

INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, tome LXII.

Expériences synthétiques relatives aux Météorites. Rapprochements auxquels ces expériences conduisent, tant pour la formation de ces corps planétaires que pour celle du globe terrestre;

PAR M. DAUBRÉE.

(Séance du 29 janvier 1866.)

« J'ai eu l'honneur d'entretenir l'Académie plusieurs fois, et tout récemment encore, de diverses chutes de météorites, et j'ai insisté sur les particularités de l'arrivée de ces corps planétaires, ainsi que sur leur composition minéralogique.

» En donnant des descriptions souvent chargées de détails, j'avais, comme on a dû le penser, un but plus élevé que d'enregistrer des faits d'ailleurs pleins d'intérêt et de mystère. C'était de parvenir à de nouvelles données sur lesquelles on pût baser des conclusions satisfaisantes.

» Chacun comprend tout l'intérêt que présente l'étude des météorites, non-seulement pour l'Astronomie, mais aussi pour la Géologie, qui voit ainsi s'agrandir ses horizons, et qui tire de la comparaison de ces corps lointains avec notre globe d'utiles enseignements sur le mode de formation de ce dernier et de notre système planétaire.

» Il m'a paru que le moment était venu de compléter par des expériences synthétiques les nombreuses notions que l'analyse a fournies sur la constitution des météorites. Il était en effet permis d'espérer que la synthèse

D.

expérimentale ne rendrait pas moins de services dans cette étude que dans celle des minéraux et des roches terrestres.

» Obligé de me restreindre, je ne puis donner aujourd'hui qu'un résumé sommaire de nombreuses expériences que j'ai déjà exécutées.

» Avant d'entrer en matière, je dois rappeler très-brièvement que les diverses météorites connues se rapportent à deux grandes divisions : les *fers* et les *pierres*.

» Dans les *fers* on a établi trois subdivisions : 1° fer sans mélange de matières pierreuses; 2° fer renfermant des globules de péridot (fer de Pallas); 3° fer associé à des silicates, péridot et pyroxène (Sierra de Chaco). Ce dernier mélange établit le trait d'union entre les extrêmes, en apparence si différents, des deux grandes divisions établies.

» Les *pierres* pour la plupart ne renferment le fer natif qu'en petits grains et disséminé au milieu de silicates, principalement à bases de magnésie et de protoxyde de fer. C'est ce groupe que nous désignerons ici, à raison de son extrême fréquence, sous le nom de *type commun*.

» D'autres, sans fer natif et formées d'ailleurs comme les précédentes de silicates magnésiens, renferment de l'olivine (Chassigny), ou des silicates moins basiques (Bischofville), ou enfin sont caractérisées par la présence de matières charbonneuses (Alais, Orgueil).

» Enfin, un dernier groupe, sans fer natif ni péridot, pauvre en magnésie, renfermant l'alumine en quantité notable, se caractérise par un mélange grenu d'anorthite et de pyroxène, et par son analogie avec certaines laves.

I. *Produit de la fusion des météorites.*

» J'exposerai d'abord les résultats obtenus par la fusion des pierres météoriques à de hautes températures.

» On sait que les pierres météoriques nous arrivent toujours recouvertes d'une croûte noire et vitreuse due à une fusion superficielle opérée dans leur trajet à travers l'atmosphère. On pouvait donc croire qu'en les fondant dans des creusets on n'obtiendrait pas autre chose que cette même matière vitreuse. Or l'expérience est venue apprendre qu'il en est tout autrement et que ces substances possèdent au contraire une aptitude bien prononcée pour la cristallisation. Ainsi, en liquéfiant des météorites de plus de trente chutes différentes, j'ai toujours obtenu des masses éminemment cristallines.

» Toutes ces opérations ont été faites à une température voisine de celle de la fusion du platine. Pour les obtenir, j'ai eu recours à l'obligeance de

M. Gaudin, auquel je me fais un plaisir d'adresser ici mes remerciements.

» Je dois remarquer que les météorites renfermant en général des matières telles que le fer natif allié à des sulfures, à des phosphures, ainsi qu'à des silicates, on ne peut les fondre ni dans la terre, ni dans le platine, sans éviter, entre la matière du creuset et la substance traitée, une action qui dénature plus ou moins cette dernière. On a dû, dans la plupart des cas, se servir d'une brasque de charbon ; mais alors le fer qui se trouvait dans la météorite naturelle à l'état de silicate de protoxyde se trouve réduit et se réunit à celui qui préexistait : la masse silicatée fondue a donc perdu une petite fraction de ses bases et est devenue d'autant plus siliceuse ; malgré ce changement dans l'état de saturation de la partie silicatée, cette cristallisation artificielle fournit, comme on va le voir, des renseignements utiles et très-précis.

» *Météorites du type commun.* — On a d'abord opéré sur des météorites du type commun (Ensisheim, Laigle, Charsonville, Chantonay, Agen, Vouillé, Favars, Montrejeau, New-Concord, Aumale).

» La masse après fusion se compose de deux parties, l'une pierreuse, l'autre métallique sous forme de grenailles ou de culot.

» La partie lithoïde se partage généralement en deux substances cristallines bien distinctes.

» L'une est en octaèdres rectangulaires très-surbaissés ayant la forme et la disposition qui caractérise le péridot, surtout celui qui se forme dans les scories. La même substance se présente dans ces produits de fusion sous deux autres formes que M. Des Cloizeaux a bien voulu déterminer. Ce sont des lames à six faces composées de la base P, du prisme g , et de la troncature g_1 ; puis une forme composée de la base P et de deux biseaux, dont l'un placé sur les angles obtus du prisme primitif de $119^{\circ}13'$ appartient par les angles à la forme a_1 , et dont l'autre est placé sur les angles aigus.

» La seconde substance présente habituellement des prismes à section rectangulaire souvent alignés parallèlement entre eux et dont la cassure fibro-lamellaire rappelle beaucoup celle de la bronzite. Leur opacité n'a pas encore permis de décider s'ils appartiennent au système droit du prisme rhomboïdal ou au système oblique. Cependant, comme la plupart sont exempts de fer et ne renferment plus que de la magnésie, on doit les considérer comme appartenant, non au pyroxène, mais au bisilicate de magnésie, c'est-à-dire à l'espèce enstatite.

» L'essai chimique de ces deux substances justifie la détermination à laquelle conduit l'examen cristallographique.

» On sait que l'analyse de la plupart des météorites du type commun y décelez l'existence d'au moins deux silicates, l'un attaquant, l'autre inattaquant par les acides. Dans les expériences dont je viens de rendre compte, il se fait un départ entre ces silicates qui étaient primitivement en mélange si intime, qu'on ne pouvait les distinguer. Ils se séparent par une sorte de liquation, et bien plus nettement que dans la météorite naturelle; c'est ainsi qu'on voit apparaître, sous différentes formes, les deux silicates magnésiens, le péridot ($Mg.Si$) et l'enstatite ($Mg.Si^2$).

» La situation respective de ces deux espèces au sein de la masse obtenue mérite d'être signalée. En général le péridot, quand il existe, forme à la surface une pellicule mince et cristallisée, tandis que l'intérieur se compose de longs cristaux d'enstatite qui traversent : ces deux substances se sont ainsi groupées conformément à leur ordre de fusibilité.

» Quant à leur proportion relative, elle varie beaucoup d'une météorite à l'autre; c'est en général l'enstatite qui prédomine, et dans un certain nombre le péridot ne se montre pas en cristaux distincts (Chantonay, Ensisheim, Agen, Château-Renard et Vouillé). Au contraire le péridot peut se montrer en quantité prédominante, comme dans celle de New-Concord. La réduction du fer, qui était à l'état de silicate, ne paraît avoir eu d'autre effet que d'augmenter la proportion d'enstatite, aux dépens de celle du péridot, sans apporter d'autre changement dans la nature même des composants.

» Très-fréquemment les aiguilles d'enstatite s'étendent à la surface de la masse en affectant une disposition qui rappelle tout à fait celle du mica dit palmé que renferment certaines pegmatites des Pyrénées et du Limousin. Ce groupement dendritique de l'enstatite a une disposition bien prononcée à s'aligner sous un angle constant.

