

RECHERCHES

SUR

LE MODE DE STRUCTURE DES MÉTÉORITES CHONDRITQUES

UNIVERSALITÉ

DES

PHÉNOMÈNES DU MÉTAMORPHISME MÉCANIQUE

PAR

A.-F. RENARD

MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE



BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

Rue de Louvain, 112

1899

Extrait des *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*
(Classe des sciences), n^{os} 9-10 (sept.-oct.), 1899.

BRUXELLES

chez M. LAURENT, Libraire, Palais National, 100.

1899

RECHERCHES
SUR
LE MODE DE STRUCTURE DES MÉTÉORITES CHONDRITIQUES

UNIVERSALITÉ
DES
PHÉNOMÈNES DU MÉTAMORPHISME MÉCANIQUE (1)

Dans une notice préliminaire relative à la météorite tombée à Lesves le 21 avril 1896, j'ai fait ressortir que cette pierre devait sa structure à des phénomènes cataclastiques (2). J'étais arrivé à cette interprétation en m'appuyant sur diverses particularités que l'examen microscopique de cette météorite m'avait montrées, et en tenant compte dans mes recherches de considérations puisées dans les théories modernes du métamorphisme mécanique. Poursuivant ces études, je ne tardai pas à arriver à la conviction que ces conclusions pouvaient s'appliquer non seulement à la météorite de Lesves, mais à un grand nombre de météorites chondritiques, et que les résultats obtenus ouvraient la voie vers la solution d'un problème de haut intérêt : celui de l'origine tant débattue

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), n^{os} 9-10, pp. 537-558, 1899.

(2) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 3^e série, t. XXXI, p. 654.

et encore si obscure des météorites chondritiques (1). Comme il était nécessaire d'établir ces conclusions sur l'étude d'un grand nombre de météorites, j'ai eu recours à l'obligeance de mon ami M. le professeur Berwerth, qui m'a donné toutes les facilités pour étudier la remarquable collection du Musée Impérial de Vienne dont il est le conservateur, et qui a mis ainsi à ma disposition des matériaux d'étude d'une richesse incomparable, avec une libéralité à laquelle je ne saurais trop rendre hommage. Depuis que j'ai commencé ce travail, qui m'a occupé pendant ces trois dernières années, j'ai eu l'occasion de communiquer mes résultats à plusieurs savants; j'ai pu constater l'importance qu'ils attachent à la solution de ce problème, et l'approbation qu'ils ont donnée à mon interprétation. Je citerai en particulier M. Berwerth et M. le Dr Weinschenk; ce dernier, dont les nombreux et importants travaux sur les météorites sont si hautement appréciés, s'est empressé de mettre à ma disposition sa précieuse collection de préparations microscopiques de météorites, et lorsque, il y a deux ans, je lui exposai l'interprétation à laquelle j'étais conduit relativement au mode de formation des météorites pierreuses, il me déclara que non seulement il était prêt à l'admettre, mais qu'il était lui-même arrivé à une conclusion analogue. De cet échange de vues est sorti le projet d'un travail d'ensemble à faire

(1) Ce que je dis ici s'applique non seulement aux chondrites, mais, dans une certaine mesure, à toutes les météorites pierreuses d'aspect clastique. Si, dans cette notice, je parle surtout des météorites chondritiques, c'est parce que mes recherches ont jusqu'ici porté principalement sur celles de ce type.

en commun et qui comprendra l'étude de l'origine des diverses classes de météorites.

A la suite de l'examen des matériaux du Musée Impérial de Vienne et de ceux de plusieurs collections privées, j'avais établi ma manière de voir sur une base qui permettait une généralisation. J'avais, en effet, eu l'occasion d'étudier au moins la moitié des chutes importantes de météorites pierreuses ; je fis connaître en mars 1897 à la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie (1), que je croyais pouvoir étendre à la généralité des météorites chondritiques les constatations que j'avais faites sur la structure de la météorite de Lesves. J'avançais dès lors que toutes ont été soumises à des phé-

(1) *Bull. de la Soc. belge de géologie, etc.* Séance du 30 mars 1897. M. WEINSCHEK vient de publier un nouveau travail sur les météorites pierreuses qu'on doit considérer comme digne de fixer l'attention (*Zur Classification der Meteoriten*. SITZUNGSBERICHTE K. BAYER. AKADEM. D. WISSEN., 1899, XXIX, II). S'appuyant sur l'étude d'un nombre considérable de préparations qu'il a soumises à l'examen microscopique, il est parvenu à déceler des traits de la structure de ces roches cosmiques qui avaient échappé jusqu'ici aux observateurs, et qui lui ont permis de reconnaître de son côté, avec certitude, que les chondrites étaient à l'origine des roches cristallines. Il y constate partout des traces de élasticité semblables à celles que nous avons constatées nous-même. Le système de classification qu'il propose et dans lequel la microstructure joue un rôle important, porte la marque d'un observateur pénétrant et qui domine l'ensemble du sujet qu'il traite. — M. LINCK, dans un très intéressant travail sur la météorite de Meuselbach (*Der Meteorit (Chondrit) von Meuselbach* i. Th. ANN. K. K. NAT. HOFGEMUSEUMS, XIII, 2-3, Wien, 1899). formule, au point de vue de l'origine des chondrites et des modifications qu'elles ont subies, des idées analogues à celles que j'ai exprimées dans ma notice sur la météorite de Lesves, et d'une manière plus développée, à la séance de la Société belge de géologie en mars 1897.

nomènes analogues à ceux que nous montrent les roches terrestres métamorphisées par cataclase, et je conclusais que pour un grand nombre d'entre elles, on ne doit pas admettre, à cause de leur aspect clastique, qu'elles sont de nature tufacée. C'était faire un pas vers une explication rationnelle de la structure des chondrites.

