même le manganèse. Infiniment moins répandus sont les terres de zircon, de glucine, d'yttria, le cérium et bon nombre de métaux. D'autres éléments ne se trouvent que dans certaines formations ou roches : tels sont par exemple les alcalis, l'étain, l'argent, l'or, l'urane, le platine, le palladium, l'antimoine, le tantale, le tungstène, le sélénium, etc. D'autres corps ne se montrent qu'à une époque géologique déterminée pour ne jamais reparaitre, tandis qu'une autre division de substances élémentaires s'offre dans plusieurs périodes, mais dans des composés un peu modifiés ou dans des circonstances un peu différentes. Dans le premier cas se trouvent le thorium, le cérium, le tellure, l'yttria. Dans le second cas sont le cobalt, le plomb, le molybdène, le titane, le cuivre, le zinc, le chrome, le mercure, et les acides carbonique, sulfurique, phosphorique, fluorique, borique et arsénique. Ainsi, si le molybdène est connu en sulfure dans les schistes cristallins et les roches granitoïdes, il paraît comme molybdate de plomb dans un terrain pour le moins jurassique; de même le mercure se voit dans les porphyres houillers ou dans les grès qu'ils traversent, aussi bien que dans les terrains tertiaire et crétacé ou même jurassique. Il arrive aussi que certains éléments se revoient à plusieurs étages géologiques, mais sans être toujours dans leur gîte originaire. Des exemples nous en sont offerts par les alluvions aurifères, platinifères et gemmifères, ainsi que par certains minerais des roches secondaires et tertiaires.

Les minéraux ont une *distribution géologique* analogue. Si le plus grand nombre est plutôt rare, il y en a qui se trouvent dans tous les terrains stratifiés et mas-

(1) Voyez son *Introduction à la Minéralogie*, 1824, p. 144-154.

sifs de toutes les époques. Dans ce cas sont le quartz, le mica et le spath calcaire. D'autres n'existent en général intacts que dans les roches massives ou métamorphiques, comme le feldspath, l'amphibole, le pyroxène, le fer titané, etc. Quelques uns se rencontrent au moins dans toutes les roches stratifiées, comme le sulfure de fer, qui se voit aussi dans mainte roche massive. Au contraire, d'autres sont seulement dans ce dernier genre de dépôts, comme le péridot, les amphibènes en général et beaucoup de zéolithes. Un cinquième groupe n'existe que dans les roches métamorphiques, ce sont les macles. Enfin des causes semblables de métamorphose de contact ont reproduit certains minéraux des roches granitoïdes dans les schistes cristallins et le calcaire grenu, tels que le disthène, la tourmaline, etc.

Peu de minéraux ont un gîte unique déterminé. Dans ce cas sont, par exemple, l'acide borique, le boracite, le cryolite, les tellures aurifères, la gadolinite, l'amphigène des laves et presque le fer chromaté. Un bien plus grand nombre ont plusieurs gîtes, soit qu'ils se trouvent dans diverses roches, soit qu'ils se montrent dans plusieurs terrains différents, en y offrant souvent des variétés particulières, comme je l'ai dit plus haut. Ainsi on connaît certaines espèces indifféremment dans le grès et dans le calcaire, comme la houille, le bitume, le gypse, le sel gemme, la chaux carbonatée ordinaire ou magnésifère, la barytine, la strontiane sulfatée, le fer oxydé et spathique, le cinabre, le quartz, etc. Plusieurs minéraux des schistes cristallins se revoient dans les calcaires et les dolomies grenues, comme le groupe des grenats, certaines gemmes (zircon, spinelle, tourmaline et béril), certaines espèces du groupe des Amphiboles (pyroxène, wollastonite, etc.), certains micas (clintonite), certains feldspaths (pétalite, triphane), certaines macles (couzeranite, disthène, pyrallolite), le lapis lazuli, l'apatite, le fluorine, le sphène, certains minerais oxydulés (fer oxydulé), oxydés (crichtonite, antimoine oxydé, zinc oxydé ferrifère), peroxydés (fers oligiste, carbonaté, fer spathique), sulfurés (arsenic sulfuré) et arséniatés (plomb arséniaté), ainsi que le graphite. Un bon nombre de ces minéraux se trouvent également dans les roches granitoïdes et métamorphiques. On en doit excepter le couzeranite, le wollastonite, etc., et y ajouter des espèces, des groupes de feldspaths, des minéraux métallifères et divers minerais sulfurés (galène, molybdène et cuivre sulfurés, etc.) et oxydés (titane oxydé, etc.). D'un autre côté, on sait que plusieurs métaux existent aussi bien dans les alluvions que dans d'autres dépôts bien plus anciens, qu'il y a du fer oligiste dans les laves comme dans les talcschistes, que la calamine est secondaire autant que primaire et que certains minéraux et minerais sont aussi bien dans les roches granitoïdes que dans les filons métallifères, par exemple, le fluorine, des sulfures et oxydes métalliques, etc.

Autrefois on a voulu distinguer dans les *filons métallifères*, les métaux d'après leur âge : les uns étaient dits récents, et beaucoup étaient réputés anciens. Or tous sont devenus de l'époque secondaire, et même plusieurs des filons dans des ro-

ches massives ont été reconnus pour des produits même tertiaires, tels que certains filons aurifères, argentifères ou à galène, blende, etc. Si le tellure n'est pas de cet âge, il serait de la dernière époque crétacée. L'étain et le molybdène sont les métaux qui restent parmi ceux des filons anciens. Le fer oxydé a rempli des fentes, surtout pendant la période secondaire. J'ai déjà spécifié l'âge du mercure et de la calamine. Pour les autres métaux en filons, on ne peut guère avancer d'autre proposition que celle de leur plus grande fréquence à certaines époques des dépôts secondaires. L'antimoine est fréquemment dans les fentes du terrain ancien. Le fer et le manganèse s'étendent jusque dans les terrains les plus modernes. Le cobalt se montre encore dans le sol tertiaire. (Voyez C. Prévost, *Bull.* 1842, t. V, p. 13, et Robert, *Bull.* 1844, t. VI, p. 241).

Il y a des minéraux et des minerais qui se trouvent en grande partie également dans des filons ou dans des couches. Dans ce cas sont des carbonates et sulfates de chaux, les sulfates de baryte et de strontiane, l'hydro-chlorate de soude, le fluaté de chaux, la presque totalité des métaux natifs, des oxydules, des oxydes et des sulfures métalliques, certains carbonates métalliques; savoir: ceux de zinc et de plomb, le phosphate de plomb, les chromates de fer et de plomb, le groupe des grenats, certains micas et feldspaths, tels que l'albite, etc., certains minéraux hydratés (lenzinite, etc.) et argileux (stéatite, boles, etc.), le graphite, l'anthracite et le bitume.

D'autres minéraux et minerais ne se voient que dans des filons ou en filons, comme, par exemple, dans le groupe des minéraux salins, les carbonates de baryte et de strontiane; dans la classe des métaux les sulfates, presque tous les carbonates et phosphates, les arséniates, les molybdates, les tungstates, les vanadates, les sélénures, les bromures et les iodures; un certain nombre de minéraux métallifères, surtout le groupe ferrifère, tels que le liévrille, le kakoxène, etc., le plomb gomme, le groupe cérifère et l'axinite. Au contraire, on n'a jamais vu en filons les boracites, les macles, les amphigènes et le diamant.

Un certain nombre de minéraux forment à eux seuls des filons, tels que le quartz commun, l'agate, le jaspé, la chaux carbonatée, la barytine, le spath fluor, les fers oligiste et hydraté, le phosphorite, etc.; mais cela n'exclut pas leur association avec d'autres minéraux pour composer d'autres filons, genre de mélange qui est pour beaucoup de minéraux leur seul mode d'existence en filons. L'anthracite et la houille paraissent former fort rarement des filons, comme dans la serpentine de la Havane (1).

Il y a des minéraux qui n'existent surtout que dans des fentes de roches fossilifères, tels que la wavellite, la wagnérite, la turquoise, les calamines, certains oxydes hydratés et des hydrates siliceux métalliques, les peroxydes de manganèse et plusieurs minéraux hydratés.

(1) Voyez Clemson, *Trans. Americ. phil. soc.*, Philadelph., 1839, N. S., v. VI, § 2, p. 191.

Il y a des minéraux et minerais qui ne remplissent que les vides de fentes très minces, tels que le tellure, la chaux carbonatée pulvérulente, fibreuse ou concrétionnée, le savon de montagne, etc.

Certains minéraux ont une tendance à devenir fibreux dans les fentes, comme les amphiboles, les asbestes, les talcs, la chaux carbonatée, la baryte, la topazépicnite, le gypse, etc. Les fibres de ces minéraux sont alors quelquefois perpendiculaires aux murs des fentes, comme les prismes du basalte en filon. Dans ce cas se trouvent par exemple ce qu'on a nommé des stylolithes calcaires.

Il y a des minéraux qu'on ne voit qu'en *couches*, *amas* ou *nids*, savoir, les nitrates et carbonates salins, certains minéraux hydratés, tels que la magnésite, le gibbsite et la presque totalité des corps inflammables, si on en excepte le graphite et l'anhracite, parce qu'ils sont rarement un accident minime de filons. Il y a quelques minéraux qui se montrent plutôt en couches ou nids qu'en filons. Dans ce cas sont le carbonate de chaux compacte, le gypse, l'anhydrite, le sel marin, le fer carbonaté et spathique; ce qui est tout le contraire pour le sulfate de baryte, minéral assez rare en nids, et connu dans un ou deux endroits seulement en lits. Il est bon de noter que plusieurs des minéraux et minerais mentionnés sont amorphes.

Un nombre assez considérable de minéraux sont disséminés en *cristaux*, *grains*, *mouches* ou *très petits rognons* dans les roches. Ce sont des borates, des fluates, excepté le fluaté de chaux, qui a aussi d'autres gisements, l'apatite, les métaux natifs, les oxydules et bon nombre d'oxydes métalliques (chrome oxydé, diop-tase, etc.), la presque totalité des sulfures métalliques, le chromate de fer, les composés métalliques de titane; bon nombre de minéraux métallifères des groupes ferrifère, tantalifère, cérifère et thorifère; la presque totalité des gemmes, à l'exception de l'axinite; les groupes des amphiboles, des feldspaths, des macles, des amphigènes, certains quartz, tels que le quartz hyalin, les agates, les silex, etc.; plusieurs minéraux hydratés (nontronite) et argileux (aluminite), le diamant, le soufre, les résines et même souvent des minéraux, des grenats, des micas et des charbons de terre.

Parmi les espèces nommées il y en a qui forment des rognons nodulaires, quelquefois anastomosés ou de formes bizarres. On peut nommer à ce sujet les silex pyromaque et ménilite, la strontiane sulfatée amorphe, l'aluminite, certains phosphates de chaux, la lenzinite, le pyrophyllite, le fer sulfuré ordinaire et blanc, l'ambre et rarement l'anhydrite ou le gypse et la baryte sulfatée. Le fer en grains et le pisolithe offrent des exemples de concrétions régulières globulaires.

Si la *dissémination* des particules étrangères dans un minéral est *extrêmement fine*, c'est un cas de mélange ou même de coloration, surtout si ce sont des parties métalliques. Ainsi se produisent différentes teintes au moyen de divers oxydes de fer et de manganèse et moins souvent avec de l'oxyde de cobalt, de chrome ou de nickel, comme dans le quartz résinite, le chrysoprase et le pimélite. Du cuivre

carbonaté vert colore aussi certains minéraux, comme des analcimes, certaines idocrases vertes-bleues de Norwége, des quartz et des calcédoines. Du cuivre bleu et de l'arséniat de cobalt bleuit quelquefois des sélénites, et l'arsenic sulfuré rougit le spath calcaire. Quelquefois un minéral en colore un autre, comme la chlorite, le quartz, la stilbite et l'analcime rouge certains quartz, le graphite, le disthène, etc. On a remarqué aussi que l'eucrase et la topaze sont d'autant plus foncées que la chlorite schisteuse enveloppante est ferrifère. De même, le mica est noir ou vert-noir lorsqu'il est associé au fer, vert et brunâtre avec l'actinote dans les gneiss et micaschistes, jaune dans les laves, blanc souvent dans les gneiss et rarement dans les trachytes. Les minéraux fibreux sont blancs, verts ou bleus (prehnite, asbeste, wavellite, fer phosphaté, etc.); plus rarement rouges (hématite). Certaines irisations sont un cas d'oxydation, comme pour le fer spathique.

Les *Dendrites* sont un cas particulier de dissémination de particules métalliques, savoir, surtout d'oxydes de fer hydraté, d'hématite brune, de pyrites, d'oxyde de manganèse; de cuivre, d'argent, de bismuth et de tellure natifs, etc. Les variétés des herborisations des calcédoines et des cyathes, comme leurs mélanges, s'expliquent fort bien par l'arrivée accidentelle de particules colorantes de diverses natures.