» On remarque aussi sur les deux espèces de silicate magnésien une tendance remarquable à se grouper régulièrement l'une sur l'autre, ainsi qu'on l'observe pour la staurotide et le disthène, et certains cristaux ayant la forme du péridot ne servent en quelque sorte que d'assemblage à de nombreuses aiguilles d'enstatite qui les traversent, rappelant ainsi la structure de pseudomorphes.

» Ces mélanges, bien reconnaissables à l'œil nu, passent à d'autres qui sont indiscernables, et dans lesquels la substance, ayant l'apparence homo-

gène, comme certaines météorites naturelles, ne trahit plus sa complexité que par son partage en présence des acides.

» On remarquera que les météorites renferment encore certaines substances, telles que le silicate d'alumine, qui ne font pas partie essentielle du péridot ni de l'enstatite, mais qui restent cachées dans les cristaux de ces deux espèces minérales, sans doute par suite de l'affinité que M. Chevreul a nommée *capillaire*.

» *Météorite de Chassigny*. — La météorite de Chassigny donne une masse de péridot bien cristallisé.

» *Météorite de Bishopville*. — Celle de Bishopville fournit des prismes d'enstatite d'une blancheur parfaite, recouverts seulement çà et là de quelques lames de péridot.

» D'après ces caractères, ces deux météorites, dont on a fait des espèces distinctes, se rapprochent beaucoup du type commun, seulement elles en forment en quelque sorte les deux termes extrêmes : l'un le plus basique, l'autre le plus acide et d'une faible teneur en fer.

» *Météorites charbonneuses d'Alais et d'Orgueil*. — Les météorites charbonneuses d'Alais et d'Orgueil produisent des masses tout à fait semblables entre elles, d'un vert olive, très-fibreuses et rappelant beaucoup la bronzite.

» Ainsi, à part la présence de la matière charbonneuse, elles se rapprochent des météorites ordinaires en ce qui concerne le produit de la fusion.

» *Météorites du groupe de Juvenas et de Stannern*. — Quant aux météorites alumineuses dont celles de Juvenas, de Jonzac et de Stannern offrent les exemples les plus connus, elles donnent un produit entièrement différent de toutes les météorites magnésiennes dont il vient d'être question : c'est une masse vitreuse, quelquefois rubannée par un commencement de dévitrification, mais sans cristaux, ni de péridot, ni d'enstatite. Ainsi se justifie la distinction qui a été faite entre les unes et les autres.

» Remarquons toutefois que la météorite de Juvenas, une fois fondue, est extrêmement bulleuse, comme si, à cette haute température, il s'était produit un dégagement de substances qu'elle renfermait.

» Quant aux caractères de la partie métallique qui s'isole par la fusion des météorites des divers groupes, et qui est ordinairement remarquable par son état cristallin, j'y reviendrai plus tard.

» *Déduction des expériences qui précèdent en ce qui concerne le mode de formation des météorites*. — Puisque, dans nos expériences, les silicates qui

composent les météorites magnésiennes se transforment avec une telle facilité en cristaux bien accentués, et cela malgré un refroidissement rapide, comment donc se fait-il que la météorite naturelle ne présente que des cristaux très-petits et essentiellement confus?

» S'il était permis de chercher quelque analogie autour de nous, nous dirions que les cristaux obtenus par la fusion des météorites rappellent les longues aiguilles de glace que l'eau liquide forme en se congelant, tandis que la structure à grains fins des météorites naturelles ressemble plutôt à celle du givre ou de la neige formée, comme on le sait, par le passage immédiat de la vapeur d'eau atmosphérique à l'état solide, ou encore celle de la fleur de soufre. Outre cette comparaison, faite sous toutes réserves, on pourrait supposer d'autres causes qui auraient brouillé l'état cristallin des météorites, comme une température trop peu élevée, un refroidissement très-rapide, ou une agitation qui aurait surpris la cristallisation (1).

II. *Analogies et différences des météorites et de certaines roches terrestres. — Imitation des météorites par une action réductrice exercée sur ces roches.*

» *Analogie de composition des météorites et de certaines roches terrestres.* — Les météorites comparées aux roches terrestres silicatées, et particulièrement à certaines d'entre elles, présentent des analogies à la fois chimiques et minéralogiques (2).

» On sait qu'aucun des corps simples rencontrés dans les météorites n'est étranger à notre globe; que le fer et le silicium, si prédominants dans nos roches, se trouvent soit libres, soit combinés, dans toutes les météorites.

» Les météorites pierreuses renferment des silicates dépourvus de quartz libre et analogues à quelques roches silicatées basiques, de nature éruptive et dont le réservoir est au-dessous de l'enveloppe granitique. Pour celles du type commun, cette partie silicatée offre les plus grandes ressemblances avec le péridot et surtout avec la lherzolite, roche composée de péridot

(1) Ce résultat de l'expérience est d'ailleurs conforme à celui que vient d'obtenir un observateur distingué, M. Sorby, d'après des études microscopiques, qu'il a fait connaître par un extrait (*Geological Magazine*, t. II, p. 447).

(2) Je rappellerai que M. Angelot a attiré l'attention sur ce sujet dans deux ingénieux Mémoires (*Bulletin de la Société Géologique de France*, 1^{re} série, t. XI, p. 136, et t. XIV, p. 589).

mélangé d'enstatite et de pyroxène diopside, d'après l'examen qu'en a fait M. Damour (1), et abondante dans la chaîne des Pyrénées où elle a fait éruption sur divers points (2).

» A côté de ces ressemblances, il existe des différences qui ne méritent pas moins de fixer l'attention.

» Ces différences portent essentiellement sur l'état d'oxydation du fer. Les météorites, comme les roches terrestres, renferment du protoxyde de fer combiné à la silice (silicate) et à l'oxyde de chrome (fer chromé). Par contre, le fer oxydulé, si fréquent dans nos roches silicatées basiques, manque, en général, dans les météorites. Il s'y trouve, en quelque sorte, remplacé par le fer natif qui, de son côté, manque dans nos roches (3).

» Il est une seconde différence du même caractère que la précédente : le phosphore de fer et de nickel, reconnu d'abord par Berzélius, se rencontre presque toujours associé au fer météorique. De même que le fer natif, il fait complètement défaut dans nos roches où il est remplacé par les phosphates, particulièrement fréquents dans les roches silicatées basiques (4).

» Sans insister davantage sur quelques autres contrastes de même nature, nous reconnaissons que la différence essentielle entre les météorites et les roches terrestres analogues consiste en ce que les premières renferment, à l'état réduit, certaines substances que les secondes renferment à l'état oxydé. Tout porte à croire que les masses entre lesquelles il existe une telle similitude de composition auraient été identiques, malgré leur immense éloignement, si elles n'avaient subi des actions différentes.

(1) A cette occasion, il est de toute justice de rendre hommage à la finesse d'observation de M. Lelièvre, qui, dès 1787, en signalant la découverte de cette roche remarquable, l'avait déjà reconnue comme une variété de chrysolite ou péridot (*Journal de Physique*, mai 1787, Lettre à de la Métherie).

Vingt-cinq ans plus tard, M. de Charpentier crut démontrer que cette même roche n'est autre qu'un pyroxène en roche, et on s'empessa d'adopter unanimement cette conclusion. Les variations que présente la lherzolite expliquent la conclusion trop absolue d'un minéralogiste aussi exercé.

(2) On peut aussi comparer les météorites magnésiennes à l'hypersthène parsemée de grains de péridot que l'on a rapportée du Labrador.

(3) Il est vrai qu'on l'a trouvé dans les météorites charbonneuses, telles que celle d'Orgueil; mais ces dernières rentrent dans une catégorie rare et toute spéciale.

(4) La pierre de Juvenas, dans laquelle M. Rammelsberg a annoncé le fer à l'état de phosphate, ne fait que confirmer cette règle; car elle ne renferme pas de fer métallique : il ne pouvait donc se former de phosphore de ce métal.

» D'une part, dans le globe terrestre, l'eau sort avec une abondance extrême des bouches volcaniques; elle pénètre ou a pénétré dans toutes les profondeurs et jusque dans le tissu même des roches, malgré les contre-pressions de vapeur, ainsi que j'ai cherché à le prouver par l'expérience. Ce sont des conditions incompatibles avec la présence du fer métallique, et d'autres combinaisons très-facilement oxydables.

» D'autre part, les roches terrestres les plus voisines des météorites, notamment le péridot et la lherzolite, soumises à certaines actions réductrices, ne seraient-elles pas susceptibles de se transformer de manière à imiter les météorites? Telle est l'idée que j'ai soumise au contrôle de l'expérience. »

(Séance du 19 février 1866.)