Résumant en quelques mots l'interprétation que je propose de la formation des chondrites, je dirai que je rejette l'origine polygène qu'on avait attribuée à la généralité des météorites chondritiques et que je les considère comme des roches cristallines qui ont subi l'action du métamorphisme dynamique.

Pour rendre compte de diverses particularités de la structure de ces roches, souvent presque meubles et comme sableuses, dont les éléments quelquefois sans lien ni cohésion sont si faiblement cimentés qu'ils cèdent, peut-on dire, sous la pression des doigts, pour expliquer une analogie d'aspect avec les roches détritiques volcaniques composées d'une agglomération de cendres, ceux qui se sont occupés de l'étude lithologique de ces météorites ont généralement invoqué une origine pyroclastique. D'après ces savants, l'étude des caractères en grand et l'examen microscopique conduiraient à admettre que les chondrites se seraient formés par l'agglomération de particules incohérentes, clastiques comme celles qui constituent les dépôts de cendres et de tufs volcaniques. Suivant cette manière de voir, ces météorites ne seraient autre chose que des fragments de roches tufacées, formées comme nous voyons se former sur les pentes et au pied des volcans terrestres, des accumulations de matières projetées à l'état meuble, faiblement consolidées et étalées en

couches plus ou moins régulières. Dans cette hypothèse, les pierres météoriques dont il s'agit seraient donc des débris d'un corps cosmique où l'activité volcanique se serait manifestée en particulier par la formation de tufs analogues à ceux de nos volcans terrestres.

Rejetant cette manière de voir, je propose d'expliquer les particularités de structure dont il s'agit, en admettant que ces aérolithes étaient à l'origine des roches cristallines qui ont subi l'action du métamorphisme mécanique pendant qu'ils faisaient encore partie du corps cosmique dont ils sont des fragments : je suis porté à penser que le plus grand nombre au moins des chondrites sont des fragments dont la structure a été modifiée par cataclase. Si ce que j'avance est vrai, il s'ensuit immédiatement une conséquence d'une grande portée relativement à l'origine des chondres, ces corps énigmatiques que les pierres cosmiques seules renferment : c'est que ces chondres ne sont pas formés à la manière de gouttelettes laviques projetées des cratères, et qu'ils doivent avoir cristallisé en place dans la roche qui les enchâsse.

Je tiens à dire expressément que je ne vais pas jusqu'à nier l'existence de roches clastiques au vrai sens du mot. Dans la série des météorites chondritiques étudiées jusqu'ici, il y en a au contraire qui sont incontestablement bréchiformes et tufacées ; mais ce que je crois pouvoir démontrer, c'est qu'un nombre considérable de météorites envisagées comme telles ne le sont pas ; qu'en tout état de cause, le métamorphisme dynamique a laissé son empreinte sur presque chacune des météorites pierreuse. Je crois que ce sont ces phénomènes qui, en voyant la structure primitive, ont conduit dans beaucoup de cas à une fausse interprétation des faits.

Si maintenant l'on tient compte de cette action modificatrice, tout au plus entrevue avant ces recherches, et dont les effets n'avaient pas été constatés sur la généralité des chondrites comme ils le sont aujourd'hui, je pense qu'on explique aisément un grand nombre de faits restés obscurs quant à la nature de ces corps, qu'on écarte les causes d'erreur qui ont provoqué ces divergences d'opinions. J'ajoute qu'en l'étendant aux météorites, on prouve l'universalité d'un mode de métamorphisme reconnu jusqu'ici aux seules roches terrestres qui ont été soumises aux mouvements orogéniques et dont les effets, d'importance capitale en géologie, peuvent aller jusqu'à voiler entièrement la structure primitive des masses rocheuses et donner le change sur leur origine.