Il y a des minéraux nombreux qui ne forment souvent que de *petits filons* ou des *veinules*, dans lesquelles on remarque plus ou moins de petites vacuoles, comme dans les grands filons. Ce sont en général, dans la classe des sels, des espèces de sels proprement dits, des carbonates, des sulfates et des phosphates, puis la fluorine et la cryolite; dans la classe des métaux, tous les métaux natifs, les oxydules, les oxydes et les sulfures, plusieurs phosphates (fer phosphaté, etc.) et arséniate (cuivre arséniaté), le molybdate de plomb; plusieurs minéraux métallifères de la famille ferrifère; dans le groupe des gemmes, celles à acides fluorique et borique, le groupe des grenats, les asbestes, les micas, plusieurs feldspaths, les zéolithes, plusieurs quartz, en particulier l'opale, les minéraux hydratés, le soufre, le graphite, les charbons de terre, les bitumes et les résines (ambre, etc.).

Il y a des minéraux qui tapissent des *géodes* ou *cavités fermées*. Ce sont les carbonates de chaux, la fluorine; dans la classe des métaux, les cinq métaux natifs, quelquefois capillaires (voyez-ci dessus, p. 27), plus le cuivre, les oxydules, certains oxydes (rutil, hématite brune, etc.) et peroxydes, plusieurs sulfures, tels que ceux de fer, de cuivre, d'arsenic, etc.; les carbonates, arséniate, phosphates et molybdates; plusieurs minéraux métallifères de la famille ferrifère (liévrine, cronstedtite, etc.); certaines gemmes, comme les émeraudes, les topazes, les tourmalines et l'axinite; le groupe des grenats, plusieurs amphiboles (amphibole et pyroxène), les micas, les feldspaths, les amphigènes, à l'exception du haüyne et du lapis-lazzuli, les zéolithes et certains quartz (quartz hyalin, calcédoine, etc.). Parmi ces minéraux et minerais géodiques, il existe une division qui au lieu

d'être en cristaux réguliers se présente sous la forme *capillaire* ou asbestoïde, ou même arborescente cristalline, comme les métaux natifs. D'autres espèces sont fibreuses rayonnées (stilbite, cuivre carbonaté), ou étoilées (natrolite, wavellite, molybdène sulfuré, sphérolite), ou en gerbes comme certains micas, actinotes, chaux carbonatées, etc. D'autres fois on ne voit qu'une cristallisation confuse, un globule sphérique, comme certaines hyalites. Assez souvent les minéraux des géodes forment intérieurement une *surface concrétionnée* et *mamelonnée*, comme on le voit dans les géodes tapissées de calcédoine et d'agates; dans celles de certaines zéolithes, comme la prehnite et l'alcalcime; dans celles de wavellite, de phosphorite siliceuse, de chaux carbonatée, de spath perlé, etc. Certains minerais présentent aussi cette apparence, savoir le plomb-gomme, les oxydes de fer, de manganèse et d'urane, les hématites, certains oxydes silicatés ou siliceux, certains carbonates de fer (sphærosidérite rayonné) et de zinc, des carbonates de cuivre soit simples, soit siliceux (malachite et cuivre hydro-siliceux), le manganèse barytique et l'arsénio-sidérite.

Un plus petit nombre d'espèces minérales s'offrent en masses *testacées* botryoïdes, ou *stalactitiformes* ou même *tubulaires*, dans des cavités, tels que la chaux carbonatée, l'arragonite, la phosphorite terreuse, la datolite siliceuse ou botryolite, quelques zéolithes (mésotype, etc.), le quartz, la calcédoine, l'allopmane, l'hématite, la calamine, le chrysocolle, la malachite, le manganèse oxydé, la pyrite ferrière ou cuivreuse, l'argent muriaté, le cobalt arséniaté, la turquoise, etc. Les globules de ces sortes de structures sont quelquefois rayonnés ou même étoilés; des exemples de ce dernier genre sont fournis par le quartz, la pyrite, etc.

Il y a aussi des minéraux qui ne forment que des *cristaux microscopiques*, en sorte qu'ils ont l'air de *poussière* ou d'*efflorescence*, ou d'*enduit*. Dans ce cas sont surtout notre groupe des sels, la chaux carbonatée pulvérulente, le gypse niviforme, le cuivre natif, certains oxydes métalliques, tels que ceux de cobalt, de bismuth, de plomb; le cuivre oxydé noir, les ochres, certains arséniates (cobalt arséniaté, et terreux (pharmacolite); certains sulfates métalliques comme ceux de fer et de cuivre; le phosphate de fer, la chlorite, la silice pulvérulente et le charbon minéral. Des enduits sont surtout formés par la chaux carbonatée concrétionnée et fibreuse, la strontiane sulfatée, la fluorine terreuse, la turquoise, le tellure, l'or natif, le bismuth, le fer oxydé hydraté, quelquefois limoneux, l'hématite brune, le manganèse oxydé, le cobalt oxydé terreux, le cuivre vert et la malachite, l'arsenic sulfuré, la galène, la blende, les pyrites, le kakoxène, l'épidote, l'actinote, le talc, le quartz, la calcédoine, l'hyalithe, le silex corné, le pigotite, l'allopmane, l'argile, le soufre, le charbon minéral et la poix minérale. Lorsque ces enduits sont sur des roches constituant les parois d'une faille, ces enduits, souvent luisants, y deviennent polis et même striés dans certains sens déterminés.

Si nous passons des minéraux aux *roches*, nous remarquons ici en grand ce que les minéraux nous ont offert en petit. Ainsi les *géodes* se revoient en grand dans

les cavernosités des laves, les boursouffures des roches basaltiques, trappéennes et porphyriques, comme dans les tubulures des travertins. Ces dernières roches offrent aussi des structures concrétionnées fibreuses à surface ondulée ou en stactite. La même chose se revoit dans certains calcaires magnésiens secondaires, où les globules sont comme étoilés en partie, comme dans les perlites. Aux minéraux en *concrétions nodulaires*, on peut opposer d'un côté des grès, des schistes et des calcaires, et de l'autre des granites, des porphyres, des siénites, des diorites et des rétinites orbiculaires, ainsi que surtout les variolites et les perlites. Quant aux pisolithes et minerais de fer en grains, les oolithes calcaires et ferrugineuses de tous les âges sont leur pendant. La structure amygdaline entrelacée est propre à certains calcaires et schistes primaires ou du système métamorphique.

Les basaltes et autres roches en filons étroits ont une tendance à se diviser en prismes transversalement aux fentes, ou à peu près, comme certains minéraux. En général plusieurs roches ignées et neptuniennes offrent ce genre de *formes colonnaires*, tels que les basaltes, les trapps, les trachytes, les perlites, les porphyres, les syénites et les granites d'une part, et certaines marnes, certains gypses, et certaines houilles tessulaires de l'autre (1). Quant à l'anhracite prismée, au grès de taviglianaz prismé et au schiste argileux prismé, on y a reconnu l'effet d'un coup de feu, comme dans les rognons de fer oxydé rouge bacillaire des pseudo-volcans ou les grès de nos hauts-fourneaux. Un accident purement de retrait est la division prismatique de certains rognons dans les roches argilo-sableuses ou calcaires, je veux parler des *septaria*, des *ludus Helmontii* et des œlites; ce qui n'empêche pas que l'affinité chimique n'ait produit le rapprochement des molécules de carbonate de chaux ou de fer qui constituent ces masses nodulaires.

Une autre structure plus rare, seulement dans certaines roches, c'est leur composition uniforme de parties coniques enchâssées les unes dans les autres sous la forme de W alternativement droits et renversés. On la connaît dans certaines marnes calcaires, quelques houilles et schistes argileux. C'est le *tutenmergel* (marne à mamelles) ou le *nagelkalk* (calcaire à cloux) des Allemands, et le *conincoalcoral* (variété de houille) des Anglais. Quelquefois ce ne sont que de petites masses prismatiques cylindroïdes, comme dans les stylolithes. Ces accidents n'ont que des rapports éloignés avec le grès calcarifère cristallisé de Fontainebleau. Une matière calcaire infiltrée a enveloppé le composé de la roche et a pu cristalliser jusqu'à un certain point, malgré l'interposition de substances étrangères; mais bien plus souvent, de semblables particules, arrivées après coup dans les roches, n'ont fait que les colorer, ou, s'il y avait de nombreuses fentes, ils ont produit des petits filons calcaires; ou bien, si les fentes étaient très minces et l'infiltration ferrifère ou manganésifère, il y a eu formation de dendrites,

(1) M. Glocker a figuré des houilles tessulaires, probablement à cause de certains végétaux, *Bericht, etc., der deutsch Naturf. Gratz., 1843, p. 80.*

comme dans le cas du calcaire lithographique de Solenhofen ou du marbre rendu ruiniforme par ces diverses colorations et des fendillements particuliers de retrait.

Les *surfaces ondulées* sont fréquentes dans toutes les roches neptuniennes, ce qui vient de leur genre de dépôt; tandis que les dérangements qu'elles ont éprouvés, surtout pendant leur état de mollesse, les a souvent plissées ou contournées, accident que l'on voit en petit d'une manière remarquable dans certaines anhydrites du terrain salifère de Gallicie. C'est comme un ruban qu'on aurait raccourci en le pressant des deux côtés (voy. une figure semblable dans les schistes cristallins, *Trans. geol. Soc. Lond.*, 1814, V, II, pl. 31).

Beaucoup de roches ne forment, vues en grand, que des *rognons* ou *amas*. Ainsi, outre les silex, les chailles, les meulières, etc., les calcaires de mainte formation schisto-arénacée sont alignés comme les grains d'un chapelet, et non point en masses continues. La même position est celle des gypses, du sel, du soufre, des combustibles, des poudingues, de certains minerais de fer, etc., dans les roches arénacées et calcaires. De même, on a reconnu en amas dans les schistes cristallins les roches suivantes, savoir : les pierres ollaires, les roches d'actinote et d'anthophyllite, les amphibolites proprement dites, les roches de grenat, d'idocrase, de triphane, de disthène, d'épidote, de topaze, d'éclogite, la couzeranite en roche, l'itabirite, le fer oxydulé et carbonaté, l'émeri, la chamoisite, et même la macline ou le schiste maclifère. Le leptinite paraît aussi ne se trouver qu'en énormes amoncellements, et beaucoup de roches ignées ont ce gisement lorsqu'elles ne sont ni en filons ni en coulées.

Il y a des roches qui sont *toujours en couches*, d'autres au contraire ne se voient qu'en filons, ou très souvent dans ce gisement, ou bien au moins en petits filons. Quelques unes sont fort rarement en filons. Parmi les roches toujours en couches, on peut nommer, à quelques exceptions près, les roches stratifiées arénacées et calcaires, d'un côté, et les schistes cristallins, de l'autre. Plusieurs roches massives métalliques, ainsi que le phosphorite, ne sont qu'en filons, tandis que d'autres roches existent également dans cette position et dans les couches, comme le quartzite, l'agate, le silex, la baryte, le fer oxydé rouge, carbonaté ou spathique et hydraté.

Parmi celles qui sont *rarement en filons*, on ne peut mentionner que les poudingues, les grès, les calcaires grenus, les combustibles charbonneux, les schistes anciens et les gneiss. Le gypse, le sel et le calcaire, d'une part, et le granite, la siénite, le basalte, de l'autre, sont assez souvent en *petits filons*, tandis que les roches massives en général affectent fréquemment la forme de grandes fentes remplies de filons-couches (diorites schisteuses des Allemands, etc.) (1), ou

(1) Ces roches ont été citées souvent comme contraires à l'idée plutonique; or, M. Cotta vient de montrer clairement (voyez sa *Géologie*, 1846, p. 284) la futilité de ces objections. Ces roches

celle de culots ou champignons (trapp, etc.). Les coulées ne caractérisent que les roches ignées d'un âge récent (volcans, trachytes), et ont pour pendants, dans les trapps secondaires et les porphyres, des champignons à queue (Palatinat du Rhin).

Il y a des roches qui ne paraissent qu'une fois dans la série des terrains, telles que le pyroxène en roche, la roche de topaze, le disthène en roche, le couzeranite, la macline, etc. Les autres ont pour la plupart plusieurs gîtes bien déterminés, comme tous les types principaux des roches massives, les calcaires, les grès, les argiles, les silex, les soufres, les gypses, le sel, les houilles et les lignites. C'est ce qui avait conduit Werner à l'établissement de ses séries géognostiques de diverses roches classées d'après les époques de formation. Il avait donc remarqué déjà que ces roches varient le plus souvent en composition, texture et apparence, suivant leur âge, ce qui est surtout manifeste dans certaines roches massives, comme dans d'autres d'origine neptunienne.

Considérons maintenant l'état individuel des minéraux dans leurs gîtes. Le plus grand nombre n'acquièrent jamais un grand volume, comme l'harmotome, la chabasia, le mélilithe, etc., etc.; un petit nombre d'espèces, au contraire, dépassent quelquefois de beaucoup leur grosseur ordinaire, soit en cristaux réguliers, soit en masses cristallines amorphes. Ce sont principalement les suivantes, savoir : la chaux carbonatée, la barytine, l'apatite, la fluorine, l'or, le platine, le cuivre et l'argent natifs, le fer oxydulé, le titane oxydé, la malachite, le cobalt arsénical, le tantalite, plusieurs gemmes (zircon, émeraude [béryl], topaze, tourmaline), le grenat, l'idocrase, l'amphibole, l'amphigène, l'analcime, le quartz hyalin, le lenzinite, le diamant, l'ambre et le caoutchouc fossile. Quelle est la raison géogénique de ces cas exceptionnels ? pourquoi des minéraux si voisins de composition, comme la chabasia et l'analcime, acquièrent-ils des grandeurs si différentes ?