« *Essais d'imitation des fers météoriques.* — Le trait physique le plus caractéristique que présente le fer apporté par les météorites, comparé au fer tel que nous l'obtenons, consiste dans la structure cristalline qui se manifeste sur une surface que l'on polit, puis que l'on passe à l'acide. Les dessins réguliers qui apparaissent alors ont reçu le nom de *figures de Widmanstaetten*, du nom du savant qui les a le premier signalées. Depuis lors, cette structure a été l'objet d'observations approfondies parmi lesquelles on doit rappeler particulièrement celles de M. Haidinger, le baron de Reichenbach et Gustave Rose. La configuration dont il s'agit n'est pas seulement produite par la cristallisation, mais aussi par la non-homogénéité de la masse et par la séparation qui s'y est faite d'une substance plus difficilement attaquable que le fer par les acides. C'est un phénomène de véritable départ qui n'est pas sans analogie avec l'isolement du feldspath ou du quartz au sein des pâtes porphyriques. Quant à la nature de la substance disséminée ainsi au milieu du fer, on l'a considérée comme étant soit le phosphore de fer et de nickel, soit un alliage de nickel et de fer où le premier métal prédomine.

• Jusqu'à présent on n'a pas pu imiter cette structure remarquable, dont les aciers damassés ne donnent qu'une idée imparfaite et qu'il importe de ne pas confondre avec le moiré ou le velouté que prend, par l'action d'un acide, une substance homogène et confusément cristalline, par suite du miroitement de petits cristaux orientés semblablement, et formant des groupes

distincts. Pour chercher à la reproduire, j'ai d'abord fondu le fer météorique de Caille (Var) dans une brasque d'alumine, en évitant le contact du charbon, qui s'y serait combiné. La masse, après fusion, présentait à sa surface et dans sa cassure une cristallisation bien prononcée, mais elle n'offrait plus les lignes brillantes qui s'y dessinaient si nettement à l'état naturel. Peut-être le résultat eût-il été plus satisfaisant si le refroidissement avait pu se faire avec beaucoup de lenteur.

» J'ai ensuite examiné le fer provenant des nombreuses météorites pierreuses dont j'ai opéré la fusion; fer séparé de leurs silicates par voie de réduction. Ce métal avait nécessairement pris du carbone à la brasque et peut-être aussi du silicium aux silicates. Il est cependant digne de remarque que l'on y a distingué parfois, après le poli et l'action de l'acide, une substance brillante se détachant en saillie sur un fond mat, sous une forme dendritique qui rappelle tout à fait la structure dite *tricotée* du bismuth natif. (Exemple : fer de la mésosidérite de la Sierra de Chaco.)

» C'est dans les mêmes essais que l'on a constaté la présence d'un corps qui ne paraît pas avoir été vu jusqu'ici dans les météorites magnésiennes; je veux parler du titane, reconnaissable à sa couleur caractéristique et à son inaltérabilité au contact des acides (carbo-azoture), et que l'on a ainsi trouvé dans les météorites fondues de Montrejeau et d'Aumale (1).

» Une autre série d'expériences a eu pour but d'associer le fer doux à chacune des principales substances qui l'accompagnent dans les fers météoriques, particulièrement au nickel, au silicium, au soufre et au phosphore.

» Le fer doux fondu n'a pas donné de figures proprement dites, lors même que sa surface était très-cristalline et sa cassure éminemment lamellaire. Même résultat négatif avec du fer d'un essieu de locomotive, devenu également cristallin et lamelleux par le fait d'un long service.

» En associant successivement au fer doux du nickel, du protosulfure de fer et du silicium, on a obtenu des masses d'une structure dendritique ou extrêmement cristalline, structure qui se manifeste plus nettement encore après l'action de l'acide, mais sans qu'on y ait reconnu un véritable départ, comparable à celui des fers météoriques.

» Il en est autrement, si l'on fond du fer doux avec addition de phos-

(1) Ce même métal, signalé dans la météorite pyroxénique de Juvenas par M. Rammelsberg, a apparu très-clairement aussi sur les globules de fer obtenus par la fusion de cette météorite.

phure de fer, dans une proportion qui a été portée de 2 à 5 et 10 pour 100. On voit alors, sur la surface polie qui a subi l'action de l'acide, s'isoler une substance plus brillante et plus résistante, qui rappelle tout à fait celle des fers météoriques, sauf moins de régularité dans le dessin. Après l'attaque, on distingue aussi une substance noire, pulvérulente, d'apparence charbonneuse, uniformément répartie dans le fer, qui paraît consister également en phosphure de fer. Ce phosphure se présenterait donc, dans le fer artificiel, sous deux états, comme Berzélius l'a reconnu dans les fers météoriques (1).

» Un résultat encore meilleur a été obtenu en introduisant du nickel, en même temps que du phosphure de fer, et surtout en opérant sur une masse de 2 kilogrammes (2). Au milieu de dessins dendritiques d'une régularité très-remarquable, on aperçoit alors la matière brillante, isolée et comme repoussée, dans les interstices, sous une forme réticulée.

» En présence d'un phosphure, la fonte a donné un départ semblable à celui du fer doux.

» Une troisième méthode d'expérimentation a consisté à réduire, par fusion dans un creuset brasqué, certaines roches terrestres, telles que le péridot, la lherzolite, l'hypersthène du Labrador, les basaltes et mélaphyres de diverses localités. Je suis également arrivé de cette manière à la production de fers qui se rapprochent beaucoup des fers météoriques, tant pour la composition que pour la structure, notamment en me servant de la lherzolite de Prades.

» Il est très-digne de remarque que ces derniers fers contiennent des quantités souvent très-notables de nickel, de même que les fers météoriques (3). L'observation intéressante que Stromeyer a faite, il y a plus de

(1) *Poggendorff's Annalen*, t. XXXIII, p. 138.

(2) Elle est formée de :

Fer doux	1800 grammes.
Nickel	170 »
Phosphure de fer	50 »
Protosulfure de fer	40 »
Fonte blanche très-chargée de silicium . .	20 »

(3) Le nickel a en effet été trouvé dans le péridot de Langeac (Haute-Loire), la lherzolite des Pyrénées, la lave à péridot de l'île Bourbon, le basalte de Sneefels-Jockul en Islande, le mélaphyre d'Oberstein, roche qui renferme en outre de l'arsenic, etc.

Je me fais un plaisir de rendre justice au soin avec lequel les analyses chimiques qui se rattachent à ce travail ont été faites par M. Stanislas Meunier, attaché au laboratoire de Géologie du Muséum.

quarante ans, que le péricot renferme très-souvent du nickel, est ainsi confirmée et généralisée.

» Ces mêmes fers sont en outre, dans beaucoup de cas, mélangés de phosphore de fer, comme dans les pierres météoriques. Le phosphore y ressort en longues aiguilles, de manière à rappeler également les dessins naturels.

» La plupart des roches éruptives, et surtout les roches basiques, renferment des phosphates, soit qu'on y aperçoive ces petites aiguilles d'apatite sur lesquelles M. Gustave Rose a appelé depuis longtemps l'attention, soit que l'analyse chimique seule puisse en constater la présence, comme notre confrère, M. Ch. Sainte-Claire Deville, l'a démontré en signalant, il y a longtemps, l'acide phosphorique dans les laves du Vésuve, en proportion de plusieurs millièmes (1). De là l'existence du phosphore de fer dans la masse métallique obtenue.

» Comme complément de ressemblance, j'ajouterai que le chrome, existant très-fréquemment dans les roches mises en expériences, a passé également dans la masse métallique provenant de leur réduction. Ainsi, le fer fourni par de l'hypersthène du Labrador, entremêlée de petits grains de péricot, renferme à la fois nickel, chrome et phosphore.

» Puisqu'en fondant les fers naturels on avait détruit leur structure, on ne pouvait guère espérer un meilleur résultat par une synthèse directe, tout en restant dans les mêmes conditions de refroidissement rapide. L'imitation, quoique incomplète, à laquelle on est arrivé, ne laisse donc pas que de présenter de l'intérêt.

» *Essais d'imitation des météorites pierreuses (type commun).* — Nous avons vu que la fusion des météorites du type commun produit deux minéraux principaux, le péricot et l'enstatite. C'étaient donc les roches terrestres caractérisées par la présence des deux mêmes minéraux qui devaient d'abord servir aux essais.