Quelles sont les opinions en présence pour interpréter la structure et l'origine des chondrites? Il va sans dire que je ne parle que des hypothèses appuyées par des savants qui font autorité en ces matières. D'une manière générale, on peut les diviser en deux groupes : ceux qui admettent l'origine pyroclastique de chondrites et les considèrent comme un agglomérat de matières incohérentes projetées par des volcans, et ceux qui envisagent ces roches comme cristallines, c'est-à-dire comme constituées par des minéraux qui se sont formés en place. Je n'ai pas à insister ici sur les arguments invoqués en faveur de la nature polygène des chondrites. Je renvoie à la grande publication de Tschermak, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Meteoriten* (1885), où l'auteur a résumé les raisons qui paraissent militer en faveur de cette théorie. Dans l'Introduction de cette remarquable série de photographies de météorites, on trouve exposés par un

maître les faits qui l'ont conduit à admettre que les chondres sont des gouttelettes, rapidement refroidies, de matière lavique projetée hors de l'orifice volcanique, que la pâte de masse fondamentale des chondrites est de nature tufacée, etc. Il est évident que les caractères énigmatiques des chondres, ces globules de péridot ou de pyroxène à structure rayonnée spéciale aux corps cosmiques, ont dû entrer en ligne de compte dans l'appréciation de Tschermak. C'est l'hypothèse d'une formation pyroclastique, dans le sens strict du terme, qu'il adopte. Je crois du reste que c'est l'opinion communément admise aujourd'hui.

Une opinion contraire est celle défendue par Kenn-gott, Wadsworth, von Foullon, etc. Pour eux, les éléments des chondrites ont cristallisé *in situ* et ne portent pas de trace de élasticité; mais tout en constatant que les chondrites étaient à l'origine des roches cristallines, ces savants n'ont pas donné l'interprétation vraie de leur structure actuelle si frappante, et qui jusqu'ici a laissé tant de prise au doute.

D'après nos recherches, cette texture si caractéristique des chondrites, mal interprétée par les partisans de la première hypothèse, laissée dans l'ombre, ou non expliquée par ceux qui admettent la seconde, est due à ce que ces météorites d'aspect élastique furent soumises à des phénomènes de pression intense, analogues à ceux provoqués dans les roches terrestres par les mouvements orogéniques. Ce broyage est allé jusqu'à la pulvérisation intime des éléments, pulvérisation qui a donné son aspect et sa structure à la roche actuelle, le fer seul, parmi les minéraux constitutifs, ayant échappé à l'écrasement et au broyage, grâce à sa ductilité. Cette structure cataclastique

une fois nettement reconnue, donne la clef, je pense, d'un grand nombre de particularités des météorites chondritiques et permet de remonter à leur nature lithologique originelle. Si l'on a tardé à aborder le problème par cette voie, c'est peut-être parce que la théorie du métamorphisme dynamique n'était pas admise en géologie au moment où furent publiés les travaux des savants que je viens de citer; peut-être aussi à cause des différences saillantes que présentent à première vue les météorites et les roches terrestres qui ont subi l'action du dynamométamorphisme : car les effets des pressions énergiques auxquelles les premières furent soumises ne se traduisent pas, comme nous le montrerons tout à l'heure, par le même ensemble de caractères que ceux observés dans les roches terrestres métamorphisées sous l'influence de la même cause.

Sans énumérer toutes les raisons qui plaident en faveur de la formation *in situ* des éléments minéralogiques des chondrites, raisons qui corroborent toutes l'interprétation que je propose, je me borne à insister ici sur les faits suivants, qui peuvent être invoqués d'une manière spéciale pour appuyer l'explication que je donne : les chondres ne sont jamais des fragments arrondis de roches, ils sont formés de minéraux appartenant aux mêmes espèces que ceux qu'on voit dans la météorite ou qui constituent la masse fondamentale; dans les phénocristes et dans la masse fondamentale, on n'observe rien qui rappelle nettement les particules volcaniques projetées à l'état meuble lors des éruptions. C'est ainsi qu'on n'y trouve ni poussières, ni cendres, ni lapilli, ni fragments vitreux ou bulleux avec leur cassure et leur forme spéciales, ni cristaux idiomorphes revêtus de matière

vitreuse; on n'y constate jamais ni la structure scoriacée, vésiculaire, ni celle dite ponceuse; le verre qu'on observe au microscope s'est produit par la fusion de la croûte lorsque la pierre est entrée dans notre atmosphère, ou bien il peut être interstitiel; jamais il n'est fragmentaire. Sans m'arrêter à ces particularités et sans détailler ici toutes les différences que présentent les roches pyroclastiques des couches géologiques anciennes ou récentes et les météorites dont on les a rapprochées, je dois constater, contrairement à l'opinion d'un grand nombre de savants, que dans la majorité des cas les chondrites que j'ai examinés sont des roches qui étaient cristallines à l'origine. Je me range donc sans hésiter avec ceux qui n'admettent pas que ces masses cosmiques soient des agglomérations de produits volcaniques incohérents.

Mais comment expliquer dans cette hypothèse l'aspect élastique, sableux, presque ponceux, pulvérulent, tufacé que les chondrites présentent à des degrés différents lorsqu'on les examine à l'œil nu, ou lorsqu'on les étudie au microscope sur les plaques minces si difficiles à tailler à cause même de cette friabilité? Un coup d'œil sur les remarquables photographies micrographiques de l'atlas de Tschermak suffit pour se convaincre que réellement les chondrites portent des traces de élasticité, mais hâtons-nous d'ajouter que ce n'est pas la élasticité des roches détritiques ou des tufs volcaniques. Un peu d'attention permet bientôt de constater sur un grand nombre de figures de cette publication que les fractures qui sillonnent les minéraux constitutifs ne sont pas dues au transport, que les fissures très fines et les crevasses plus larges qui traversent ces minéraux ont été incontestable-