Les géologues n'ont pas jusqu'ici assez apprécié l'importance de l'étude détaillée des formes des minéraux, de manière qu'on a été même jusqu'à ridiculiser leur énumération très minutieuse. Si la méthode de Haüy de donner un nom à chaque variété de forme est passée de mode avec raison, un grand desideratum à remplir dans la science minéralogique serait un catalogue complet et méthodique de toutes les formes principales de chaque espèce avec leurs gîtes exacts, parce qu'il est démontré que les diverses cristallisations ne sont pas distribuées sans ordre dans la nature. Au contraire, des lois chimiques particulières les ont déterminées. Les cas les plus intéressants sont ceux où une forme principale

gisent quelquefois, d'une manière non conforme, dans les schistes primaires, et leur position n'est rendue obscure que par le fréquent métamorphisme de contact qu'ont subi ces derniers, ce qui les lie plus ou moins au diorite ; d'ailleurs leur masse n'est quelquefois qu'un magma schisteux altéré et dioritisé. N'étant pas feuilletées hors des parties métamorphiques, leur nom de roches schisteuses est impropre.

seule est propre à certains gîtes, ou bien celui où différentes parties ou divers accidents d'un filon offrent la même espèce sous des formes dissemblables. Ainsi les filons plombifères du Derbyshire offrent du spath calcaire métastatique plus ou moins compliqué de faces additionnelles (bisalterne, bibinaire, etc., de Haüy) et dodécaèdre, et dans ceux du Westmoreland les variétés prismées et bisunitaires sont fréquentes. D'une autre part, la forme rhomboïdale inverse est la seule du grès cristallisé de Fontainebleau, parce qu'il a pris la place de cristaux de sel, et le *tutenmergel* n'offre pas de forme régulière. Si la fluorine cubique simple ou avec quelque troncature est sa forme la plus habituelle, l'octaèdre régulier n'est que dans certains gîtes, comme dans la dolomie du Saint-Gothard, à Kongsberg, etc., et le dodécaèdre dans certains filons de l'Erzgebirge, etc. Lorsque l'octaèdre accompagne le cube, la première forme est au moins bien plus rare. Le grenat est surtout en dodécaèdre dans les schistes cristallins, et trapézoïdal dans les roches granitoïdes. C'est dans les mines de fer de Dannemora qu'on trouve des cristaux avec des stries sur la face primitive dans la direction de la plus petite diagonale. Le quartz dodécaèdre est dans les porphyres, le quartz prismé dans les druses, et le quartz rhomboïdal est beaucoup plus rare. La pyrite cubique est la forme commune de ce minéral dans les schistes argileux; l'octaèdre, plus rare, se voit à Arendal et Schemnitz; l'icosaèdre, dans des filons du terrain primaire du Rhin; le dodécaèdre pentagonal, à Kongsberg, à l'île d'Elbe, etc. Dans le fer magnétique, le dodécaèdre est plus rare que l'octaèdre. Le zircon octaèdre ou prismé existe également dans les gneiss et dans des roches volcaniques. Il en est de même du fer oxydulé. On pourrait faire des observations analogues sur certaines formes des barytines, des tourmalines, du cuivre carbonaté, du chromate de plomb, de la sélénite, etc., etc.; mais je suis obligé de m'arrêter pour laisser à d'autres le détail complet de ce sujet, si digne d'être approfondi.

Il ne suffit pas d'étudier les corps réguliers, il faut aussi noter leurs *hémotropies* ou macles, leurs angles rentrants et les entrecroisements des cristaux, comme dans le cas de certaines arragonites et staurotides, qui ont été obligées de cristalliser au milieu d'un dépôt étranger. Pourquoi l'harmotome prend-elle cette forme dans des cavités? Si on l'a expliqué cristallographiquement, on n'a pas remonté à la cause première, qui paraît avoir été une gêne quelconque éprouvée, à moins qu'on ne pût faire intervenir l'effet de courants électriques ou électro-magnétiques s'entrecroisant. En général, depuis qu'on a enfin reconnu l'identité des quatre agents principaux de la nature, et que les noms de lumière, de calorique, d'électricité et de magnétisme n'ont plus désigné que les manifestations diverses d'un seul mobile, il est devenu évident que les agents les plus cachés

(1) Voyez *Acad. des sc.*, Paris, 1841; *Ann. de ch. et phys.*, 3^e sér., vol. XIX, p. 113; Reichenbach, *Annal. de chim.*, de Liebig, 1845, vol. LIII; *Appendix*, c. 12; et Lond., *Phil. trans.*, 1845.

à nos sens grossiers devaient avoir joué un rôle important dans la formation des cristaux, comme en général dans ce qu'on séparait sous le nom de nature inerte. Malheureusement ces rapports soupçonnés sont encore en grande partie à l'étude, et ils ont même quelquefois donné lieu à des observations tout aussi dénuées de fondement que l'assertion ancienne que la lumière de la lune n'avait pas de chaleur et aucune influence météorologique.

Si la perfection des instruments a permis à l'ingénieur Melloni de donner ainsi raison aux philosophes de la nature au détriment des plus graves physiciens, il en arrivera de même pour l'intervention des agents le plus souvent invisibles dans la géogénie des cristaux. Un pas important est déjà fait, grâce aux expériences de Haldat, du docteur Reichenbach, de Faraday, etc. (1), qui ont pu démontrer le magnétisme dans une foule de substances, où les physiciens les plus crédules ne le soupçonnaient pas, et les ont trouvées classées en deux séries opposées. Si des calculs fondés sur les lois de décroissement des molécules sur les faces des cristaux primitifs rendent compte de leurs formes secondaires, on viendra un jour à pouvoir soumettre au calcul les causes premières de ces lois comme celles des différentes formes primitives des espèces.

Après cela, il faut aussi observer les *irrégularités* de toute espèce dans les cristaux. Ainsi leur coloration varie dans un même cristal, comme on en a des exemples dans la tourmaline, le saphir, le fluor, etc. Leurs faces sont quelquefois non symétriques; un cube de fluor ou de pyrite aura, par exemple, une seule troncature sur un de ses angles, etc.; les faces, au lieu d'être planes, seront convexes, comme dans certains fers spathiques et des fluorines, ou bien concaves, comme dans des pyrites. Les cristaux seront comprimés, comme le quartz dans la pegmatite; infléchis ou courbés, comme certains rutilés, quartz, idocrases, etc. D'autres fois les *cristaux* sont *fracturés*. Ainsi on connaît des quartz hyalins simplement brisés, des amphiboles à fentes calcaires, des épidotes fendues et resoudées par du quartz, des tourmalines à fentes remplies de matière feldspatique ou quartzreuse, des émeraudes ou bérils à petits filons d'albite, des feldspaths cassés dans les granites ou dans les trachytes, et resoudés par la pâte de ces roches, des quartz fendus et réunis de nouveau par du quartz, etc. Il y a aussi des silex pyromaque brisés et offrant quelquefois dans ces fentes des cristaux de strontiane sulfatée. Ces fractures peuvent être en partie un effet du refroidissement inégal et de la cristallisation finale non uniforme de certains minéraux composant des roches surtout granitoïdes. Dans les filons, ce ne sont quelquefois que des accidents purement mécaniques de pression, de choc, par suite d'une chute et d'un glissement. Est-ce que certaines brisures ne pourraient pas résulter d'actions électro-chimiques gênées par l'intervention de quelque minéral?

Il y a des cristaux offrant de *petites cavités* vides ou remplies de gaz, comme le sel décrépitant, ou bien ces bullosités contiennent des fluides sur lesquels surnagent, mais rarement, de petits cristaux. Ce dernier genre d'accident a été vu surtout

par MM. Brewster, Davy, etc., dans le quartz hyalin, l'améthyste, la calcédoine, l'agate, la barytine, le saphir, le cymophane, le sel gemme, des minerais de fer, du fer carbonaté, etc. Ces fluides étaient acides dans ces minéraux; mais quelquefois ce n'est qu'un pétrole, comme dans certains quartz, dans des fers carbonatés et dans des houilles. De petits cristaux surnageants n'ont été aperçus que dans des topazes, et de l'anthracite y a été distinguée dans le fluide d'un quartz hyalin.

On a rencontré aussi des espèces minérales, même cristallisées, dans un état de mollesse originaire. Ce sont surtout des quartz (Carrare), et en général les espèces siliceuses, et quelques zéolithes, comme M. Forchhammer s'en est assuré en Islande. D'un autre côté, l'état tendre de beaucoup d'espèces est reconnu pour une modification secondaire, une métamorphose.

Quelquefois les *angles des cristaux* sont tout à fait émoussés, de telle sorte qu'ils semblent avoir subi une fusion, comme certaines idocrases, pyroxènes, amphiboles, sodalites, apatites et galènes. L'amphibole de Parga présente des grains de chaux carbonatée qui ont un aspect de matière fondue et sont traversés de cristaux aciculaires d'amphibole. D'autres minéraux sont *corrodés* évidemment par des acides, comme on le voit près des volcans et des filons. Ainsi certains quartz sont tout à fait cariés, peut-être parce qu'ils ont subi les influences de l'acide fluorique. Il y a des préhnites corrodées dans des filons de gneiss, etc.; mais ce genre d'apparence est aussi produit par la décomposition ou par des actions moléculaires électro-chimiques, comme dans certains spaths perlés, des fers spathiques, des silex au bord de la mer, etc. Quelquefois ces parties corrodées sont remplies de minéraux d'origine postérieure. Ainsi on voit de l'argent sulfuré sur du quartz corrodé, etc. Il y a aussi des cristaux ou masses amorphes qui sont totalement *perforés*, comme certains quartz, du fer sulfuré, etc., ce qui provient de la disparition postérieure d'autres minéraux qui les traversaient.

Une étude qui s'agrandit tous les jours et promet d'importants résultats à la géogénie, c'est celle des *métamorphoses* ou épigénies des minéraux, par lesquelles leur forme est restée la même, quoique leur nature chimique ait changé plus ou moins notablement; et puis celle des *pseudomorphoses*, où une matière étrangère a conservé l'impression des cristaux disparus, cas fréquents dans les filons et les couches. On peut souvent démontrer ces changements, le plus souvent moléculaires et lents, par des séries intermédiaires de modifications, et surprendre la nature dans son travail. Ainsi, on a des tourmalines en partie changées en chlorite, et d'autres qui le sont entièrement, etc., etc. C'est un jeu des affinités chimiques ou électro-chimiques, aidé par l'air et par l'eau, leur acide carbonique, et quelquefois par d'autres acides; tandis que la disposition des cristaux est produite par une dissolution complète simplement aqueuse ou par un acide, ou bien une décomposition chimique enlève un ou deux éléments, et l'eau éloigne les autres. Les minéraux qui ont cristallisé au milieu d'une masse étrangère molle

ou un peu ramollie en empâtent des portions de diverses manières ; ainsi on connaît de petites portions de lave dans certaines amphigènes, du schiste dans l'intérieur ou le milieu des couzeranites, et du schiste argileux en masse conique dans le centre des macles, etc.

Les *pénétrations mutuelles* entre cristaux de diverses espèces sont fréquentes dans la nature, dans les roches ignées comme dans les roches neptuniennes. Le cas le plus simple, savoir : la pénétration réciproque de cristaux d'une espèce unique, est le seul que la chimie puisse produire aisément par la voie aqueuse ; l'autre cas est bien plus difficile à imiter, quoiqu'on doive le pouvoir par les deux voies. Quelquefois cette pénétration n'est pas complète ; ainsi du quartz s'ensevelit à moitié dans l'améthyste ; ailleurs c'est un enchevêtrement mutuel, comme, par exemple, du quartz pénétrant dans de la baryte, le feldspath s'enchevêtrant avec la topaze, l'étain oxydé entrant dans un feldspath, la tourmaline et l'émeraude se pénétrant mutuellement. Il en est de même quelquefois de l'amphibole avec de la chabasia, du mica ou du graphite avec du chondrodite, du platine avec du chromate de fer, etc.

D'autres fois cela devient un *enveloppement complet*, accident qui embrasse plusieurs cas différents. Certains minéraux sont entourés d'une croûte identique avec l'espèce enveloppée, ou différente de cette dernière. Des exemples du premier genre sont offerts par certains amphiboles, idocrases, épidotes et grenats, et le second cas se présente dans des grenats encroûtés d'épidote ou de pyroxène. Toutes ces couches ressemblent à des produits de fusion.