» On les a premièrement fondues dans des creusets de terre, sans intervention d'un agent réducteur.

» Le péricot, quoique réputé infusible ou très-peu fusible, fond à la haute température à laquelle on opérait. Il se convertit alors en une masse verte, translucide, recouverte de cristaux de péricot et entièrement cristalline à l'intérieur, ainsi qu'il résulte de son action sur la lumière polarisée. Sa structure est souvent lamellaire, comme celle du péricot des scories (2).

(1) *Comptes rendus*, t. XLII, p. 1169; 1845.

(2) Le péricot sur lequel ont été faites la plupart des expériences relatées ici provient de

Le périclase fondu contraste donc, par sa consistance, avec le périclase granulaire et peu cohérent que renferment ordinairement les roches basaltiques (1).

» La lherzolite fond encore plus facilement que le périclase, et donne des masses qui reproduisent, à s'y méprendre, la roche naturelle, avec cette différence que l'on remarque, à la surface et dans l'intérieur, des aiguilles d'enstatite que l'on ne distinguait pas avant la fusion (lherzolite de Vicdessos et de Prades, dans les Pyrénées).

» Certains périclases basaltiques, mélangés de pyroxène et d'enstatite, offrent la plus grande ressemblance avec la lherzolite et se comportent de même au feu (périclase de Beyssac, Haute-Loire, et de Dreyser-Weiher, dans l'Eifel).

» Par l'addition d'une certaine quantité de silice, on peut à volonté augmenter la proportion du bisilicate ou enstatite, et produire ces mélanges qui forment le passage du périclase à la lherzolite. Le même bisilicate prend aussi naissance le long des parois du creuset en leur empruntant de la silice.

» Les minéraux, qui avaient d'abord été soumis, comme on vient de le voir, à une simple fusion, ont ensuite subi la même action en présence d'une influence réductrice. Pour cela, on a choisi en premier lieu le charbon disposé en brasque dans un creuset. On arrive ainsi aux mêmes résultats que précédemment, avec cette différence que le fer, qui était combiné dans le silicate, se réduit à l'état métallique : il se sépare en grenailles ou reste disséminé dans le silicate non décomposé, en grains microscopiques séparables au barreau aimanté.

» Ce produit de la réduction et de la fusion des roches périclasiques ressemble donc beaucoup à celui des météorites traitées de la même manière ; et l'analogie subsiste tant pour la partie pierreuse que pour la partie métallique qui, dans l'un et l'autre cas, renferme du nickel.

» Je ferai observer ici qu'en ajoutant au périclase 15 pour 100 de silice,

basalte des environs de Langeac (Haute-Loire), où il est en abondance. Il a été analysé par Berthier qui y a trouvé 16 pour 100 de protoxyde de fer (*Annales des Mines*, 1^{re} série, t. X, p. 269).

(1) Le basalte ne paraît pas avoir eu, du moins en général, une température assez élevée pour fondre les gros morceaux de périclase qui y étaient empâtés. Peut-être a-t-il pu toutefois en dissoudre une partie et donner ainsi naissance aux cristaux nets, mais de petite dimension, qui y sont quelquefois disséminés.

quantité nécessaire à sa conversion en enstatite, puis en le fondant au milieu du charbon, on a obtenu une masse hérissée à sa surface d'octaèdres rectangulaires surbaissés de la forme qui appartient au péridot, tandis que l'intérieur consiste en une masse fibreuse, inattaquable par les acides, qui a les caractères de l'enstatite. Un fait identique a lieu dans la fusion de certaines météorites.

» Les météorites viennent d'être reproduites dans les traits généraux de leur composition; nous allons voir qu'on est même arrivé à imiter certains détails intimes de leur structure.

» Quand on examine au microscope une plaque mince de péridot ou de lherzolite après fusion, on y retrouve, comme dans la plupart des météorites du type commun, ces séries de lignes droites parallèles, simulant des coups de burin, remarquables par leur régularité au milieu de fendillements de forme irrégulière. Ces lignes sont dues à l'existence de plans de clivage. En outre, des aiguilles fines d'enstatite, parallèles et sensiblement équidistantes, disposées aussi par faisceaux, rappellent des détails de texture que fait connaître l'examen microscopique de beaucoup de météorites (1).

» La structure globulaire est si fréquente dans les météorites du type commun, qu'elle a valu à tout ce groupe la dénomination de *chondrite*. Or, nous voyons des grains ou sphérules semblables prendre naissance dans plusieurs des expériences faites sur la fusion des silicates magnésiens. Parmi ces globules, les uns sont à surface lisse, d'autres à surface drusique ou hérissée de petits cristaux microscopiques. Ces derniers ressemblent tout à fait aux globules de la météorite de Sigena (17 novembre 1773), de la variété friable, dont le Muséum doit un échantillon à la libéralité de l'Académie des Sciences de Madrid. Ces globules sont inattaquables par les acides, comme ceux des météorites. L'analyse d'un échantillon a montré que leur composition se rapproche du bisilicate (2).

» Enfin, les surfaces de frottement, avec enduit d'apparence graphitique, que présentent, à l'intérieur, beaucoup de météorites (par exemple, Alexandrie, 1860), s'imitent très-bien avec les silicates fondus renfermant le fer réduit en très-petits grains, lorsqu'on vient à en frotter deux fragments l'un contre l'autre.

(1) A part l'exemple de la météorite d'Aumale, je renverrai à ceux qui sont figurés dans l'ouvrage classique de mon savant ami Gustave Rose, pour les météorites de Krasnoi-Ugol, Stauropol, et pour le péridot du fer de Pallas (*Pl. I, fig. 10*, et *Pl. IV, fig. 7, 8, 9*).

(2) Silice, 72; magnésie, 27,5.

» L'hypersthène du Labrador, le pyroxène augite de Monte-Rossi, rejeté par l'Etna, le pyroxène diopside de la Somma ont été réduits et fondus de la même manière que les roches de péridot, et ont produit aussi des masses fibreuses bien cristallines, dont les caractères extérieurs rappellent ceux des produits de la fusion des météorites.

» Est-ce à dire que nous ayons réalisé le procédé employé par la nature pour la formation des météorites, et que le carbone soit intervenu dans la naissance de ces corps, comme dans nos expériences? Nous ne le pensons pas; car s'il en était ainsi, le carbone aurait sans doute carburé le fer d'une manière très-notable, comme dans l'acier ou la fonte, ce qui n'est pas le cas ordinaire.

» Si la formation des météorites avait été accompagnée d'une action réductrice, ne faudrait-il pas plutôt l'attribuer à une atmosphère hydrogénée? Nous aurons à revenir sur cette question. Toujours est-il que le péridot, la lherzolite, le pyroxène, soumis à un courant d'hydrogène, abandonnent, à l'état de métal, le fer qui s'y trouvait sous la forme de silicate de protoxyde. La réaction s'accomplit à une température qui ne dépasse pas le rouge. Dans ces mêmes conditions, les phosphates, soit seuls, soit en présence des silicates, se réduisent en phosphures, en sorte que le produit final de l'action de l'hydrogène offre une grande analogie chimique avec les météorites. »

(Séance du 19 mars 1866.)

III. *Transformation de la serpentine en péridot ou en lherzolite : essai d'imitation des météorites au moyen de cette roche.*

« Il est une autre roche magnésienne qu'il convient de rapprocher du péridot et la lherzolite, malgré certaines différences qui semblent l'éloigner de ces dernières.

» La serpentine se présente parmi les roches éruptives avec des caractères exceptionnels, comme étant à la fois hydratée, infusible et sans cristallisation distincte. Les géologues admettent généralement, surtout depuis les observations de MM. Quenstedt, Gustave Rose, Scheerer et autres, que la serpentine résulte de la transformation d'une autre roche et qu'elle dérive du péridot, au moins dans certains cas où elle a conservé la forme caractéristique des cristaux de cette substance.

» En attendant qu'il soit possible, en partant du péridot, d'arriver à la

serpentine, j'ai cherché à suivre l'ordre inverse, c'est-à-dire à transformer la serpentine en péridot.

» Le rapport de composition des deux minéraux traçait la marche à suivre : la serpentine ne diffère du péridot qu'en ce qu'elle contient de l'eau, et renferme plus de silice ou moins de magnésie. Il fallait donc fondre la serpentine avec addition de magnésie, de manière à arriver à la constitution du péridot.