ment provoquées sous l'influence des pressions intenses produites lorsque les éléments minéralogiques constituant ces roches étaient *in situ*, juxtaposés, occupant les uns vis-à-vis des autres la position qu'ils avaient après la solidification de la masse. Ceci découle à toute évidence du fait que le plus grand nombre de ces cristaux brisés montrent leurs fragments réunis et groupés en une seule plage, reliés par des propriétés optiques communes. Ces pièces de rapport juxtaposées avec de légers déplacements prouvent d'une manière formelle par leur position relative, que nous n'avons affaire ici qu'à des phénomènes de dislocation sur place, et qu'il est impossible de faire intervenir la fragmentation, la trituration, ou même l'éclatement durant le transport. Il serait vraiment étrange que les fragments d'un même cristal brisé lors de la projection hors de l'orifice volcanique soient venus, après un transport dans l'espace, se réunir de manière à reconstituer le cristal primitif : chacun des fragments occupant vis-à-vis des autres la position de pièces de rapport qu'on peut rattacher, grâce à leur forme et à leurs propriétés optiques communes, à un seul individu cristallin brisé dont les parties auraient subi de légers déplacements. Nous ne devons pas insister sur ces faits que nous avons constatés des milliers de fois : ils parlent par eux-mêmes. (Voir en particulier les figures 3, pl. I ; 2, 3, 4, pl. II ; 4, pl. III ; 4, pl. IV ; 2, 4, pl. VI de l'atlas de Tschermak ; voir aussi le photogramme 1 qui accompagne cette notice et qui représente une plage de la météorite d'Ibbenbüren (préparation du Musée de Vienne) ; une autre plage de la même météorite est reproduite dans l'atlas de Tschermak, fig. 4, pl. VI.)

Je rappelle en outre que dans ma notice sur la météoro-

rite de Lesves, j'ai déjà signalé que les cristaux de péridot montraient des *extinctions roulantes*, indiquant ainsi les pressions déformatrices auxquelles ils furent soumis, et j'ai constaté, en outre, dans cette météorite, la *structure en mortier*, caractéristique de la cataclase. On voit, en effet, dans cette pierre, comme dans presque toutes celles que j'ai examinées, autour des plus grands cristaux dont le centre peut avoir conservé son intégrité, une zone de débris élastiques qui va se perdant dans la masse entourante. Ces grains fins simulent en quelque sorte une masse fondamentale et ne sont autre chose que les particules broyées et disloquées du cristal qu'ils encadrent. Ces grains s'emboîtent, peut-on dire, et sauf quelques légers déplacements ou glissements, ils ont conservé la position relative qu'ils avaient après leur rupture.

C'est ainsi qu'on peut observer autour de toutes les grandes sections cristallines d'aspect ruiniforme et à bords fissurés, des fragments détachés plus ou moins réduits en poussière, et qui forment comme le ciment qui enchâsse les grains de plus grande dimension. Quelques-uns de ces cristaux sont broyés jusqu'au centre de la plage, et suivant les lignes de clivage à l'intérieur même de la section se sont accumulées des particules provenant du broyage. Dans certains cas, les contours primitifs de cette section sont absolument effacés et une agglomération de grains marque la place occupée autrefois par la plage cristalline continue. Ainsi, la masse très fine intercalée partout entre les chondres et les grandes plages de cristaux ne serait autre chose que le produit de la trituration des éléments originaires. Quelquefois le broyage s'est fait sentir jusqu'au centre du cristal en s'avancant le long des lignes de clivage qui sont jalonnées par une pous-

sière résultant de l'écrasement. (Voir le photogramme 2 représentant la météorite de Lesves qui montre un degré de cataclase très avancé.)

Ces détails micrographiques sont bien ceux qu'on constate dans les cas de dynamométamorphisme. Les roches péridotiques terrestres, celles qui se rapprochent le plus des corps cosmiques dont il s'agit et qui ont été soumises à cette action modificatrice, nous offrent des faits analogues. Ainsi, d'après Reusch et Brögger, certaines péridotites ont été transformées en masses à grains fins, presque sableuses et friables, sous l'influence des pressions orogéniques qui ont en quelque sorte écrasé et pulvérisé ces roches cristallines. J'interprète de la même manière la structure des chondrites et l'aspect tufacé de leur masse fondamentale : les météorites dont il est question dans cette notice étaient cristallines à l'origine ; elles auront été broyées sous l'influence des actions dynamiques, et modifiées au point de présenter comme une pseudo-masse fondamentale ou pâte qui n'est qu'une poussière de substance cristalline désagrégée sur place. Les plages plus grandes de cristaux qui se détachent de cette espèce de pâte sont celles où le broyage n'a pas atteint le centre et s'est arrêté aux parties périphériques ; par leur volume, elles ont été mieux défendues contre un broyage total. Lorsque ces cristaux n'ont pas été entièrement pulvérisés, l'effort mécanique auquel ils furent soumis se traduit cependant par les extinctions roulantes et par un lacin remarquable de petits joints qui sillonnent les minéraux des météorites, par les fissures qui les traversent et qu'on peut suivre dans les plages adjacentes, montrant ainsi que la dislocation s'est produite lorsque la roche avait déjà pris corps.