Il arrive aussi que des minéraux cristallisés sont simplement *empâtés* dans un minéral amorphe. Ainsi on connaît le quartz hyalin, la baryte, le fluor et l'amphibole dans une enveloppe de spath calcaire, l'actinote dans du feldspath vitreux, le grenat dans du fer magnétique, le fer oxydulé dans de l'agate, l'idocrase dans du grenat blanc, de la sélénite dans une barytine amorphe, du gypse niviforme dans une boule de jaspé, etc. Un autre cas est celui où un *cristal en enveloppe plusieurs* ; ainsi il y a des cristaux qui sont composés d'une multitude d'autres plus petits, comme on le voit quelquefois dans la chaux carbonatée et le spath fluor. Il y a aussi des cristaux de certaines espèces qui en contiennent de plus petits des mêmes espèces, ou même le cristal intérieur n'a pas la forme de l'extérieur, ou bien il est sa forme primitive. Ainsi un fluorine vert ou blanc cubique contiendra un fluorine violet cubique ou quelquefois octaèdre ; un grenat vert sera dans le centre d'un cristal rouge de cette espèce, une tourmaline verte au milieu d'une tourmaline blanche, ou, *vice versâ*, une tourmaline rouge au centre d'une espèce verte, une tourmaline brune à noyau rouge, etc.

Certains cristaux en contiennent d'autres d'espèce étrangère ; en voici quelques exemples : Une émeraude dans une phénakite, une tourmaline dans une topaze, l'asbeste dans un spath magnésien, la chlorite dans le pyrargillite, du sel et de l'ambre dans une boracite, un grenat avec de la sélénite dans son intérieur ; un

quartz hyalin dans une topaze, l'ouralite; des quartz hyalins contenant des cristaux de chlorite, de talc, de mica (argentin et aventurine), d'actinote, d'amiante (q. chatoyant), d'épidote, de feldspath, de cymophane, de tourmaline, de chaux carbonatée, de titane oxydé, d'or natif, de fer titané ou de l'anhracite; des améthystes à fer oligiste, hématite aciculaire brune, bismuth sulfuré, plomb sulfuré argentifère ou argent natif; du fluorine à pyrite de fer ou de cuivre, bismuth sulfuré, cobalt arsénical, et rarement à quartz hyalin ou calcédoine; de l'or dans le plomb sélénié ou dans un spinelle; du fer oligiste, de l'or ou de l'antimoine sulfuré dans des pyrites ferrifères; une pyrite magnétique dans un cube de fer sulfuré; de l'argent sulfuré dans un fer sulfuré blanc; des cristaux de blende dans une galène, etc.

L'explication géogénique de tous ces cas d'enveloppements est tantôt aisée et tantôt difficile, par suite de la connaissance imparfaite des causes premières de la formation des cristaux, et surtout de la diversité des formes constantes de leur noyau primitif. Ainsi on comprend pourquoi des substances plus fusibles peuvent encroûter des minéraux qui le sont moins, comme le pyroxène du grenat, si par hasard ils ont été exposés à une certaine chaleur par leur juxtaposition. Un minéral plus volatil qu'un autre pourra envelopper ce dernier, comme la galène l'or. Du quartz produit d'une solution siliceuse sous une certaine température pourra, en se cristallisant, renfermer des minéraux déjà formés et insolubles dans ces eaux silicifères. Certaines enveloppes ne sont que des accidents fort postérieurs à la cristallisation des espèces enveloppées. Ainsi le fer sulfuré blanc, se produisant encore, pourra contenir maint minéral ancien. Quelquefois les cas d'enveloppement rentrent dans les métamorphoses, l'extérieur d'un minéral ayant seul subi ce changement.

D'un autre côté, le minéral enveloppé n'est quelquefois qu'un effet de filtration moléculaire dans une cavité accidentelle ou produite par un déplacement moléculaire antérieur. Dans ce cas est la sélénite dans le grenat. Mais comment s'expliquer les exemples donnés où des minéraux enveloppent des cristaux de la même espèce, simplement un peu variés, surtout lorsque le cristal enveloppé n'est pas la forme primitive de l'espèce? Les pénétrations et enchevêtrements de plusieurs minéraux composant surtout des roches ou des gangues de filons sont en partie très difficiles à comprendre (1).

Si tous ces accidents minéralogiques ne se retrouvent pas dans les roches, un certain nombre y existent en grand et exigent toute notre attention. Ainsi certaines roches sont divisées en formes régulières qui sont liées à certaines circonstances d'origine ou de refroidissement, ou de dessiccation. Les roches prismatiques sont quelquefois courbes et divisées transversalement par des fentes, quelquefois

(1) Voyez Fournet, *Ann. de la soc. d'agric., Hist. nat., etc.*, de Lyon, 1845, et *Bull.*, 1845 vol. II, pag. 579.

remplies par des minéraux ou mélanges particuliers. Les pénétrations des roches les unes dans les autres s'observent dans les dépôts neptuniens comme dans les amas ignés. Au contact de ces derniers avec les roches stratifiées, elles ont des allures toutes particulières et variées. La cavernosité est un accident des roches de tout genre; elle est tantôt le résultat d'un état originaire de formation, comme dans les travertins et les laves, et tantôt une suite de destructions postérieures par la décomposition ou la filtration des eaux, comme dans le cas de ces cailloux calcaires creux et tapissés de chaux carbonatée dans des poudingues tertiaires, etc. L'acide carbonique est un des agents principaux dans ces dissolutions. Beaucoup de porosités et de fentes des roches sont trouvées remplies d'eau, fluide qui n'a que ce gisement, ou forme des nappes dans des lits arénacés entre des couches impénétrables à l'eau.

Ce qu'on nomme décomposition dans les roches n'est qu'une espèce de métamorphose chimique, dont on n'a pas encore assez estimé les résultats possibles, témoin cette conversion du calcaire en dolomie, d'après des observations récentes. Les parties constituantes de l'air et de l'eau, si aisés à décomposer, leur acide carbonique, la présence de certains éléments terreux et métalliques, ou même celle de sels divers, sont les conditions nécessaires pour ce jeu des affinités. Ça et là et dans divers temps, des acides différents et des températures variées ont pu favoriser et compliquer ces modifications intérieures. Ainsi se sont produites avec le temps des altérations, des modifications considérables, aussi bien que des décolorations et colorations. Enfin l'infiltration comme la sublimation ont pu distribuer des parties métalliques ou bitumineuses dans les roches.

Les *associations minéralogiques* se répétant dans des contrées éloignées les unes des autres sont le champ d'observation qui doit conduire le plus sûrement à des explications rationnelles de géogénie. Jusqu'ici le plus petit nombre ont été appréciées et utilisées, quoique les géologues, et surtout les minéralogistes, en aient relaté une infinité. Malheureusement toutes ces indications sont loin d'être aisées à employer, car la juxtaposition de certains minéraux n'établit pas toujours leur contemporanéité, fait qui est la chose principale. Ensuite, deux ou trois opérations chimiques peuvent avoir produit une association sans qu'on s'en aperçoive au premier coup d'œil, et même certaines actions mécaniques peuvent quelquefois compliquer la question. Ainsi les associations de minéraux et minerais dans les filons sont bien plus difficiles à débrouiller que celles qui sont empâtées dans les roches, et la difficulté croît avec le nombre des minéraux réunis ensemble. D'un autre côté, on peut s'expliquer assez bien la contemporanéité de deux ou trois minéraux contenant un ou deux éléments caractéristiques semblables, surtout si ces derniers sont des acides, de la silice, de la magnésie, de la chaux, de l'alumine, etc., ou des métaux; mais on se trouve quelquefois à court d'explication quand il s'agit de se rendre compte de l'association de plusieurs minéraux assez divers. Dans ce cas, il faut comparer les propriétés de leurs éléments ou même

des composés de ces derniers, car les décompositions doubles sont une des voies habituelles de la nature. De plus, il ne faut jamais oublier que certains principes, certains flux, si j'ose m'exprimer ainsi métaphoriquement, ont pu disparaître, lors même que leur présence, même en quantité minime, a pu aider beaucoup à la formation de l'assemblage qui nous étonne.

Sous ces rapports on comprend assez bien à présent les associations suivantes ; savoir : celle de l'axinite et de la tourmaline, celle de la cymophane avec ce dernier minéral et le béryl, celle du phosphorite avec la wavellite, celle de l'apatite avec le herderite, celle de la topaze avec le lépidolithe, celle du phosphorite avec le spath fluor et la topaze, celle du fluellite et du fluorine avec la wavellite, celle du carpholite avec le fluor et le quartz hyalin, celle de l'apatite, de la tourmaline et du fluorine, etc. Les acides borique, phosphorique ou fluorique expliquent l'association binaire des minéraux susdits, tandis que les associations ternaires sont comprises par les propriétés similaires de ces acides, surtout à l'égard du calorique et de l'eau, mais dans certaines circonstances particulières. Ainsi l'acide fluorique se réduit aisément en gaz à une température assez basse et se vaporise en se combinant avec des vapeurs aqueuses. L'acide phosphorique ne se vaporise, il est vrai, qu'à un degré plus élevé de chaleur ; mais sa grande affinité pour l'eau contrebalance cette différence. L'acide borique ne se volatilise pas, mais, vu son affinité pour les vapeurs aqueuses, celles-ci peuvent le transporter. Cette dernière propriété de l'acide borique explique aussi sa concomitance dans certains volcans avec l'acide sulfureux, dont l'eau dissout aisément de grandes quantités. Aussi ne voit-on plus de difficultés à trouver la boracite dans du gypse avec du soufre, et on comprend aussi comment l'acide phosphorique peut se trouver dans le borate de soude.

De même les propriétés des acides sulfureux et hydrochlorique, et leur existence simultanée dans les volcans, nous débrouillent la cause de l'association du gypse ou de l'anhydrite avec le sel gemme, le soufre, et même avec l'arsenic sulfuré, le fer spéculaire et le bitume, qui sont tous des minéraux de nos volcans. On comprend aussi la raison de la formation contemporaine de la glaubérite avec le sel gemme, et on ne se trouve pas non plus embarrassé par la présence d'un peu de lignite ou de houille, de l'ozocérite, et même dans certains cas de la strontiane sulfatée.

Les trois bases salifiables alcalines, les oxydes de calcium, de barium et de strontium, ont des propriétés assez semblables par rapport à la faculté de décomposer l'eau à la température ordinaire, et à leur solubilité dans l'eau froide ou chaude. L'oxydation de ces métalloïdes peut même provenir de la décomposition de l'eau. Les eaux minérales nous offrent encore des sels de ces terres. D'une autre part le sulfate de baryte est insoluble dans l'eau, celui de strontiane est peu soluble et celui de chaux l'est beaucoup plus. Supposant des eaux chargées de ces oxydes, la précipitation de sulfates y serait la conséquence de l'arrivée de va-

peurs sulfureuses, ou même de l'hydrogène sulfuré pourrait presque seul produire cet effet dans certaines circonstances. Mais les eaux minérales n'amènent pas des oxydes à la surface terrestre; leurs parties constituantes alcalines (soude, potasse, lithine), terreuses et métalliques (fer, manganèse, zinc, cuivre) s'y trouvent dissoutes en carbonates, sulfates et hydrochlorates; rarement on y a reconnu les acides borique, phosphorique, fluorique, nitrique et acétique. On est donc ramené dans la géogénie à la théorie de Bischof, savoir : celle des carbonates terreux ou rarement métalliques en présence de sulfates alcalins dans des eaux thermales, et celle des doubles décompositions aidées par l'intermédiaire de l'eau (voyez ci-dessus, p. 11). De même, les oxydes terreux insolubles dans l'eau, savoir : la magnésie, l'alumine, etc., n'ont pu entrer dans la composition des minéraux par la voie aqueuse que par leur dissolution sous forme de sels, et même les moins solubles de ces derniers ont pu acquérir cette propriété par un excès d'acide. La silice, au contraire, s'acidifiant aisément et formant des silicates, a été dissoute aisément en silicates alcalins, surtout dans des eaux thermales. L'alumine forme aussi des aluminates, mais la silice imprègne souvent aussi des vapeurs aqueuses et réunie à l'acide fluorique elle forme même un gaz. Telles sont les propriétés principales des terres, qu'expliquent beaucoup d'associations de minéraux avec ces bases, si du moins on y ajoute leurs propriétés relativement au calorique, savoir d'être infusibles comme oxydes, mais plus ou moins fusibles avec des alcalis, ou bien d'être réunies deux ensemble, comme, par excellence, la silice et l'alumine. Ainsi on trouve tout naturel d'abord l'association de la baryte et la strontiane sulfatée avec la chaux carbonatée, ou avec le quartz hyalin et le fluorine. Puis, on entrevoit la liaison chimique de l'association de la zoïsite, de l'actinote et de l'essonite; de celle de l'épidote avec l'amphibole et le grenat, ou même les remplacements complets de l'amphibole par l'épidote. On s'explique pourquoi la staurotide se trouve avec le disthène, l'idocrase avec le grenat; la tourmaline avec le grenat dans le micaschiste; l'eudialyte et le zircon avec la sodalite; le grenat avec l'amphibole et le feldspath; l'amiante avec l'adulaire, le quartz avec la chaux carbonatée; le béryl dans le quartz; l'helvine avec le fluor; la cryolite renfermant des cristaux de quartz; l'anorthite dans du calcaire rejeté de la Somma avec du pyroxène et du pléonaste; l'association de diverses espèces du groupe des feldspaths, par exemple, celle de la pétalite et du triphane, minéraux à lithine; celle de la haüyne avec la néphéline et l'amphigène; celle de la chabasia avec l'analcime, et l'exclusion de la mésotype, etc.