» En traitant de la sorte les serpentines de Snarum, en Norvège; de Monte-Ferrato, en Toscane; de Sainte-Sabine, dans les Vosges, et de Gaito, dans l'Isère, on a obtenu, après fusion, des masses confusément cristallines, et offrant, dans beaucoup de leurs parties, tous les caractères du péridot. Des aiguilles d'enstatite y sont fréquemment disséminées ou en recouvrent la surface. La présence de ce bisilicate s'explique, parce que les échantillons sur lesquels on a opéré pouvaient renfermer un peu plus de silice que le type de la formule (Mg^3Si^4), dont on était parti.

» Il n'est pas nécessaire, pour opérer la transformation que je viens d'indiquer, de mettre la serpentine en présence d'une quantité de magnésie rigoureusement pesée suivant le rapport atomique. La réaction se produit encore et tout aussi nettement quand on se borne à chauffer de la serpentine au milieu d'une brasque de magnésie. La masse ainsi obtenue est entièrement cristalline, ainsi que le confirme son action sur la lumière polarisée; ses surfaces sont complètement recouvertes de cristaux dont la plupart ont la forme d'octaèdres rectangulaires, habituelle au péridot. On ne saurait non plus distinguer ces masses de celles que donne la fusion immédiate de ce dernier.

» Ces résultats m'ont conduit à examiner le produit de la fusion pure et simple des serpentines. L'expérience faite dans des creusets de terre sur des échantillons de provenances différentes, Snarum, Zöblitz en Saxe, Favero en Piémont, a donné aussi des mélanges de péridot et d'enstatite, mais dans lesquels le premier minéral se montre en moindre proportion que dans les fusions faites en présence de la magnésie. La serpentine de Baldissero, en Piémont, connue par les veines de magnésite et de quartz résinite qu'elle a sécrétées, a présenté le résultat le mieux caractérisé : des aiguilles d'enstatite groupées avec une régularité remarquable parallèlement entre elles et par faisceaux se détachent au milieu du péridot cristallin (1); c'est identiquement le même produit que donne la lherzolite.

(1) La pseudophite du mont Zdiar, en Moravie, qui renferme l'enstatite et qui diffère de

» On doit toutefois remarquer qu'alors même que la serpentine est fondue sans aucune addition dans un creuset, elle ne peut manquer d'emprunter aux parois de celui-ci une partie de ses éléments et particulièrement de la silice.

» Dans ces fusions, comme dans celles des météorites, la tendance que le péridot et l'enstatite ont à cristalliser les fait apparaître en cristaux bien distincts; mais le produit obtenu renferme en outre d'autres silicates, alumineux ou autres, qui restent mélangés intimement et comme dissous dans l'intérieur des premiers.

» Ces divers résultats, les derniers surtout, montrent que la serpentine a une tendance décidée à se changer en péridot, comme si elle ne faisait que rentrer alors dans son état normal. C'est une raison de plus pour considérer la serpentine, au moins dans un certain nombre de ses gisements (1), comme un péridot ou une lherzolite qui a perdu une certaine quantité de sa magnésie, et s'est hydratée par une opération qui rappelle celle de la conversion du feldspath en kaolin.

» L'observation directe des roches confirme cette conclusion. S'il existe des lherzolites qui dégénèrent graduellement en serpentine, comme cela a lieu dans certaines localités des Pyrénées, il y a, d'un autre côté, des serpentines qui manifestent aussi clairement leur relation avec les roches de péridot. On ne peut en voir un exemple plus démonstratif que dans la serpentine de Baldissero dont je viens de parler. Une des variétés de cette serpentine, appartenant à la collection du Muséum et recueillie par M. Cordier, rappelle tout à fait dans ses caractères extérieurs la lherzolite des Pyrénées. J'ai en outre reconnu que, comme cette dernière, elle est parsemée de cristaux d'enstatite, variété bronzite (2), de pyroxène diopside vert-émeraude et chromifère, ainsi que de spinelle noir chromifère, parfois en octaèdres réguliers (variété dite picotite). Ces trois espèces minérales présentent dans l'une et l'autre roche exactement le même facies. Cependant, malgré ces analogies, la serpentine de Baldissero se distingue de la lherzolite par sa

la serpentine, comme on le sait, par la présence de l'alumine, n'a pas donné de cristaux bien distincts.

(1) Il faut bien remarquer que toutes les masses serpentineuses ne proviennent pas de la transformation de roches de péridot. Il en est qui dérivent de roches pyroxéniques et autres.

(2) M. Des Cloizeaux, qui a bien voulu faire l'examen optique de cette enstatite, lui a reconnu : deux axes très-écartés dans un plan parallèle au clivage facile et bronzé; bissectrice négative normale au clivage difficile; $2H$ (rouge) = $124^{\circ}46'$.

très-faible dureté et sa teneur en eau; elle constitue comme l'un des états de transition de la première roche à la seconde. Les minéraux qui ont résisté à l'hydratation restent comme les témoins de l'état primitif, de telle sorte que la relation du kaolin au feldspath n'est pas mieux démontrée que la transformation qui nous occupe.

» Rien ne prouve d'ailleurs que l'hydratation qui s'est produite dans la transformation des roches de péridot en serpentine ait été opérée par les agents de la surface du globe. La serpentine éruptive des Apennins, des Alpes et de tant d'autres contrées, a pu être poussée des profondeurs après y avoir déjà acquis l'eau qu'elle renferme aujourd'hui. La manière dont le verre se décompose dans l'eau suréchauffée et se change en un silicate hydraté (1) ne paraît pas être sans analogie avec la réaction qui a produit la serpentine aux dépens de silicates anhydres préexistants.

• Les analogies qui rapprochent la serpentine des roches de péridot portaient à examiner aussi cette roche au point de vue de la synthèse des météorites (2).

» Si on fond la serpentine dans une brasque de charbon, les grains de fer ou de fonte qui s'en séparent renferment du nickel en quantité très-notable, comme lorsqu'on opère sur du péridot (exemple : serpentine de Sainte-Sabine, dans les Vosges).

• A ces traits de ressemblance s'ajoute la présence du chrome. D'une part, le chrome se trouve dans la plupart des serpentines; de l'autre, l'observation importante que Laugier a faite dès 1806 (3), savoir, que le chrome manque rarement dans les météorites, n'a fait que se confirmer. Il est, en effet, très-peu de météorites pierreuses qui ne soient mélangées, au moins en petite proportion, de chromite de fer ou fer chromé.

» Ainsi, à part sa teneur en eau, la serpentine peut être rapprochée des météorites du type commun presque au même titre que le péridot et la lherzolite.

(1) Expériences synthétiques sur le métamorphisme (*Annales des Mines*, 5^e série, t. XVI, p. 435). De la formation des zéolithes (*Bulletin de la Société Géologique de France*, 2^e série, t. XVI, p. 588).

(2) Toutes les fusions dont il vient d'être question dans ce travail ont été faites dans un fourneau de l'usine à gaz de Vaugirard, habilement établi par M. Gaudin, et communiquant avec une cheminée d'une hauteur de 40 mètres, de telle sorte que le tirage correspond habituellement à une pression manométrique de 30 millimètres d'eau. Le combustible était du coke de cornue à gaz.

(3) *Annales du Muséum*, t. VII, p. 392; 1806.

IV. *Observations générales ; dernières expériences faites à l'appui.*IMPORTANCE DES ROCHES MAGNÉSIENNES DU TYPE PÉRIDOT, TANT DANS LE GLOBE TERRESTRE QUE
DANS NOTRE SYSTÈME PLANÉTAIRE.

» Les météorites, si analogues à certaines de nos roches, diffèrent considérablement de la plupart de celles qui forment l'écorce terrestre.

» La différence la plus importante consiste en ce qu'on n'a trouvé, dans les météorites, rien qui ressemble aux matériaux constitutifs des terrains stratifiés : ni roches arénacées, ni roches fossilifères, c'est-à-dire rien qui rappelle l'action d'un océan sur ces corps, non plus que la présence de la vie.