J'ai dit plus haut que des différences saillantes existaient cependant entre les effets produits par le métamorphisme mécanique sur les roches météoriques et ceux qu'il détermine sur les roches terrestres dans les mouvements orogéniques ; j'ajoutais que ces anomalies avaient peut-être eu pour effet de voiler l'analogie qui existe quant à la cause en jeu dans le métamorphisme des roches cosmiques et terrestres. Une différence saillante, en effet, entre ces dernières et les chondrites, c'est la nature peu consistante, presque friable, des roches chondritiques. Les roches terrestres qui ont été soumises aux mêmes actions dynamiques sont toujours, peut-on dire, beaucoup plus compactes et plus massives : alors même que la pression y aurait déterminé une structure bandée zonaire, ou feuilletée ; la texture de la roche est toujours plus serrée et plus compacte. Il me paraît que ces différences trouvent leur explication dans les considérations suivantes : lorsque les phénomènes de dynamo-métamorphisme se produisent pour les roches terrestres, ils sont généralement accompagnés ou suivis d'actions chimiques qui restituent à la masse broyée une certaine continuité ; il n'y a pas seulement broyage, glissement et déplacement mécaniques des éléments constitutifs, mais des déplacements moléculaires se produisent, et des minéraux de seconde formation sont engendrés. Or pour les météorites ces derniers phénomènes ne pouvaient se produire. Si elles n'ont pas subi cette recimentation, si les particules constitutives sont en quelque sorte restées incohérentes, c'est que l'eau, ce véhicule de presque toutes les réactions minérales qui se sont produites dans la croûte terrestre, n'était pas en présence lors de la formation de ces roches, et que les actions oxydantes étaient réduites à

un minimum, comme nous le prouve en particulier la présence du fer à l'état natif.

Ce n'est pas le lieu d'entrer ici dans d'autres détails relatifs aux conditions de formation des chondrites; je n'insiste que sur un point se rattachant directement à notre sujet : c'est que je suis peu porté à admettre que ces phénomènes de métamorphisme dynamique se soient produits pour les chondrites avec une élévation bien notable de température : dans ce cas, on observerait des produits de fusion, des alliages et des combinaisons du fer avec les silicates associés, semblables à ceux que nous montre la croûte externe produite par l'échauffement que ces pierres ont subi en traversant notre atmosphère.

J'ai voulu contrôler par l'expérience les observations sur la cataclase des météorites pierreuses, et réaliser dans le laboratoire des phénomènes analogues à ceux que la pression a produits dans ces roches cosmiques. Ce qui m'engageait surtout à tenter ces essais, c'est que les phénomènes à reproduire se présentaient comme relativement simples, plus simples en tout cas que ceux provoqués dans les roches terrestres par les mouvements orogéniques. On sait, en effet, que trois facteurs entrent en jeu dans les phénomènes du métamorphisme dynamique auxquels sont soumises les roches profondes : une pression énergétique s'exerçant dans tous les sens, analogue donc à une pression hydrostatique, une température élevée et enfin l'action des eaux circulant dans ces roches. Or, comme nous l'avons dit à l'instant, on déduit des faits observés par l'examen lithologique des météorites, que nous pouvons faire abstraction des deux derniers facteurs : les minéraux même les plus hydratés qui constituent ces corps cosmiques, ne portent jamais

la trace de l'action de l'eau, rien n'indique que les phénomènes de pression aient été accompagnés pour les météorites d'une élévation notable de température. Nous n'avons donc, pour reproduire la cataclase des météorites, qu'à mettre en jeu une pression énergique, autant que possible analogue à la pression hydrostatique. Pour réaliser ces expériences, j'ai eu recours au bienveillant concours de M. le Dr Stöber, qui s'occupe en ce moment d'études relatives aux phénomènes produits par la pression dans les corps cristallisés. A cet effet, il a fait construire sur ses données, par la firme Kärger, de Berlin, une puissante presse en acier spécialement destinée à ces recherches, et qui se prête parfaitement aux expériences que j'avais en vue. Sans entrer dans la description de l'appareil à compression que M. Stöber donnera lorsqu'il publiera les résultats de ses études personnelles, je me borne à constater que cette presse, à l'aide de laquelle on peut atteindre 5 à 6,000 atmosphères, est à mon avis appelée à rendre de grands services dans les laboratoires géologiques.

J'ai choisi pour la soumettre à l'expérience une roche remarquablement cristalline que j'avais recueillie comme échantillon isolé près d'un gîte de kaolin, à Matagne-la-Petite (1).