Comme les analyses de ces divers minéraux donnent l'explication de leur association, je me contente d'en ajouter quelques unes en détail comme exemples. Ainsi l'association zéolitique susdite est motivée par la présence de deux alcalis et de beaucoup d'eau, tandis que la mésotype n'a qu'un alcali et plus d'alumine que la chabasia et l'analcime réunies; l'association de la haüyne surtout avec la néphéline a été provoquée par une similarité de parties constituantes,

mais en d'autres proportions, il en est de même de l'eudialyte et du zircon. La cryolite contient du quartz, par suite des rapports de la silice avec l'acide fluorique, etc. Il y a d'autres associations où l'influence des substances environnantes ou du mode de dépôt est évident. Ainsi, l'arragonite en cristaux dans des argiles marneuses gypsifères n'a jamais été vue qu'en stalactites dans son association avec le fer spathique ; sous certaines températures particulières, ce carbonate serait resté une stalactite calcaire. Certaines exclusions d'association qu'on observe dans la nature frappent quelquefois, car elles ont même lieu entre des minéraux dont les parties constituantes ne sont pas tout à fait dissimilaires. Ainsi l'émeraude n'a pas son gîte dans le feldspath, mais dans des micaschistes quartzeux.

Passant aux *minéraux métallifères* et *minerais*, on y retrouve des associations qui s'expliquent assez bien par les analyses, comme celle du liévrîte avec le pyroxène, le pyrosclérite et le fer oligiste ; celle du cronstedtite avec le fer hydraté, des pyrites et la chaux carbonatée ferrifère ; ou bien avec le kakoxène, la wavelite et le phosphorite siliceux ; celle du fer oxydulé avec le corindon ou le quartz rubigineux ; celle du fer oxydé avec le phénakite ou avec le quartz et la baryte ; des minerais de fer avec la baryte, les spaths calcaire magnésien et perlé et quelquefois le fluor ; l'améthyste avec les fers oligiste, pyriteux, carbonaté et hématite ; le manganèse oxydé avec la chaux carbonatée et la baryte ; le molybdène sulfuré avec l'apatite dans du quartz ; l'urane phosphaté avec la tourmaline ; l'allophane avec du cuivre pyriteux et vert, et du fer hydraté ; l'argent iodé avec la stéatite ; le gadolinite avec le cérérite et le zircon, et même le fer oxydulé avec une vingtaine de minéraux (1).

Parmi les minerais, il y a des associations qui ne résultent que de la composition voisine des bases ou des acides dans certaines espèces. Dans ce cas sont les associations suivantes ; savoir : du fer oligiste en druses dans du fer oligiste rouge fibreux ; du fer oxydulé avec du fer oligiste ; de la galène avec des pyrites de fer et de cuivre ; de la galène avec de la blende ou avec de l'argent sulfuré ; des pyrites, de l'or et du fer oligiste dans une gangue de quartz et de spath calcaire ; du chromate de plomb avec du carbonate et phosphate de plomb ; du plomb molybdaté avec du plomb phosphaté et du fluor ; de l'antimoine sulfuré avec de l'argent sulfuré antimonié, de l'argent natif et du plomb sulfuré ; du cuivre natif avec du cuivre pyriteux, du fer sulfuré et hydraté et spathique, ainsi que du cuivre gris argentifère ; du sulfure de cuivre avec de la pyrite cuivreuse ; du palladium avec de l'or et du plomb sélénié ; de l'amalgame ou de l'argent iodé avec de l'argent natif et muriaté ; du cobalt arsénical avec du nickel arsénical.

D'autres fois, certains minerais n'étant résulté que de la *décomposition* d'autres

(1) Ce sont l'amphibole actinote et grammatite, l'épidote arendalite, le grenat, l'idocrase, l'œrsedite, l'andalousite, la pétalite, la parenthine, le diaspore, le dichroïte, l'axinite, le pyrosmalite, le pikrosmine, le picrolite, l'anthosidérite, le pérovskite, le stilpnomelune, l'apophyllite, le datolite-botryolithe, le quartz, le sphène, l'apatite.

minéraux, il est naturel de trouver ces espèces ensemble, comme on trouve l'aluminate avec le gypse et l'argile. En voici des exemples : du fer phosphaté encroûtant du fer hydraté et de l'argile ; de l'hématite rouge avec du fer oligiste et du fer hydraté brun ; du fer et du zinc sulfatés ; des sulfures associés avec des carbonates, sulfates, arséniates ou phosphates, par exemple, de la galène avec du carbonate et phosphate de plomb, du fluor et de la baryte ; du cuivre carbonaté avec du cuivre phosphaté et oxydulé ; de l'argent sulfuré avec de l'argent et du cuivre muriaté ; du cuivre natif avec du cuivre oxydulé rouge et de la malachite, ou avec de la chrysocolle et du cuivre sulfuré ; du cobalt arseniaté avec du nickel arsenical ; du nickel arseniaté avec du nickel sulfuré ; du molybdène ochreux avec du molybdène sulfuré, etc. etc.

Les associations métalliques en général sont très intéressantes, parce qu'elles offrent des constances remarquables, dont les géologues ont trop longtemps négligé de rechercher les explications rationnelles. Les principales sont les suivantes, savoir : le tellure avec l'or et l'antimoine ; l'or avec le bismuth et le fer hydraté ; l'or avec les pyrites de fer, le fer oxydé et oligiste et le quartz ferrugineux ; le platine avec l'or, le fer oxydulé, le palladium, l'osmium et l'iridium ; la galène avec l'argent sulfuré, presque toujours avec de la blende, rarement avec l'arsenic sulfuré rouge et encore moins souvent avec l'urane oxydulé ; les sulfures de plomb et de zinc quelquefois avec de la calamine et le cuivre carbonaté, quelquefois avec de l'argile ferrugineuse ou de l'hydrate de fer ; les minerais de fer associés à ceux de cuivre et très souvent sans manganèse ; le cuivre avec des minerais d'argent ou de cobalt ; l'étain avec les minerais de schéelin et d'urane, le molybdène sulfuré, les pyrites arsenicales, le fluor, la topaze, la tourmaline, l'apatite, l'hérodrite et l'albite ; le mercure seul et rarement avec l'argent et le fer ; l'arsenic avec le cobalt ; le fer oxydulé avec le fer titané ; les oxydes de fer avec ceux de manganèse ; le nickel arsenical avec le fer spathique et pyriteux ; l'antimoine avec le plomb sulfuré, l'argent, le fer et le quartz ; le bismuth et le molybdène sulfuré avec l'apatite (dans du quartz, l'urane), le tantalite, le béryl et le feldspath ; l'anatase avec le turnérite, le crichtonite, l'albite, l'épidote, le titane oxydé et le quartz ; le chromate de plomb avec d'autres minerais de plomb, quelquefois avec de l'or et du quartz dans l'itabirite ; l'or rarement avec l'argent sulfuré ; le plomb molybdaté avec l'argent iodé, natif, etc.

L'association des métaux présente une multitude de faits intéressants dont on a négligé jusqu'ici l'application, quoique nos connaissances chimiques me paraissent le permettre jusqu'à un certain point.

Tous les métaux ne se trouvent jamais tous ensemble ; plusieurs existent souvent entremêlés, ou du moins sont dans le voisinage les uns des autres, en même temps que d'autres ne s'offrent qu'isolés dans les entrailles de la terre, tandis que d'autres semblent s'éviter ou n'appartiennent qu'à certaines formations ou à différentes périodes. Or, il est évident que ces particularités, loin d'être dues au

hasard, doivent dépendre de certaines propriétés chimiques individuelles des métaux, ou quelquefois peut-être de leur distribution géographique ou tellurique.

Les métaux forment en général des alliages, et se trouvent réunis ou séparés, parce qu'ils sont entre eux dans certains rapports déterminés relativement à certaines de leurs propriétés. Ces propriétés résultent de trois causes principales, savoir : les effets du *calorique*, de l'*oxygène* et des *acides*. Le calorique donne lieu aux divers degrés de fusibilité ou volatilité des métaux, ou, en d'autres termes, la possibilité ou l'impossibilité d'être fusible ou volatil dépend des rapports propres de chaque métal avec la chaleur. Une oxydation plus ou moins grande et diverse, ou même une acidification sont produites par l'oxygène, tandis que les acides donnent lieu à des sels très divers ou seulement à un très petit nombre de ces derniers. A ces agents modificateurs il faut encore ajouter les *propriétés électro-magnétiques* des métaux, à moins qu'elles ne soient déjà déterminées par le calorique, ou qu'il faille confondre une fois pour toutes ces deux puissances mobiles de la nature inanimée.

Il est tout naturel que, parmi les métaux, ceux-là se grouperont ensemble qui posséderont le plus de propriétés semblables sous ces trois ou quatre rapports ; au contraire ceux-là s'éviteront ou ne pourront pas se trouver ensemble, qui se distinguent par des propriétés tout à fait opposées. Quelques uns même pourront, d'après cela, ne paraître dans la nature que dans un isolement total. Cependant, pour les métaux vivant en famille, cette affinité réciproque ou sociabilité, si j'ose m'exprimer ainsi, ne dépend pas toujours d'une identité ou d'une similarité approximative dans toutes leurs propriétés ; mais quelquefois elle paraît n'être produite que par la présence marquée d'une propriété déterminée, quoique tous les métaux ainsi associés ne la possèdent pas tous au même degré.

D'après ces principes, les chimistes ont divisé les métaux en diverses classes dont l'emploi s'applique fort heureusement à la géogénie. Ainsi, par exemple, les propriétés analogues du fer, du manganèse, du zinc, du cadmium et même de l'étain expliquent fort bien plusieurs associations diverses de ces métaux. La fusibilité assez semblable du fer et du manganèse, et la solubilité de leurs carbonates dans les eaux minérales, éclaircissent le pourquoi de leur association fréquente. On en peut presque dire autant du zinc et du cadmium ; mais comme le zinc se volatilise et a une fusibilité particulière à un degré au-dessus de la chaleur rouge, il a pu arriver que ce métal ait formé quelquefois presque tout seul des dépôts où l'on ne trouve guère associé qu'un peu de plomb ou de fer.

L'étain, d'une autre part, est un métal qui s'éloigne encore plus de tous les autres métaux par sa fusibilité particulière, sa non-volatilisation et sa propriété de s'oxyder sous une haute température ; en même temps que l'oxydation facile du fer, même à basse température, explique la fréquence de ses oxydes dans la nature.

L'existence du *mercure*, seul ou tout au plus avec un peu d'hydrate de fer ou de sulfure de fer, et son habitude de se présenter à l'état natif fluide ou uni au soufre, au sélénium, à l'iode ou au chlore, tout cela dépend de la place isolée que ce métal occupe parmi les autres, parce qu'il n'absorbe de l'oxygène que sous un certain degré de température, et non pas sous celui de la chaleur rouge, qu'il ne décompose pas l'eau, et s'unit aisément au soufre, au sélénium, à l'iode et au chlore. Au contraire, dans la nature, le mercure n'offre pas de combinaisons avec les acides phosphorique, carbonique et borique, parce qu'on ne peut que très difficilement produire la première combinaison, et que les deux autres ont été réputées jusqu'ici comme impraticables.

L'*or*, le *platine*, l'*iridium*, l'*osmium*, le *palladium*, etc., se trouvent souvent ensemble, et existent à l'état natif ou en alliages, parce que tous ces métaux sont plus ou moins réfractaires ou même infusibles, parce qu'ils n'absorbent pas l'oxygène et ne décomposent pas l'eau sous aucun degré de chaleur. Comme le palladium entre assez aisément en combinaison avec le soufre et le sélénium, on pourra peut-être découvrir du sulfure ou même du sulfate de palladium, comme on a déjà trouvé du platine sélénifère. Le platine et l'iridium pourraient même exister dans la nature unis à quelques acides, du moins avec l'acide sulfurique; probablement un certain degré commun d'infusibilité est la cause de la réunion ordinaire du platine avec certains autres métaux, comme le rhodium, l'iridium, l'osmium et le palladium : métaux qui, comme l'éponge de platine, décomposent l'air atmosphérique et produisent de l'eau au moyen d'un courant d'hydrogène.

L'*argent* appartient à la même division des métaux que ces derniers; néanmoins il s'en distingue, parce qu'il s'unit, sans difficulté, au soufre, au sélénium, à l'iode et au chlore, et forme aisément des alliages avec plusieurs autres métaux. Aussi connaît-on dans le règne minéral une grande quantité d'espèces de sulfures d'argent, purs ou composés, de l'argent sélénié et iodé, ainsi que des alliages avec le mercure, le cuivre, l'antimoine, le plomb, le fer, etc., quoique ces derniers métaux possèdent cependant plusieurs autres propriétés que n'a pas l'argent.