» Une grande différence se révèle, même quand on compare les météorites aux roches terrestres non stratifiées. Jamais il ne s'est rencontré dans les météorites ni granite, ni gneiss, ni aucune des roches de la même famille, qui forment avec ceux-ci l'assise générale sur laquelle reposent les terrains stratifiés. On n'y voit même aucun des minéraux constitutifs des roches granitiques, ni orthose, ni mica, ni quartz (1), non plus que la tourmaline et les autres silicates qui sont l'apanage de ces roches.

» Ainsi les roches silicatées qui forment l'enveloppe de notre globe font défaut parmi les météorites. C'est seulement dans les régions profondes qu'il faut aller chercher les analogues de ces dernières, c'est-à-dire dans ces roches silicatées basiques qui ne nous parviennent qu'à la suite d'éruptions qui les ont fait sortir de leur gisement initial.

» Ce contraste fait ressortir combien est juste et profonde la division des roches silicatées en acides et basiques, que M. Élie de Beaumont a établie dans son mémorable travail sur les émanations volcaniques et métallifères (2).

» Par le chemin que nous venons de suivre on arrive à reconnaître que ces deux groupes de roches sont d'ordres différents et s'écartent l'un de l'autre, autant par leur mode de formation que par leur composition. Toutefois, les éruptions des diverses époques ont souvent amené à la surface de notre globe des masses de nature intermédiaire que l'on peut considérer comme des mélanges des deux types normaux.

(1) M. Gustave Rose a, il est vrai, signalé du quartz dans le fer météorique de Toluca. Cet exemple singulier, et jusqu'à présent unique, n'empêche pas de dire que le quartz n'a encore été rencontré dans aucune des météorites pierreuses.

(2) *Bulletin de la Société Géologique de France*, t. IV, p. 1249; 1847.

» En tout cas, l'absence, dans les météorites, de toute la série des roches qui forment une épaisseur si importante du globe terrestre, quelle qu'en soit la cause, est une chose tout à fait remarquable. Cette absence peut s'expliquer de diverses manières, soit que les éclats météoriques qui nous arrivent ne proviennent que des parties intérieures de corps planétaires qui auraient pu être constitués comme notre globe, soit que ces corps planétaires eux-mêmes manquent de roches silicatées quartzifères ou acides, aussi bien que de terrains stratifiés. Dans ce dernier cas, ils auraient donc suivi des évolutions moins complètes que la planète que nous habitons, et c'est à la coopération de l'Océan que la terre aurait dû dans l'origine ses roches granitiques, comme elle lui a dû plus tard ses terrains stratifiés.

» Parmi les silicates basiques, il en est un qui se présente avec une constance remarquable dans presque toutes les variétés de météorites, depuis les fers jusqu'aux pierres proprement dites, c'est le péridot. Il est rarement seul (Chassigny), ordinairement il est mélangé de silicates plus acides, souvent en parties indiscernables (1).

» D'un autre côté, le péridot existe nécessairement dans les profondeurs de notre globe; car les basaltes des régions les plus distantes en ont apporté des fragments restés souvent anguleux et que l'on dirait arrachés à une masse profonde et préexistante. Le péridot fait partie constituante d'autres roches, comme la lherzolite qui a fait éruption sur divers points et comme la roche dont M. Hochstetter a reconnu récemment des massifs considérables dans la Nouvelle-Zélande et qu'il a nommée *dunite*. Il importe de remarquer que ces lherzolites, notamment celle des Pyrénées, sont identiques aux lherzolites dont les basaltes empâtent des fragments, comme si les unes et les autres dériveraient des mêmes massifs. Enfin, le lien de famille que nous avons reconnu entre certaines serpentines et les roches de péridot fait encore mieux ressortir toute l'importance du type péridotique et de ses dérivés.

» On est donc amené à reconnaître que le rôle de ces roches de péridot, si restreint à la surface de la terre, est sans doute prédominant à une certaine profondeur. Son importance s'étendrait aussi bien à notre globe qu'au reste de notre système planétaire, autant, du moins, que l'on peut juger de ce dernier par les échantillons qui nous en arrivent; les roches à base de

(1) Sur plus de cent cinquante chutes représentées dans les collections, on n'en possède encore que quatre qui appartiennent au type alumineux, comme Juvénas, Jonzac, Stannern. Les autres sont des météorites magnésiennes qui, presque toutes, renferment du péridot.

péridot méritent donc de prendre dorénavant un rang particulier et considérable dans la classification générale de lithologie où, en leur annexant la serpentine, on pourrait les comprendre sous le nom de *famille péridotique*.

» Dans ces gisements si différents, terrestres et extra-terrestres, le péridot se présente avec des caractères de composition communs et des associations souvent semblables. Aux rapprochements qui ont déjà été faits, j'ajouterai que la météorite de Chassigny est semblable à la dunite de la Nouvelle-Zélande, qui est également formée de péridot et de chromite. Les météorites charbonneuses (cap de Bonne-Espérance, Kaba et Orgueil) paraissent renfermer un silicate magnésien hydraté que M. Wöhler a rapproché de la serpentine.

» Parmi les caractères qui distinguent nettement ces roches péridotiques de toutes les autres roches silicatées, j'appellerai l'attention sur les suivants :

» 1° Le péridot nous représente le type silicaté le plus basique que l'on connaisse, soit dans les météorites, soit dans les roches éruptives. A ce seul titre, il a droit d'être placé avant le type pyroxénique normal qu'a établi M. Bunsen (1), et avant tous ceux qu'a distingués M. Durocher (2). Dans cette série, dont il constitue le premier terme et qui se termine au granite, il forme l'espèce à la fois la plus simple de composition et la mieux définie.

» 2° Au point de vue du mode de cristallisation, le péridot, ainsi que le bisilicate de magnésie ou enstatite, qui est son compagnon fréquent, se distinguent des silicates alumineux, tels que ceux du groupe du feldspath, par la facilité avec laquelle ils se forment et cristallisent par la voie sèche à la suite d'une *simple fusion*. Au contraire, on n'a jamais pu faire cristalliser artificiellement, dans les mêmes conditions, rien qui ressemblât, même de loin, au granite.

» 3° Les roches de péridot sont très-remarquables aussi par leur forte densité (3,3), qui est supérieure à celle de toutes les autres roches éruptives et même à celle des basaltes (3). Cette forte densité justifie la position nor-

(1) *Poggendorff's Annalen*, t. LXXXIII, p. 197; 1851.

(2) *Essais de pétrologie comparée (Annales des Mines, 5^e série, t. II, p. 217; 1857)*.

(3)	Péridot.....	3,33	à	3,35
	Enstatite.....	3,303		
	Lherzolite.....	3,25	à	3,33
	Basalte.....	2,9	à	3,1
	Diabase.....	2,66	à	2,88
	Porphyrite.....	2,76		
	Trachyte.....	2,62	à	2,88
	Granite.....	2,64	à	2,76

male qu'elles paraissent avoir dans l'écorce terrestre, au-dessous du revêtement granitique, au-dessous même des roches basiques alumineuses.

» Faisons enfin remarquer qu'il n'y a pas à s'étonner si les roches de péridot ne nous sont pas arrivées plus fréquemment et plus abondamment de la profondeur jusqu'à la surface. Les expériences qui précèdent nous montrent avec quelle avidité le péridot s'empare d'une plus forte proportion de silice, puisqu'il la soustrait même aux parois du creuset et se convertit en un bisilicate, tel que l'enstatite ou le pyroxène. De là ces passages de la lherzolite à des roches pyroxéniques ou amphiboliques; de là encore les roches hybrides que le péridot a dû engendrer nécessairement si, étant à l'état de fusion, il a cherché à se frayer une voie à travers d'autres roches plus acides, et a dû rester longtemps en contact avec elles.

DU MODE DE FORMATION ORIGINELLE DES MASSES DONT PROVIENNENT LES MÉTÉORITES.
— NOUVELLES EXPÉRIENCES A L'APPUI.

» *Température.* — Les masses dont proviennent les météorites ont sans doute, tout aussi bien que notre globe lui-même, été formées à l'origine sous l'influence d'une haute température. Et cependant deux considérations feraient croire que ces masses ont cristallisé à une température moins élevée que dans nos expériences. Ainsi :

» 1° La partie pierreuse ne possède qu'une cristallisation confuse et à peine agrégée, qui contraste avec celle que donne la fusion artificielle.