(1) Je suis porté à assimiler ce grès aux blocs épars à la surface du sol, qu'on rencontre en particulier aux environs de Dourbes et de Fagnolle, et dont M. Bayet s'est occupé dans sa *Première note sur quelques dépôts tertiaires de l'Entre-Sambre-et-Meuse* (BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE, t. X, 1896, p. 135). Je tiens à remercier ce savant pour les indications qu'il m'a obligeamment données sur la roche dont il s'agit. Je crois pouvoir admettre qu'à l'origine elle était probablement une

Cette roche est un grès blanc ressemblant comme aspect à un calcaire saccharoïde à grains fins; cependant les grains constitutifs n'ont pas une structure microgranitoïde; chacun d'eux est un cristal irrégulièrement terminé à vrai dire, mais montrant des faces de prisme et, plus vaguement, celles de la pyramide. On constate, en outre, que tous ces cristaux ébauchés ont une orientation plus ou moins parallèle, comme on peut le voir dans le photogramme 3, qui représente, en lumière polarisée, une section mince du grès, tel qu'il se montre avant d'avoir été soumis à la pression. Cependant, cette orientation n'a pas une constance absolue, ainsi qu'on l'observe dans le même photogramme, où des cristaux plus ou moins perpendiculaires aux premiers sont représentés par de petites plages presque circulaires ou même vaguement hexagonales, au lieu de se montrer en lamelles allongées éteignant en long. Telle est la transparence des lames minces de cette roche composée presque exclusivement de quartz hyalin et de quelques rares granules de glauconie, telle est la limpidité de ces cristaux incolores juxtaposés, qu'il devient assez difficile de les distinguer les uns des autres lorsqu'on les observe en lumière ordinaire; pour se rendre compte de la structure

masse sableuse dont les grains irréguliers amoncelés auront été cimentés par des infiltrations de matière siliceuse, qui s'orientait sur les grains primitifs, de manière à reconstituer la forme cristalline et à donner à l'ensemble l'aspect remarquablement cristallin de cette roche. Je n'insiste pas davantage sur l'origine et l'âge de ce grès, n'ayant pas d'opinion définitive à cet égard, et cette question n'ayant pas de rapport direct avec celle que je traite dans cette notice; mais je signale, en passant le grand intérêt que présente l'étude de ces fragments de grès cristallisé.

et de la nature minéralogique, il faut recourir à l'emploi de la lumière polarisée, comme il a été fait pour le photogramme 3. J'aurais pu opérer sur une autre roche, mais j'en aurais difficilement rencontré qui fût plus propre à révéler les modifications qui allaient se produire dans la structure pendant l'expérience. Un fragment de ce grès d'environ 10 millimètres de base sur 20 de hauteur fut enveloppé entièrement dans un cylindre d'alliage de Rose, de 15 millimètres de diamètre sur 55 de haut. La pierre ainsi recouverte par l'alliage fut introduite dans l'orifice cylindrique de l'appareil et soumise pendant trois heures environ à une pression qu'on peut évaluer à 5,000 atmosphères. Sous cette pression, l'alliage se comportant comme un liquide, on peut dire qu'on s'approche sensiblement des conditions de la pression hydrostatique. Lorsque après l'expérience on dégage le fragment de grès de son enveloppe métallique, sa forme n'est nullement modifiée; son aspect externe est resté absolument le même; la roche n'est pas sensiblement plus friable, seulement on observe une tendance à un feuilletage grossier, normal à la direction de la pression exercée par la vis. Suivant ce plan, le fragment se brise avec plus ou moins de facilité en lames épaisses de 2 millimètres environ; mais, sauf cette espèce de clivage presque latent, rien n'est modifié à l'aspect extérieur.

Il en est tout autrement de la structure interne (voir photogramme 4). Si l'on examine au microscope une lame taillée dans le fragment qui a été comprimé, on voit d'une manière frappante les effets de cette compression: plus une seule plage cristalline n'a conservé son intégrité; jusqu'au cœur même du fragment, toutes se sont brisées et plus ou moins disloquées. En comparant les deux

photogrammes 3 et 4, juxtaposés sur la planche, on voit le contraste le plus frappant : le premier est incontestablement celui d'une roche cristalline, le second est celui d'un grès clastique, et si l'on ignorait que celui-ci n'est autre chose que la première roche broyée par cataclase, on n'hésiterait pas à le prendre pour un amas de grains de sable irréguliers agglomérés comme ceux d'un grès sédimentaire.

Dans cette expérience, on a donc reproduit artificiellement la structure cataclastique au degré où elle se montre dans les météorites, et l'on peut conclure de ce que nous observons dans ce grès que c'est à la même cause qu'est dû l'aspect clastique des météorites pierreuses. Pour celles-ci comme pour la roche arénacée, il y a des analogies incontestables de structure; dans les deux cas, on constate le broyage de tous les cristaux sur place, leurs tronçons gisent les uns près des autres avec légers déplacements, s'emboitant presque comme des pièces de rapport, et ces phénomènes de pression ont à eux seuls suffi à voiler la structure primitive. On a donc reproduit par ces expériences des faits analogues à ceux constatés dans les chondrites, où ni la température ni l'hydratation n'ont joué un rôle important lors du métamorphisme, mais où la pression seule doit être entrée en jeu. Dans le grès toutefois, le broyage a déterminé la formation de grains d'une dimension un peu plus uniforme que dans les météorites, la structure en mortier n'est pas aussi nettement indiquée peut-être, mais il n'est pas difficile de trouver l'explication de ces différences, si l'on tient compte de la nature du minéral et de ses dimensions uniformes dans la roche sur laquelle a porté l'expérience; si l'on tient compte, en outre, que les grains brisés n'ont