Quant aux métaux qui peuvent s'unir avec l'oxygène aux plus hautes températures, huit d'entre eux sont capables de s'acidifier, et tous sont très réfractaires ou même réputés fusibles; ce sont l'arsenic, le molybdène, le chrome, le tungstène, le columbium, l'antimoine, le tellure et même le titane. Huit autres de ces métaux ne peuvent former que des oxydes, savoir : l'urane, le cérium, le lanthane, le cobalt, le bismuth et le cuivre, le nickel et le plomb. Nous faisons abstraction ici des métaux récemment découverts et encore peu connus, parmi lesquels au moins le vanadium, l'ilménium, le niobium, le pélopium, paraissent aussi capables d'absorber de l'oxygène et même de s'acidifier.

D'après ces distinctions, on voit tout de suite pourquoi les métaux de la première classe se trouvent souvent ensemble, et que c'est aussi le cas pour plusieurs métaux de l'autre classe, comme, par exemple, dans l'association du *cuivre* et du *plomb*, etc., etc. Une autre raison de la réunion de l'*arsenic* et du *molybdène* est que ces métaux se subliment sans se fondre, et entrent dans des combinaisons semblables avec le soufre; de plus, le molybdène s'acidifie en se volatilissant, d'où provient le molybdate de plomb, et l'arsenic forme aussi des arséniates. Le *chrome* n'étant attaquant par aucun acide, on ne le trouve, au contraire, qu'en oxyde ou bien en acide uni au plomb ou au fer. De même, les propriétés de s'acidifier que possèdent l'antimoine, le tungstène et le vanadium, rendent compte des antimoniates, des titanates, des tungstates et vanadates du règne minéral. Mais il n'y a que quelques métaux qui aient de la tendance à s'unir aux acides métalliques; le plomb et le fer, par exemple.

L'*urane* et le *molybdène* s'associent ensemble parce qu'ils ont quelques propriétés communes, comme, par exemple, d'être tous deux extrêmement réfractaires. Des propriétés contraires ont produit probablement l'association des métaux suivants, savoir: le *tellure*, le *plomb*, le *bismuth* et le *cuivre*. On trouve ensemble le *cérium* et le *titane*, parce qu'ils sont également infusibles, se subliment, et, sous un haut degré de chaleur, passent à l'air à l'état d'oxydes.

Le *cobalt* et le *nickel* se présentent ensemble, parce qu'ils sont réfractaires à certain degré, se combinent avec le soufre, et ont des propriétés magnétiques. L'*arsenic* et le *cobalt* possèdent des propriétés différentes, parce que ce dernier n'est pas volatil, tandis que l'autre l'est et ne fond pas sous la pression atmosphérique; il a donc fallu une plus haute pression pour que l'arsenic pût se fondre comme le cobalt, ce qu'on peut vérifier par l'expérience.

La facilité avec laquelle l'*arsenic* s'unit au soufre, et sa volatilisation à 180° sans se fondre, sont les causes probables de l'existence dans la nature de ce métal uni au *cobalt* et au *nickel*, ou du moins de leur association.

Comme les relations de combinaison de l'arsenic et du phosphore se ressemblent beaucoup, on connaît ces deux corps abondamment en combinaison avec certains métaux de la seconde classe, comme le plomb, le cuivre, ainsi que le fer.

L'*antimoine* s'oxyde aisément sous une haute température; c'est la cause de la fréquence de ses oxydes dans le règne minéral; il s'unit sans difficulté avec le soufre, d'où sont provenus les divers sulfures d'antimoine.

Le *plomb* entre facilement en combinaison avec le soufre, le phosphore, le sélénium, l'iode et le chlore, aussi a-t-on découvert tous ces composés dans la nature, à l'exception de celui de l'iode, qu'on peut déjà prévoir. D'un autre côté, les propriétés du plomb, de produire avec les acides métalliques des sels, expliquent la formation des plombs arséniaté, chromaté, molybdaté, tungstaté,

antimonié et vanadé : de même on se rend raison de l'origine des espèces de plomb phosphaté et murié.

Le *plomb* et le *zinc* n'appartiennent pas à la même classe de métaux, mais tous les deux bouillonnent à la chaleur blanche, et s'unissent aisément au soufre; c'est probablement la raison pour laquelle on les remarque si souvent ensemble sous la forme de minerais sulfurés; peut-être la même cause leur associe assez fréquemment un peu de pyrite cuivreuse ou de sulfure de cuivre. Les rapports de combinaison du *cuivre*, de l'*argent* et du *cobalt* avec le soufre, ont rendu probablement aussi possibles les associations de ces métaux, malgré leurs différences notables de fusibilité. D'une autre part, la concomitance de l'*argent* et du *plomb* a ses raisons probables dans les propriétés du premier métal de s'unir avec autant de facilité que le plomb à beaucoup de corps, ce qui se vérifie dans la nature par leurs sulfures, sélénures et iodures. On pourra peut-être même ajouter bientôt leurs bromures, dont un est déjà connu; cependant la fusibilité de ces deux métaux est encore bien différente; leur affinité pour ces autres corps susnommés paraît contre-balancer cette cause d'isolement réciproque.

L'association du *plomb* avec l'*antimoine* peut-elle provenir de la volatilité de leurs oxydes, outre d'autres propriétés identiques de leur état en métaux et à l'égard du soufre? Ne faut-il pas aussi rechercher la cause de la concomitance de l'*urane* et du *schélium* dans des propriétés communes relatives à l'oxygène et à l'air, et leur oxydation sous certains degrés de chaleur? L'*étain* s'associe à ces deux métaux, peut-être en conséquence de leurs rapports particuliers avec le soufre et leur oxydation possible. Le *cérium* et le *tantale* se trouvent ensemble à cause de leur état très réfractaire; mais pour le *fer* et le *titane*, qui sont, à cet égard, dans des rapports si différents, leur réunion intime dépendra peut-être de la faculté du titane de s'oxyder et de s'acidifier à de hautes températures, ou même il faudra tenir compte de leurs propriétés électro-magnétiques.

Le *nickel* existe dans la nature avec le *manganèse*, l'*arsenic* avec le *fer*, quoique ces métaux appartiennent à des groupes métalliques différents; la cause probable de l'association des deux premiers pourrait être leur difficile fusion, et pour les deux autres, leurs propriétés communes à l'égard du soufre. De même, on peut s'expliquer la concomitance du *tellure*, de l'*antimoine*, du *bismuth* et de l'*or*, puisqu'on sait que l'*or* est assez fusible, tandis que les trois autres métaux se volatilisent à une forte chaleur rouge, et que les rapports de combinaison du tellure se rapprochent beaucoup de ceux du soufre, dernier corps qui ne s'unit aucunement à l'*or*.

Parmi les métalloïdes, le *soufre* et le *carbone* entrent surtout en combinaison avec les métaux de notre première classe, savoir: le *fer*, le *manganèse*, le *zinc* et même l'*étain*, ainsi qu'avec le *plomb*. Le soufre seul s'unit avec plusieurs métaux de la seconde classe, savoir: le *molybdène*, l'*antimoine*, le *bismuth*, le *cuivre*, le *nickel* et le *plomb*. Un plus petit nombre de métaux s'unit au

chlore, comme le plomb, le cuivre, le fer, le mercure, l'argent. Un nombre encore plus exigü se combine avec le *sélénium* comme le cuivre, l'argent, le cobalt, le plomb et le platine. Le *brome* n'est connu jusqu'ici dans le règne minéral qu'unî avec l'argent et dans les eaux salées. Le *bore* et le *fluor* n'ont pas encore été découverts en combinaison avec des métaux, quoique ces corps, séparés ou unis, paraissent avoir joué comme acides un rôle assez important dans la formation de certains dépôts métallifères, et existent même dans des minéraux qui accompagnent ces derniers. C'est le cas pour l'étain, comme je l'ai dit ailleurs.

Dans la nature, la *silice* ne forme des silicates qu'avec assez peu de métaux; cette combinaison est même assez rare pour les cas où on peut croire à une formation ignée par la voie sèche, comme, par exemple, pour certains composés de cérium et de silice, l'allunite et le cérium oxidé silicifère; au contraire, elle est plus fréquente dans des espèces de minerais pour l'origine desquelles on peut supposer avec vraisemblance que l'eau, surtout sous un certain degré de chaleur, a joué un rôle principal. Dans ce cas sont certains minerais de cuivre, de zinc, de fer, de manganèse, etc. Plusieurs hydrates silicifères métalliques peuvent aussi avoir été produits de la sorte, quoique d'autres, tels que certains hydrates de fer, soient loin d'avoir demandé beaucoup de chaleur pour leur formation. D'une autre part, je rappelle que des eaux très acidules expliquent parfaitement la précipitation chimique de certains carbonates métalliques, comme ceux du cuivre, du zinc, du manganèse, du fer, etc., qui dénotent assez cette origine par leur structure stalactitifforme, botryoïde ou testacée.

En réunissant ces courtes observations à ce que j'ai exposé déjà sur les terres et les acides, on y trouve des explications satisfaisantes, même pour des associations de minerais et de minéraux dans les filons ou les couches, etc.

Les *roches* offrent des associations tout aussi particulières que les minéraux, mais plus aisées à comprendre. Dans les dépôts neptuniens, la réunion ordinaire est celle des grès, des argiles et des calcaires avec leurs roches de passage, leurs poudingues, des dolomies et des gypses accidentels. Les roches massives offrent certains types communs d'association, malgré leur nature différente et les époques diverses de leur apparition. Ces types sont granitoïdes, porphyriques, variolaires, amygdalaires, compactes ou poreux, et rarement vitreux. Ainsi, si les trachytes diffèrent des porphyres, s'il en est de même des basaltes à l'égard des trapps, tous ces dépôts divers offrent les plus grands traits de ressemblance sous les rapports précédents.

Enfin, nous voyons beaucoup de minéraux et minerais liés à certaines roches, ou même un certain nombre d'entre eux isolés ensemble dans quelques roches. Ainsi on peut rappeler le silex des calcaires, le ménilite des marnes, l'opale des agglomérats trachytiques, le fer titané des roches volcaniques, le sphène des siénites, le titane oxidé des quartzites, des gneiss et des granites, le mercure natif du granite décomposé, le couzeranite et feldspath de certains calcaires modifiés,

les zéolithes et les agathes réunis dans les trapps et les basaltes, etc. D'une autre part, on connaît déjà plus de vingt espèces minérales dans la siénite zirconienne (1), et la richesse non moindre des pegmatites ou granites à albite (2). Les minerais de cérium, d'étain et de tantale sont plus fréquents dans le granite à albite que dans les autres roches de ce genre ; tandis que la pyrite, une pseudomorphose complète du dichroïte, ainsi que plusieurs autres minéraux, se rencontrent dans ces dernières. De même le miascite de l'Oural (3) et les serpentines (4) offrent une série de minéraux, dont plusieurs sont propres à chacune de ces roches. L'euphotide, le trachyte, les phonolites, les dolerites et surtout les laves, empâtent ou renferment plus ou moins d'espèces particulières, dont l'association a quelquefois une origine évidente, vu la composition de ces roches, comme, par exemple, pour la natrolite des phonolites, la néphéline de certaines roches ignées, le péridot et l'amphigène des laves. Ailleurs, certains minéraux caractérisent certaines roches massives, comme, par exemple, l'épidote de certains porphyres, tandis qu'on ne voit pas ce minéral dans d'autres roches semblables d'âge différent.

Dans les roches schisteuses il suffira de nommer le schiste argileux avec ses macles, couzéranites, dipyres et amphiboles, avec ses chaux carbonatées, ses sulfures de fer, de plomb, de cuivre, de zinc et de mercure. Le schiste chloriteux offre, au contraire, le fer oxydulé, le fahlunite, le dichroïte, l'eucrase, etc. ; tandis que les roches talqueuses empâtent, en général, de l'actinote, de la tourmaline, de la topaze, du zircon, de l'émeri, du talc graphique, de l'automalite, de la chaux magnésifère, des pyrites, de l'or, du jade, etc. Les minéraux des micaschistes, des gneiss et des leptinites, comme ceux des divers grès et calcaires, pourraient être cités ici, si ce n'étaient des choses trop connues.

Je terminerai ce mémoire par une *récapitulation générale de la géogénie la plus probable des minéraux et des roches*, d'après nos connaissances actuelles.

Quels sont les minéraux et les minerais formés par la *voie aqueuse* ? Dans la classe des sels, quelques espèces de notre groupe des sels proprement dits et presque tout notre groupe de minéraux salins. Dans la classe des métaux, cer-

(1) Ce sont les minéraux nommés sphène, élaéolite, woehlérite, pyrochlore, polymignite, leucophane, mosandrite, esmarkite, wernérite, thorite, ægyrine, ostranite, fluorine, analcime, méso-type, yttria phosphaté, molybdène sulfuré.

(2) Ce sont les minéraux nommés mica à lithine, quartz rose, amblygonite, tourmalines vertes et rouges, bérils colorés et incolores, zircon automalite, monazite, dichroïte gigantolite, yttrio-tantalite, gadolinite, allanite, uranite, etc.

(3) Ce sont les minéraux nommés amphibole, épidote, sodalite, davyne, apatite, zircon, corindon, pyrochlore, mengite, aeschnite, titanite, fer titané et urano-tantalite.