» 2° Les grains de fer disséminés au milieu de ces silicates ont une forme irrégulière et non globulaire, qui annonce qu'ils se sont constitués à une température inférieure à celle de la fusion du fer doux, et probablement même à celle de la fusion des silicates qui leur servent de gangue. Le fer dit de Pallas conduit également à cette conclusion. Mais rien ne la fait mieux ressortir que la structure de certaines météorites très-riches en fer (mésosidérites), et en particulier celle de la Sierra de Chaco, au Chili, qui se présente en quelque sorte à l'état granitoïde. Le tout a dû se former à une température au plus égale à celle du fer soudant.

» Une expérience a confirmé cette manière de voir. J'ai cherché à imiter le mode de dissémination du fer métallique dans les silicates, tel que le présentent les météorites ordinaires, en exposant à une température élevée du fer réduit, mélangé intimement à de la lherzolite. Après fusion du tout, les particules de fer se sont réunies en de nombreux grains encore très-petits, mais dont la forme globulaire facilement reconnaissable, surtout après que l'échantillon a été poli, contraste avec les grains de forme tuberculeuse disséminés dans les météorites.

» Faisons bien remarquer, en tout cas, que cette chaleur originelle n'existe plus quand ces masses pénètrent dans notre atmosphère. En effet, la météorite charbonneuse d'Orgueil se compose d'une matière pierreuse renfermant en combinaison ou en mélange intime, jusque dans ses parties centrales, de l'eau et des matières volatiles : c'est, à raison de cette nature si impressionnable, un véritable thermomètre à *maximum* qui nous indique que ces corps ne pouvaient être que froids au moment où ils nous sont arrivés de l'espace ; car ces composés volatils ne paraissent pas s'être constitués dans notre atmosphère.

» *Constitution chimique.* — Il importe avant tout de faire remarquer que nous ne recherchons pas ici la cause qui apporte les météorites sur notre globe. Nous avons pour but d'éclairer leur mode de formation, autant que le permet la difficulté du sujet.

» Les météorites nous parviennent à la surface de la terre avec une forme qui est en général celle de polyèdres à angles émoussés ; elles ne paraissent être que des éclats détachés de masses plus ou moins considérables qui ressortiraient probablement de notre atmosphère après y être entrés, quand une sorte de ricochet serait possible (1). Ces masses errantes pourraient elles-mêmes, comme on l'a pensé, n'être que des fragments de corps planétaires brisés à des époques indéterminées et peut-être extrêmement reculées.

» Quoi qu'il en soit des suppositions précédentes, il est certain que ces masses, en circulant dans les espaces, ne possèdent point une température élevée ; par leur entrée dans notre atmosphère, elles acquièrent une incandescence subite, qui sans doute les fait éclater, mais qui, tout en vitrifiant leur surface, n'a pas modifié l'intérieur des éclats. Celui-ci représente donc l'état de la masse, tel qu'il était dans les espaces, et jusqu'à un certain point, par conséquent, l'état des corps planétaires dont ces fragments sont des échantillons. Étudier ces échantillons d'une manière approfondie, c'est donc préparer certains jalons de l'histoire, si pleine d'intérêt, de ces corps planétaires.

» Les expériences qui précèdent nous ont appris que les météorites du type commun peuvent être imitées dans leur composition principale par le produit de la réduction du péridot ou de la lherzolite au milieu d'une atmosphère réductrice.

(1) La chute du 14 mai 1864, des environs d'Orgueil (Tarn-et-Garonne), paraît en avoir donné un exemple, ainsi que je l'ai exposé (*Comptes rendus, séance du 30 mai 1864, t. LVIII, p. 177*).

» Si ces météorites se sont ainsi formées, il a dû se produire de l'eau à la surface des corps dont elles faisaient partie. Mais ces corps auraient bien pu ne pas conserver cette eau, en raison de leurs faibles dimensions.

» En outre, la réduction, si elle a eu lieu, n'aurait été que partielle; car, en général, le fer n'est qu'en partie réduit, soit à l'état métallique, soit à l'état de sulfure ou de phosphore. Une autre partie de ce même métal est ordinairement combinée, comme protoxyde, dans un silicate, et aussi à l'état de fer chromé (chromite de protoxyde de fer).

» Mais il est une autre idée à laquelle j'ai été conduit dans le cours de ces recherches, et qui me paraît devoir être préférée comme plus simple et plus concluante. C'est en quelque sorte l'hypothèse inverse de la précédente.

» Supposons, ainsi qu'on l'a fait pour notre globe, que le silicium et les métaux des météorites n'aient pas toujours été combinés à l'oxygène, comme ils le sont aujourd'hui pour la plus grande partie; et cela peut être, parce que leur température initiale était assez élevée pour les empêcher d'entrer en combinaison.

» Si, par suite d'un refroidissement ou par une autre cause, l'oxygène vient à agir subitement sur ces corps, il attaquera d'abord ceux pour lesquels il a le plus d'affinité, et, s'il n'est pas assez abondant pour oxyder le tout, ou s'il n'agit pas pendant un temps suffisant, il laissera un résidu métallique composé des corps les moins oxydables.

» J'ai également contrôlé cette seconde hypothèse à l'aide de l'expérience.

» Il convenait d'abord de rechercher comment se comportent les trois corps prédominants des météorites du type commun, le silicium, le magnésium et le fer, quand on les chauffe dans une atmosphère incomplètement oxydante et qu'on en opère non-seulement le grillage, mais aussi la fusion, c'est-à-dire la scorification.

» Pour diriger convenablement cette opération, tout en obtenant une température très-élevée, je ne pouvais mieux faire que de recourir à l'appareil à gaz, aussi simple qu'ingénieux, imaginé par M. Schlœsing. Ce savant distingué a bien voulu me permettre d'opérer dans son laboratoire et m'a prêté son utile concours.

» Notre confrère, M. Fremy, m'a aussi donné une nouvelle marque de son obligeance, en mettant à ma disposition du siliciure de fer bien pur et cristallisé qu'il avait préparé, par l'action du chlorure de silicium sur le fer, pour ses importantes recherches sur la production des aciers. Quant au siliciure de magnésium, dont la préparation en quantité suffisante offrait des

difficultés, et qui sans doute se serait immédiatement oxydé, je l'ai remplacé dans ces premiers essais, en plongeant le siliciure de fer dans de la magnésie calcinée et bien tassée. Le tout était placé dans un creuset brasqué de magnésie; le couvercle, incomplètement luté, permettait quelque accès aux gaz du foyer, et le tout a été soumis à la température la plus élevée du fourneau à gaz.

» Après un coup de feu d'un quart d'heure, le siliciure a disparu. La plus grande partie de son fer se retrouve à l'état métallique, en grains éminemment malléables et ductiles, qui ne retiennent plus qu'une faible quantité de silicium. Pour ce dernier corps, il se change en acide silicique et se combine à la magnésie, en entraînant dans le silicate une certaine quantité de protoxyde de fer qui s'est formé. Le silicate qui prend ainsi naissance est vert et de nuances diverses, parmi lesquelles la teinte olive se fait remarquer; ses géodes sont hérissées de cristaux petits, mais fort nets, ayant la forme d'octaèdres rectangulaires et possédant les autres caractères du péridot.

» Par cette expérience, on arrive donc à la composition des météorites du type commun dans ce qu'elle a de plus essentiel : 1° séparation du fer tant à l'état métallique qu'à l'état de silicate de protoxyde; 2° production du péridot.

» Il importait aussi de rechercher comment, dans une oxydation de ce genre, se répartissent les autres corps qui entrent habituellement dans la constitution des météorites, notamment le nickel, le phosphore et le soufre. Pour cela, on a opéré sur un alliage de fer renfermant du nickel et mélangé à du phosphore de fer, du protosulfure de fer, ainsi qu'à de la silice et à de la magnésie; ce dernier corps étant, par rapport à la silice, dans une proportion un peu plus faible que celle qui correspond à la composition du péridot (1). Après la scorification, qui fut conduite comme dans l'opération précédente, la majeure partie du fer était restée à l'état métallique. Une certaine portion du métal était cependant passée à l'état de protoxyde et combiné, sous forme de silicate, avec la magnésie. Ce silicate, vert-olive,

(1) Les proportions étaient :

Fer allié à 9 pour 100 de nickel.....	10
Phosphore de fer.....	1
Protosulfure de fer.....	1
Silice.....	43
Magnésie.....	57

112

présentait à sa surface des cristaux en tables rectangulaires, comme le péricote, dont il a également les caractères chimiques.