pu subir de déplacements latéraux. Pour avoir des analogies beaucoup plus complètes encore, pour reproduire en particulier l'aspect tufacé, il faudrait évidemment agir sur des roches silicatées de composition semblable à celle des météorites pierreuses, et de structure spéciale. C'est dans cette voie que M. Stöber et moi nous poursuivrons ces recherches. Nous nous attacherons aussi à prolonger la durée de l'expérience; nous avons dû l'interrompre après trois heures, afin de ne pas déformer l'appareil. Il est très probable que si nous avions maintenu pendant plus longtemps sous pression les fragments de grès sur lesquels nous avons expérimenté, nous eussions provoqué des extinctions roulantes. Je ne voudrais pas affirmer que cette déformation optique ne se soit pas produite dans ces essais; mais je n'ai pas pu la constater avec certitude, à cause des difficultés qui s'opposent à amener à une minceur suffisante ces grains brisés et simplement juxtaposés.

Quoi qu'il en soit de ces différences de détail, nous croyons avoir montré par l'expérience comment, sous l'influence de la pression, une roche cristalline peut se transformer en une masse d'aspect clastique à laquelle on pourrait attribuer une origine sédimentaire. Sans nous arrêter à montrer ce que ces essais peuvent avoir d'intéressant pour l'étude des roches terrestres, bornons-nous à constater combien ils appuient l'interprétation que j'ai donnée de la structure des chondrites et des météorites pierreuses en général.

Personne plus que moi n'est convaincu des difficultés qui entourent le problème que j'ai tenté d'aborder, mais si le point de vue auquel je me suis placé est le vrai, on

pourrait considérer la question encore pendant des conditions de formation des chondrites comme ayant fait un grand pas.

Il est presque inutile de rappeler qu'on peut rencontrer des météorites de ce type qui sont de nature tufacée, et que depuis longtemps on a trouvé des météorites bréchiformes; mon but n'a pas été d'infirmer ou de confirmer ces faits; j'ai voulu rattacher à sa cause la structure pseudoclastique, si je puis m'exprimer ainsi, qui a induit en erreur certains observateurs; je me suis proposé d'interpréter cette structure comme étant provoquée par le métamorphisme dynamique, appliquant ainsi pour la première fois à la généralité de ces corps cosmiques un mode d'interprétation qui a permis de dévoiler l'origine d'un grand nombre de roches terrestres, envisagées jusqu'ici comme indéchiffrables.

Outre l'intérêt qui s'attache aux faits que mettent en lumière les observations dont je viens de donner un exposé sommaire, il en est un autre d'un ordre plus général et sur lequel j'insiste en terminant: c'est l'universalité du métamorphisme mécanique. Il convient de l'envisager comme un phénomène cosmique et l'on ne peut manquer d'être frappé en voyant l'unité, déjà constatée sur tant de points entre les roches terrestres et les masses extra-terrestres, se confirmer encore au point de vue d'un mode de structure que les investigations les plus modernes, peut-on dire, ont révélé dans les masses rocheuses de notre planète.

EXPLICATION DES PHOTOGRAMMES.

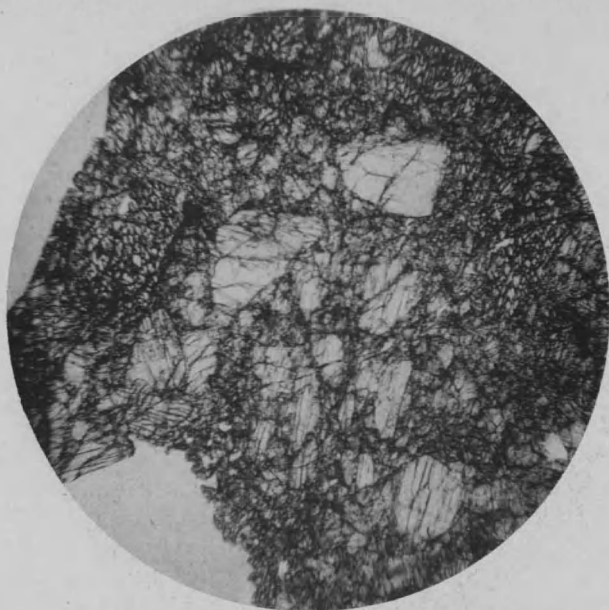
Phot. 1. — Météorite d'Ibbenbühen. Structure en mortier entre les grands fragments de cristaux de bronzite. Ces fragments, au nombre d'une dizaine, constituent les débris disloqués en place d'un ou deux cristaux, ainsi qu'on peut le reconnaître par leur forme, leur aspect, leur disposition relative et leurs propriétés optiques communes. On observe des phénomènes analogues dans la photographie de la même météorite publiée dans l'Atlas de Tschermak, fig. 3, pl. VI. Lum. ord., $20/4$. Échantillon du Musée de Vienne. (Nous avons reproduit cette photographie de la météorite d'Ibbenbühen, bien que celle-ci n'appartienne pas aux chondrites, pour montrer que la structure cataclastique n'est pas exclusivement propre aux météorites de ce dernier type.)