(4) Ce sont les minéraux suivants, savoir : fer chromé, diallage, asbeste, amianthe, grenat, idocrase, pyroxène, amphibole, spinelle, ilménite, talc, magnésite, brucite, kérolite, picrosmine, clin-tonite, stéatite, pimélite, marmolite, némalite, quartz, chrysoprase, chaux carbonatée magnésifère, fer oxydulé magnétique, pyrite arsenicale, prismatique, cuivre sélénié argenté, etc.

tains oxydes, surtout des oxydes hydratés de fer et de manganèse; certains carbonates de fer, de cuivre, de zinc et de manganèse; certains carbonates silicatés (cuivre siliceux, malachite, etc.), et, en général, les minerais comme les minéraux à surface concrétionnée, ondulée, botryoïde ou en stalactites. Dans la classe des minéraux proprement dits, les quartz, les zéolithes, les minéraux hydratés et argileux; et dans celle des combustibles, certaines tourbes, des lignites, des houilles, des résines et du soufre.

Quels sont les minéraux et minerais formés par la *voie ignée*? Dans la classe des sels, quelques sels proprement dits (sulfate et hydrochlorate d'ammoniaque, sel marin). Dans la classe des métaux, la plupart des métaux natifs, surtout ceux qui ne se trouvent pas en sulfures dans la nature; les oxydules, certains oxydes; les sulfures, certains métaux arsenicaux, les molybdates, les chromates, les tungstates, les vanadates, les séléniures, peut-être quelques phosphates. Dans la classe des minéraux proprement dits, la plupart des minéraux métallifères, excepté le plomb gomme, nos groupes des gemmes, des grenats, des amphiboles, des micas, des feldspaths, des macles, des amphigènes, le diamant, certains soufres, bitumes, anthracites et graphites.

Les substances produites par la voie aqueuse ont été formées à froid ou à chaud; un certain degré de température a aidé, en général, à leur formation, et plusieurs n'ont été déposées que par des eaux thermales et minérales. Les espèces formées par l'eau, à la température environ du lieu du dépôt, seraient les suivantes, savoir: quelques sels proprement dits; dans le groupe des minéraux salins, des carbonates de chaux et de magnésie, de la sélénite; dans la classe des métaux, certains oxydes hydratés de fer et de manganèse, certains carbonates, peut-être certains carbonates siliceux, certains minéraux argileux, certaines tourbes, des lignites, des houilles, des résines, ainsi que du soufre. La formation de tous les autres minéraux et minerais exige un certain degré de température qui ne se trouve que dans les eaux thermales, à l'exception du cas des mines, où il se produit quelquefois une température factice par suite des travaux ou par suite de la décomposition de pyrites. L'acide carbonique des eaux minérales a été un des plus grands dissolvants et les alcalis de puissants aides.

Les minéraux et minerais *ignés* peuvent avoir été formés des manières différentes suivantes, savoir: par sublimation, par cristallisation de refroidissement ou de dévitrification, par métamorphisme de contact, ou par métamorphisme général ou latent.

Les espèces minérales sublimées peuvent se distinguer en celles qui ne sont que les produits d'une *distillation* opérée sur des minéraux déjà existants; celles qui sont des *sublimations véritables* des profondeurs du globe, et celles qui n'ont été formées qu'à l'aide du véhicule de *vapeurs aqueuses acides*.

Certaines naphtes et certains bitumes peuvent être regardés comme des *distillations* exercées par la chaleur souterraine sur des dépôts de combustibles,

des roches très bitumineuses, des calcaires ou schistes pétroliens, tandis que le caoutchouc minéral ne serait qu'un produit condensé du même genre, peut-être sous une certaine pression dans des cavités. Ceci n'exclut pas la possibilité de la production volcanique de quelques substances de toute pièce par des combinaisons gazeuses. J'ai aussi énoncé la possibilité que certain mercure coulant des dépôts récents, et même du plomb natif dans des trapps seraient aussi des cas de sublimation secondaire analogue à la distillation.

Les *sublimations véritables* comprennent certains métaux natifs, certains oxydules, oxydes et peroxydes métalliques, comme la litharge, le cuivre oxydé et le fer oligiste de nos volcans, des sulfures métalliques, les métaux arsenicaux, plusieurs minéraux métallifères surtout de la famille ferrifère, des espèces des groupes des gemmes, des grenats, des amphiboles, des micas et des feldspaths, certains soufres (soufre sélénié de Vulcano) et un très petit nombre de masses d'anthracite et de graphite. Les minéraux véritablement sublimés sont toujours dans des fentes grandes ou petites, ou au moins dans des druses ou vacuoles.

Il y a bon nombre de minéraux qui n'ont pu être produits que par l'*assistance de vapeurs chaudes aqueuses ou acides*. Ce sont environ les substances suivantes : Dans la classe des sels, les sulfates et hydrochlorates d'ammoniaque et le sel gemme ; dans le groupe des minéraux salins, les borates et fluates ; dans la classe des métaux, les molybdates, les chromates, les tungstates, les vanadates, les séléniures, les bromures et les métaux iodés ; peut-être aussi certains acides silicatés et même des phosphates ; du moins est-il certain qu'il faut y classer l'apatite, le lazulite et l'yttria phosphaté, quoique les autres phosphates salins n'y appartiennent pas. Dans la classe des minéraux, on doit ranger certains minéraux métallifères, par exemple, de la famille chromifère ; les gemmes à acides borique ou fluorique le dichroïte, certains micas, le diaspore, l'hydrargillite, certaines magnésies hydratées et, en général, quelques autres minéraux silicatés, en petite partie alcalins et contenant plus ou moins d'eau. Ces minéraux ne se trouvent dans ce cas que dans des filons, des fentes ou des cavités, c'est-à-dire qu'ils sont postérieurs au dépôt des roches contenantantes.

Les minéraux et minerais *crystallisés par refroidissement* dans une pâte ignée, au contraire, sont toujours implantés ou disséminés dans les roches, dans leurs amas ou dans les filons. Ils sont assez nombreux et de formation contemporaine avec les roches qui les renferment. Ce sont environ les espèces suivantes, savoir : dans la classe des métaux, certains métaux natifs, comme l'or, le platine et leurs semblables ; des oxydules, certains oxydes, comme ceux de titane, etc. ; certains sulfures, comme le molybdène sulfuré ; certains chromates de fer, dans la serpentine. Dans la classe des minéraux, plusieurs minéraux métallifères, surtout des familles titanifère, tantalifère et cérifère, des gemmes sans acides borique ou fluorique, des minéraux des groupes des grenats, des amphiboles, des micas, des feldspaths, des quartz hyalins et, en particulier, le groupe des amphigènes.

On voit donc qu'il y a des rapports assez grands entre ce genre de substances minérales et celles formées par la sublimation, surtout sèche; tandis que, d'un autre côté, les minéraux produits par la cristallisation ignée conduisent insensiblement à ceux dont la formation a demandé le concours de vapeurs chaudes ou même acides. La limite est quelquefois difficile à fixer. L'eau de certain minéraux, même formés par la voie ignée, est donc primordiale, tandis que d'autres n'ont admis que plus tard cette eau dans l'interstice de leurs molécules ou comme combinée réellement avec quelques uns de leurs éléments. Ce dernier cas a surtout lieu dans les minéraux et les minerais, dans les filons ou qui sont en filons. Quant à la dévitrification, c'est un procédé qui a eu lieu bien plutôt pour certaines roches que pour des minéraux.

Le *métamorphisme* a produit des minéraux au contact ou près du contact des roches ignées, mais souvent il a agi plus généralement par-dessous certains dépôts, sans qu'on s'aperçoive presque des masses éruptives. C'est cette ancienne idée que MM. Morlot et Cotta ont appelée dans ces derniers temps le *métamorphisme latent*. Si le métamorphisme de contact a été le promoteur et le créateur de beaucoup de minéraux dans les couches stratifiées, dans certaines, le voisinage de ces dernières a pu contribuer à engendrer des minéraux particuliers dans les roches plutoniques, ou, au moins, ces dernières ont pu être un peu modifiées dans ces endroits. C'est ce que M. Morlot a nommé le *métamorphisme inverse*, par opposition au *métamorphisme éverse* ou celui des roches neptuniennes. Le métamorphisme ne paraît pas avoir exigé toujours une très haute température, mais souvent un temps considérable; ses opérations successives principales ont été d'abord l'élévation de température et l'écartement des molécules, puis le jeu des affinités en même temps que l'établissement des courants thermo-électriques; enfin l'introduction des matières étrangères par jeu d'affinités, par sublimation, quelquefois avec des vapeurs acides ou aquo-siliceuses et quelquefois aussi avec perte de certains éléments. Les points brillants des schistes argileux conduisent aux macles des ardoises, mais sensiblement modifiées, comme le calcaire altéré près du basalte mène au calcaire semi-cristallin à cristaux de couzeranite ou de feldspath et, de là, au calcaire grenu avec divers beaux minéraux et minerais; les schistes maclifères passent aux micaschistes et aux gneiss, quelquefois encore fossilifères, quoique déjà avec des minéraux cristallisés étrangers; enfin on arrive aux gneiss pleins de ces derniers, et, de ceux-ci, aux roches granitoïdes et porphyriques à amas de minéraux et de minerais. Le phénomène reste le même, quelle que soit la grandeur du terrain. Telle est la doctrine si longtemps méconnue des géologues, alors même que je l'avais exposée en détail dans toutes ses phases et sous toutes ses formes dès 1824 (Voyez *Annales des sciences naturelles*, 1824, t. II, p. 417 à 423), et en partant naturellement du système de Hutton. Ce dernier ne pouvait avoir de son temps qu'une idée vague du métamorphisme par des observations isolées de métamorphisme de contact, et l'explication rationnelle de ce procédé

chimique, comme l'appréciation juste de toute son étendue lui étaient impossible, vu l'état des connaissances d'alors sur la chimie, le magnétisme et la géologie. J'ai eu le bonheur de vivre au milieu des progrès de ces sciences ; voilà tout mon avantage.

Les *minéraux produits par le métamorphisme* sont les suivants, savoir : parmi les minéraux proprement dits, d'abord, le groupe des macles, par excellence ; certains minéraux des groupes des micas, des feldspaths, des amphiboles, des grenats et même des gemmes ; certains minéraux métallifères, surtout de la famille ferri-fère, comme le chamoisite ; dans la classe des métaux, certains sulfures (S. de cuivre, de plomb, d'arsenic, de mercure, etc.) ; des peroxydes, des oxydes et des oxydules ; certains métaux natifs ; dans la classe des sels, le lazulite, de la famille des phosphates ; certaines apatites des calcaires grenus, etc., par exemple, du sulfate de chaux et de l'hydrochlorate de soude ; enfin, dans la classe des combustibles, le diamant, certains graphites, certaines anthracites et les houilles. Il faut ajouter que le gypse métamorphique est un effet de la sortie des vapeurs sulfureuses et de leur rencontre avec du carbonate de chaux, tandis que le sel gemme de cette même classe serait un dépôt de vapeurs aqueuses salines, comme dans nos volcans (1). Les graphites et les anthracites sont le plus souvent des produits du métamorphisme de contact, tandis que le diamant semblerait être plutôt un accident de métamorphisme latent : pour les houilles, la chaleur terrestre n'a fait qu'aider à la métamorphose chimique des parties végétales dans ce combustible.

En appendice du métamorphisme de contact, on peut mettre le petit nombre de minéraux produits par les *pseudo-volcans*, ou les embrasements des couches de houille et de lignite ; savoir : certains sulfates et hydrochlorates d'ammoniaque, de l'alun, le fer oxydé bacillaire, l'acier natif, du soufre, les porcellanites, les grès décolorés ou ferrugineux rouges, et des scories terreuses.

Outre ces divers modes de formation, la nature inorganique en a encore plusieurs autres, et d'abord ceux qui résultent du jeu des affinités entre divers composés, et le plus souvent par des décompositions et recompositions doubles, ou bien à la faveur de la présence de l'air atmosphérique, de l'eau, de leur décomposition, et, en particulier, de leur acide carbonique et de leur oxygène. Ce sont des effets qui dépendent essentiellement d'actions électro-chimiques, où la lumière et, par conséquent, la température ont leur part d'action, comme l'a bien démontré M. Becquerel, en s'assurant en même temps que de très faibles forces électriques, longtemps continuées, suffisent pour produire des décompositions et

(1) M. Dufrénoy a proposé de distinguer les sels de ce genre d'avec ceux d'une autre origine, au moyen de phénomènes de polarisation lamellaire, semblables à ceux du verre ayant subi la trempe ; ce moyen serait bien applicable si d'autres accidents arrivés à ces dépôts de sel ne paraissaient pas pouvoir avoir produit le même effet optique (voyez son *Traité de minéralogie*, 1844, vol. I, p. 281).

recompositions chimiques complètes (Voyez son *Traité d'électricité et de magnétisme*, vol. V, p. 3, 5 et 6).