» L'analyse des produits de la fusion a donné aussi des résultats très-dignes d'attention et qui montrent que la ressemblance avec les météorites se soutient dans leurs particularités les plus délicates.

» Berzélius a signalé, mais sans en donner l'interprétation, un contraste singulier que présente la composition des péricotes (1). Tandis que les péricotes terrestres renferment à peu près tous du nickel, les péricotes des fers météoriques, comme ceux de Sibérie et d'Atacama, n'en renferment pas, bien qu'ils soient noyés dans une masse de fer où le nickel entre dans la proportion de 6 à 10 pour 100. La même opposition se reproduit dans notre expérience : le péricote, artificiellement formé en présence d'un alliage renfermant 9 pour 100 de nickel, ne contient, en effet, pas de trace sensible de ce dernier métal. Cette exclusion paraît devoir être attribuée à ce que le nickel, ayant une moindre tendance à s'oxyder que le fer, se concentre en quelque sorte dans celui-ci, tant qu'il en reste à l'état métallique. Si l'oxygène est assez abondant pour oxyder les deux métaux, le nickel lui-même passe aussi à l'état de silicate, comme il est arrivé dans la formation du péricote terrestre.

» Dans cette même expérience, le protosulfure s'est mélangé intimement au fer métallique, comme dans les météorites.

» Il en est de même du phosphore ; on n'a pas trouvé de phosphate dans le silicate formé. On pouvait s'attendre à ce dernier résultat, d'après la réduction qu'éprouvent les phosphates en présence du fer métallique et des silicates.

» Remarquons aussi que le phosphore à éclat métallique, que l'action de l'acide sépare du fer obtenu, n'est plus le même qu'avant la fusion. Il s'est assimilé une quantité considérable de nickel et une certaine quantité de magnésium. Au lieu du phosphore de fer que l'on avait introduit, on retrouve donc ce phosphore triple de fer, de nickel et de magnésium, dont la découverte est due à Berzélius.

» Le phosphore de fer qui s'est isolé dans la préparation synthétique du fer météorique, comme je l'ai mentionné antérieurement, s'était également emparé de nickel.

» En résumé, dans nos scorifications, les principaux corps qui composent

(1) *Poggendorff's Annalen*, t. XXXIII, p. 133; 1834.

les météorites se combinent et se distribuent exactement de la même manière que dans les masses naturelles.

» Cette nature caractéristique des météorites, semi-métallique, semi-oxydée, et qui n'a pas d'analogue dans les roches terrestres qui nous sont accessibles, résulterait de ce que le mélange des corps, tant métalliques que non métalliques, qui constituent les météorites, aurait subi une sorte d'*oxydation* et de *scorification*, mais ces opérations auraient été *incomplètes*, comme celles que produirait, soit une pénurie d'oxygène, soit une action de trop courte durée de la part de ce corps.

» En outre, dans les scorifications, en présence du magnésium ou de la magnésie, il se produit du péridot qui, au lieu d'être exclusivement ferrugineux, comme celui qui prend naissance dans les opérations métallurgiques, est à base de magnésie et de protoxyde de fer, c'est-à-dire ressemblant au péridot ordinaire des météorites et des roches terrestres.

» La constance si remarquable avec laquelle le péridot se retrouve dans les météorites est donc expliquée.

» D'ailleurs, dans cette sorte d'affinage de métaux alcalins ou terreux, si la quantité de silice est suffisante, le péridot se mélange de silicates plus acides, comme on l'observe dans la plupart des météorites.

» Enfin, on se rend compte de l'existence des phosphures dans les météorites, au lieu des phosphates que renferment nos roches terrestres, et de la répartition du nickel qui se refuse à entrer dans le silicate, mais se réfugie dans le fer métallique et en même temps pénètre en combinaison dans le phosphure avec le magnésium.

» En présence de cette reproduction fidèle et complète des traits caractéristiques des météorites et de leurs principales particularités, on est amené à conclure que l'idée à laquelle ces expériences servent de vérification explique d'une manière très-satisfaisante la formation des masses dont les météorites sont des fragments.

APPLICATION AU MODE DE FORMATION DE NOTRE GLOBE. — ORIGINE DU PÉRIDOT
COMME SCORIE UNIVERSELLE.

» L'idée à laquelle je viens d'être conduit pour expliquer l'origine des corps planétaires dont proviennent les météorites éclaire aussi le mode de formation de cette masse silicatée épaisse qui constitue la partie externe du globe terrestre.

» Déjà, au commencement du siècle, Davy, après avoir fait connaître les résultats de son admirable découverte de la composition des alcalis et des

terres, supposait que les métaux engagés dans ces oxydes pouvaient exister à l'état libre dans l'intérieur du globe, et il entrevoyait dans leur oxydation par l'accès de l'eau et de l'air la cause de la chaleur et des éruptions des volcans.

» Plus tard on a agrandi cette hypothèse en l'étendant à l'origine de l'écorce terrestre elle-même, qui renferme précisément à l'état de silicates les oxydes des métaux les plus avides d'oxygène, potassium, sodium, calcium, magnésium, aluminium, etc., et en considérant l'eau des mers elle-même comme le résultat de la combustion de l'hydrogène dans cette oxydation générale. Sir Henry de la Bèche, dont l'esprit savait embrasser toutes les grandes questions de la Géologie, exposa l'un des premiers cette idée (1), qu'avaient bien préparée les importantes observations de Haussmann, de Mitscherlich et de Berthier, sur les scories d'usines (2), et que M. Élie de Beaumont a résumée par l'expression de *coupellation naturelle* (3).

» On reconnaît, sans de plus longues explications, comment cette vue théorique se trouve confirmée et précisée par les résultats que j'ai obtenus dans la synthèse des météorites.

» Il est, en effet, naturel d'admettre que les roches de péridot, dont nous venons de reconnaître l'importance dans la constitution des régions profondes de notre globe, ont la même origine que les silicates semblables qui font partie des météorites. Ces roches péridotiques seraient le produit le plus direct d'une scorification qui se serait opérée à une époque extrêmement reculée sur tout le globe.

» Quant aux roches feldspathiques, bien que la plupart des géologues admettent qu'elles n'ont pas été produites simplement par voie sèche, comme les couches péridotiques profondes, mais avec l'intervention d'agents particuliers, on pourrait y voir l'autre terme extrême de cette scorification générale.

» La différence principale que nous avons signalée entre les roches météoriques et les roches terrestres les plus analogues porte surtout sur l'état

(1) *Researches in theoretical Geology*, 1834 (traduction française, par M. de Collegno, publiée en 1838).

(2) Parmi les nombreuses observations de Haussmann qui remontent à 1816, je dois signaler son travail intitulé : *De usu experientiarum metallurgicarum ad disquisitiones geologicas adjuvandas* (*Göttingen Gelehrte Anzeigen*, 1837). Il est juste aussi de rappeler que dès 1823 Mitscherlich reconnut les formes du péridot et du pyroxène dans les cristaux des scories (*Abhandlungen der k. Academie der Wissenschaften zu Berlin*, 1823, p. 25).

(3) *Bulletin de la Société Géologique*, 2^e série, t. IV, p. 1326; 1847-

d'oxydation plus avancé de ces dernières. Si le fer métallique, tout à fait habituel dans les premières, manque dans les secondes, cette différence peut simplement résulter de ce que dans notre globe, où l'oxygène de l'atmosphère est en excès, l'oxydation aurait été *complète* et n'aurait pas laissé de résidu métallique, au moins pour les masses magnésiennes dont il nous arrive des témoins jusqu'à la surface. C'est par la même cause que, dans nos roches, les phosphures seraient remplacés par des phosphates.

» En résumé, le privilège d'ubiquité du péridot, tant dans nos roches profondes que dans les météorites, s'explique, comme le font voir les expériences qui précèdent, parce qu'il est en quelque sorte la *scorie universelle*.

» On pourrait conclure de ce qui précède que l'oxygène, si essentiel à la nature organique, aurait aussi joué un rôle important dans la formation des corps planétaires. Ajoutons que sans lui on ne conçoit point d'Océan, point de ces grandes fonctions superficielles et profondes dont l'eau est la cause.

» Nous arrivons ainsi à toucher aux fondements de l'histoire du globe et à resserrer les liens de parenté décelés déjà, par la similitude de leur composition, entre les parties de notre système planétaire dont il nous est donné de connaître la nature. »