Phot. 2. — Météorite de Lesves. Structure cataclastique tellement prononcée qu'on peut à peine reconnaître dans la microphotographie les formes primitives des plages cristallisées qui ont été broyées en place. Lum. ord., $58/4$.

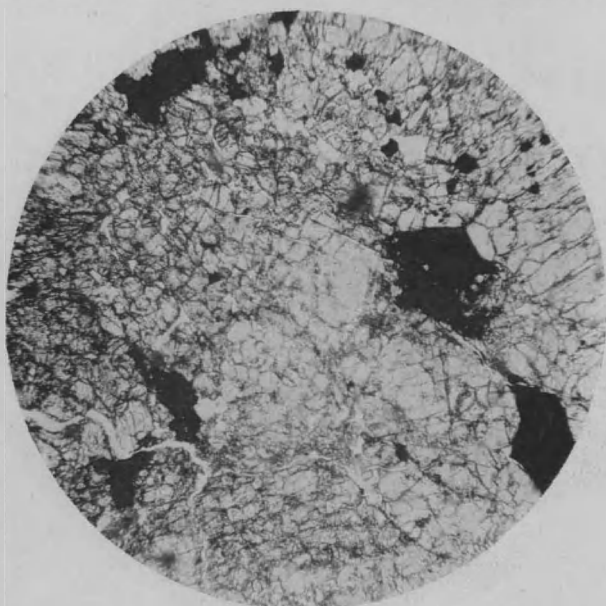
Phot. 3. — Grès blanc cristallin recueilli à Matagne. Ce photogramme représente la roche avant d'être soumise à la pression. Les plages allongées plus ou moins parallèles, éteignant en long, sont des sections de quartz parallèles à l'axe c ; d'autres sections arrondies, vaguement hexagonales, sont taillées plus ou moins normalement à cet axe; d'autres plages enfin ont une orientation irrégulière. On voit que tous les éléments de cette roche ont des formes cristallographiques assez nettement accusées. Lum. pol. Nic. à 45° , $47/4$.

Phot. 4. — Grès blanc cristallin de Matagne après avoir été soumis à la pression : toutes les sections cristallines sont brisées et disloquées; la roche apparait comme si elle était formée d'une accumulation de grains de sable irrégulièrement agglomérés, comme ceux d'un grès sédimentaire. Lum. ord., $\frac{1}{4}$.

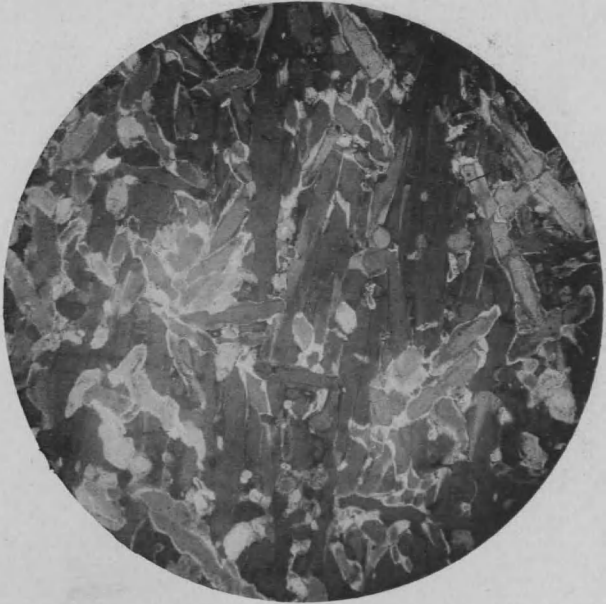




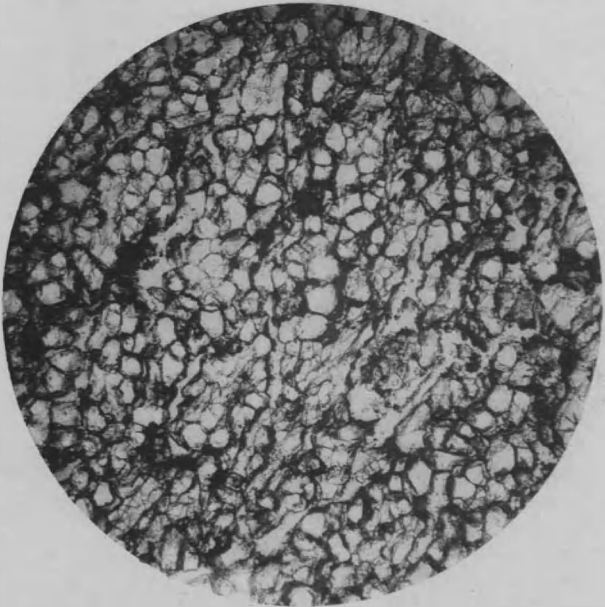
Photogramme 1.



Photogramme 2.



Photogramme 3.



Photogramme 4.