Dans une première classe de produits de cette espèce se trouvent d'abord les minéraux en efflorescence dont j'ai parlé ci-dessus (p. 31), certains sels sulfatés (alun, sel amer), les nitrates, les carbonates et les borates alcalins, du groupe des sels proprement dits; la famille des arséniate et certains carbonates, comme ceux de baryte, de strontiane, et la sélénite dans le groupe des minéraux salins. Dans la classe des métaux, on doit y comprendre certains métaux natifs, comme l'argent et le cuivre; dans quelques cas, certains oxydules, comme quelques oxydules de cuivre; des oxydes simples ou hydratés, quelquefois silicifères; des ocres; certains sulfures, comme celui de plomb, dans quelques cas particuliers, etc.; les sulfates, les hydrochlorates, quelques carbonates, les arséniate, et, au moins, beaucoup de phosphates; quelques minéraux hydratés et argileux, comme le kaolin, l'aluminite et certains sulfures.

Une seconde classe est formée par les métamorphoses ou pseudomorphoses des minéraux que M. Haidinger a divisé géogéniquement, d'après le principe électrique, en anogènes et katogènes (Voyez *Bericht.*, etc., 1843, p. 88), et que M. Blum a distingué: 1° en celles par altérations produites par la perte de certains éléments; par exemple, le disthène, d'après la forme de l'andalousite, et quatre autres espèces; 2° en celles formées par l'admission d'éléments nouveaux; par exemple, le gypse, d'après l'anhydrite et neuf autres espèces; 3° en celles procréées par un échange mutuel d'éléments; par exemple, le jaspe, d'après l'amphibole et soixante-quatorze autres espèces; 4° enfin, en celles par remplacement complet des éléments, comme du quartz, d'après le spath fluor et soixante-treize autres espèces (Voyez *Die Pseudomorphosen des Mineralreichs*, 1843).

Ces substances, plus nombreuses qu'on ne le pense, et déjà au-delà de cent quatre-vingts espèces, se trouvent surtout dans les groupes suivants; savoir: dans le groupe des sels, le polyhalite, le sel gemme; dans le groupe des minéraux salins, des carbonates de chaux, l'arragonite, la chaux magnésifère, certains sulfates, comme la barytine, le gypse et l'anhydrite; dans la classe des métaux, des métaux natifs (cuivre); des oxydules (cuivre), des oxydes et des ocres (fer, manganèse, étain, etc.); des peroxydes (fer oligiste); des oxydes hydratés (fer, etc.); des sulfures (pyrites, galène, etc.); des sulfates, des carbonates (fer spathique, malachite); des carbonates siliceux (chrysocolle); dans la famille des métaux tungstatés, le tungstate de fer; dans la classe des minéraux proprement dits, le seul kakoxène peut-être; parmi les minéraux métallifères, des espèces des groupes des amphiboles, des micas, des feldspaths, des zéolithes (prehnite), des quartz; des minéraux hydratés (écume de mer, serpentine); des minéraux argileux (stéatite, cimolite, lithomarge, etc.). Quant aux minéraux ainsi altérés, ils se trouvent dans tous les groupes mentionnés et même encore dans ceux des gemmes (di-

chroïte), des grenats et des amphigènes, ainsi que des phosphates et arséniates métalliques.

Tout ce qu'on a caractérisé autrefois comme décomposition rentre dans ces deux classes de produits, dont on n'a pu commencer l'étude que depuis les nouvelles découvertes électriques et chimiques. Leur gisement, par excellence, est dans les filons; il y en a moins dans les petits filons, et encore moins d'implantés dans les roches elles-mêmes, comme, par exemple, le pinite, pseudomorphose du dichroïte dans les granites, etc.

Une place particulière, dans la géogénie minéralogique, est occupée par les *pseudomorphoses où des substances minérales ont remplacé des matières organiques*. Ainsi, des particules charbonneuses, talqueuses ou pyriteuses, ou même de la galène, du sulfure de cuivre, ont été substitués aux parties végétales, à des feuilles et des graines de plantes. Puis, les parties ligneuses ou des bois ont été convertis en cristaux de quartz, en quartz résinite, en calcédoine, en silex, en fer oxydé-hydraté, en pyrite, en charbon minéral ou houille, en soufre, et plus rarement en chaux carbonatée, quelquefois à odeur de truffes (truffites). D'un autre côté, les coquillages et les polypiers ont été changés en dolomie ou sulfate de chaux, de baryte et de strontiane, en fluorine, en quartz ou calcédoine, en fer hydroxydé, en manganèse oxydé, en fer oligiste, en pyrites, en cinnabre, en fer phosphaté, en plomb carbonaté ou calamine, et en soufre. Les univalves et les échinodermes se sont plus souvent silicifiées que les céphalopodes; tandis que les bivalves et les céphalopodes présentent surtout les autres métamorphoses de leur test. Les polypiers et les céphalopodes sont aussi dolomitiques ou pyriteux, ou changés en chaux carbonatée, mêlée de carbone et d'anthracérite. Il y a des entroques qui sont moitié de spath calcaire, moitié de fluorine. La manière dont la cristallisation a été modifiée par la texture du tissu organique a donné lieu à divers accidents; par exemple, certains intérieurs d'échinidées offrent la structure de ruche d'abeilles en spath calcaire. On connaît les orbicules siliceuses des bivalves et d'autres fossiles, comme un mode de silicification particulier (Voyez MM. Brongniart, Virlet, etc.). Les coquillages fossiles ont été trouvés contenir de l'anthracite, du soufre, de l'apophyllite, des couzérانيتes, des pyrites, de la blende (dans des ammonites) et même de l'argent natif; il est donc évident que ces dépôts et ces métamorphoses se sont faits, petit à petit, par remplacement moléculaire. Les coquillages donnent lieu aussi à des vides conservant leurs formes; les moules extérieurs ou intérieurs sont spathiques ou siliceux, ou arénacés, ou simplement calcaires. Les ossements fossiles n'ont perdu que leurs parties animales, plus ou moins, et sont rarement colorés par le fer hydraté ou le carbonate de cuivre, ou le phosphate de fer.

Les deux règnes organiques donnent lieu aussi à des minéraux. Ainsi les végétaux fournissent, non seulement de l'alcali et un peu de silice, mais encore des matières bitumineuses, charbonneuses et résineuses, de manière que toute la classe des

l'origine ignée des eaux acidules, en général, pour n'y voir qu'un accident des lignites tertiaires, comme l'a fait M. Liebig, paraît une méprise causée par le manque des connaissances géologiques (Voyez sa Chimie). Tous les volcans n'ont pas, comme le Vésuve, une base calcaire; autant vaudrait mettre les volcans en parallèle avec les pseudo-volcans.

Comme une dépendance intéressante des sources minérales, apparaissent les *salses* qui exhalent de l'hydrogène carburé, rejettent de l'eau salée, de la boue, du bitume et du naphte, phénomènes qui se rattachent peut-être à certaines formations salifères des anciens temps géologiques.

Les *règles organiques* ont produit et forment encore diverses roches, savoir : les végétaux des amas de combustibles et de résines de toute espèce; les animaux mammifères des brèches osseuses; les foraminifères, des mollusques bivalves et univalves, et surtout les polypiers; des roches calcaires de diverses structures, et les infusoires différentes roches siliceuses. Vu la présence de ces petits êtres, surtout même dans l'air, il n'est pas étonnant d'en trouver dans les dépôts de cendres volcaniques et les tufas de ce genre; on en pourra même découvrir dans quelque roche ignée, même trappéenne, par suite de l'infiltration aqueuse que ces produits ont subie; mais la raison du géologue se refuse à croire à la possibilité de leur existence dans la pâte non remaniée des roches ignées.

Arrivé à la fin de ma thèse, je m'attends à l'objection ordinaire des chimistes : vous cherchez à expliquer tout, mais vous ne prouvez rien par des expériences dans le laboratoire. Avoir des notions de chimie, collecter des faits chimiques et pratiquer cette science, sont des choses très différentes. La géologie est, comme la physique, une science d'observation; elle rassemble des faits, les coordonne, et tâche de les expliquer les uns par les autres. Si ces observations sont justes et bien employées, n'en déplaît à messieurs du laboratoire, nous sommes presque plus sûr de notre explication qu'eux de leurs analyses, parce qu'ils ne peuvent prétendre connaître encore tous les corps élémentaires, et que nous pouvons avoir une masse de faits telle qu'il n'y ait qu'une explication possible. Il peut même arriver que cette dernière précède des découvertes chimiques non encore faites. Est-ce que la théorie n'a pas conduit Ampère à des lois électro-dynamiques, dont il était si certain qu'il ne se donnait pas la peine de les prouver par des expériences (voy. *Bibl. univ. de Genève*, 1845, vol. 58, pag. 329)? Est-ce que M. Leverrier n'a pas découvert Neptune sans avoir eu besoin de lunette? Il en est à peu près de même pour la géogénie en géologie; ses théories rationnelles ont précédé leur admission par les chimistes : témoins leurs erreurs sur l'origine du vulcanisme, leurs doutes sur le métamorphisme de contact, leur rejet du métamorphisme général. Sans parler des défunts, des Lehmann, Murray, etc., n'avons-nous pas vu encore dernièrement M. Fuchs nous offrir, comme ses prédécesseurs, et malgré son haut savoir, une géogénie absurde, parce qu'elle contredit

toutes les observations rationnelles en géologie (1). Après tout, nous pouvons bien leur pardonner, car, vu l'état minutieux des connaissances, celui qui se dit universel cherche à se tromper lui-même : qui trop embrasse mal étroit ; mais cela doit apprendre aux chimistes à nous croire plus sur parole et à ne pas mettre nos théories fort au-dessous des leurs, puisque tant de leurs belles conceptions sont tombées dans l'oubli. Pour faire de la chimie expérimentale, il faut avoir des laboratoires, des instruments délicats ; quelques professeurs géologues en ont seuls à leur disposition. Demander de pareilles choses aux autres géologues est encore plus irrationnel que d'exiger des descriptions de fossiles de quelqu'un qui n'a pas de collections comparatives à sa disposition. La division du travail est la seule possibilité humaine actuellement ; mais les spécialités ne doivent pas s'isoler orgueilleusement : s'entraider est leur devoir. Que ceux qui ont des laboratoires veuillent donc vérifier les théories géologiques.

Qu'on me permette encore une observation générale, peu consolante pour ceux qui veulent ne se rendre compte de ce qui existe que par ce qu'ils voient, et qui croient de toute impossibilité physique que le monde actuel ait pu être autrefois tout autre que nous le voyons. Que vaudrait en effet cette opinion si tout notre système planétaire était réellement en route vers des régions nouvelles, et s'il y avait un soleil central entouré de systèmes innombrables semblables au nôtre (2), ou même des groupes de systèmes subordonnés dont le nôtre ne serait qu'un atome ? Un tel arrangement ne pourrait-il pas exister à l'insu des astronomes, qui ne connaîtront jamais qu'une petite partie de l'espace ? Dans ce cas, ne pourrait-on pas supposer que notre terre pût arriver un jour dans des parties de l'espace où seraient agissantes de tout autres forces comme de tout autres éléments. La température des espaces ne peut-elle pas et ne doit-elle pas être naturellement très inégale, comme l'a déjà supposé Poisson (*Théorie mathém. de la chaleur*, 1835, et *Ann. de phys. et de chim.*, 1837, vol. 64) ? De cette manière, ce qui est impossible dans notre monde actuel ne pourrait-il pas devenir possible dans un avenir inconnu ? Si notre terre avait déjà fait plusieurs fois ces longs voyages, ne trouverait-on pas là des explications pour les secrets de la nature inorganique : comme la différente activité de son intérieur dans les temps anciens et modernes, la cause de l'étendue plus ou moins grande des glaciers à une époque comparativement récente, celle du sillonnage en grand de la surface terrestre, celle de la distribution des blocs erratiques, etc. ? Ne pourrait-on pas encore se rendre compte, mieux qu'on n'a pu essayer de le faire jusqu'à présent, de l'acte de création des espèces végétales et animales, de leur anéantissement après un temps limité et défini pour chaque espèce, et de leurs apparents renouvellements successifs, qui ne deviendraient peut-être que des cas de métamorphoses dépendants :

(1) *Ueber die Theorien der Erde*, etc., Munich, 1844, in-8°.

(2) Voyez Maedler, *Die central Sonne*, 1846 et 1847; Jahn, *dito*, 1846, etc.

des milieux ambiants divers , comme on en voit encore en zoologie et en botanique ? ou bien ne devrait-on pas penser avec Brocchi (*Conchyl. fossil.*, 1814) , Robert Owen, Lyell, Herm. de Meyer (*Zur Fauna der Vorwelt*, 1847, cah. 1), etc., que l'extinction de tant d'animaux et de plantes n'est résultée surtout que de ce fait , que dans ces deux règnes chaque espèce, de même que chaque individu, subit une loi de développement et de mort à laquelle elle ne saurait se soustraire , bien que des circonstances particulières aient pu faire périr quelquefois certaines espèces avant le temps assigné par la nature lors de leur création ? L'existence de tout ce qui est ne serait dès lors que provisoire, comme tout nous le dit et nous porte à le croire ; mais dans ces voyages à travers les espaces, on pourrait entrevoir aussi pour notre globe un moyen lent et insensible de reconstruction des organismes éteints , de même qu'une modification incessante des combinaisons inorganiques, une sorte de *retrempe*, si j'ose m'exprimer ainsi ; d'où résulterait la possibilité de sa durée éternelle. Dans tous les cas, cette fonction inévitable paraît dévolue à des phénomènes astronomiques et physiques.
