

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ERNEST MALLARD,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR DE MINÉRALOGIE
A L'ÉCOLE NATIONALE DES MINES.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

—
1881

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ERNEST MALLARD,

Ingénieur en chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'École nationale des Mines.

MINÉRALOGIE.

I. — CRISTALLOGRAPHIE.

Sur les rapports qui existent entre les symétries intérieure et extérieure des cristaux. — Groupements intérieurs des cristaux. — Polymorphisme.

La loi de la propagation lumineuse dans les cristaux est régie par un certain ellipsoïde propre à chacun d'eux. On démontre rigoureusement que, si la symétrie intérieure d'un cristal est conforme à celle que manifeste sa forme extérieure, l'ellipsoïde optique est une sphère dans les cristaux cubiques, un ellipsoïde de révolution dans les cristaux quadratiques, rhomboédriques et hexagonaux, un ellipsoïde à trois axes inégaux dans les cristaux appartenant aux autres systèmes.

Des faits nombreux avaient semblé montrer que les choses se passent toujours effectivement de la sorte. Il est vrai que Brewster avait signalé dans certaines substances cristallisées, telles que l'analcime, l'apophyllite, etc., des anomalies singulières et qui paraissaient peu d'accord

avec la théorie. Mais Biot, dans un Mémoire bien connu, avait cru démontrer que ces anomalies pouvaient s'expliquer par certains accidents secondaires de la formation des cristaux et à l'aide d'une hypothèse particulière, celle de la polarisation lamellaire.

Avant la publication du Mémoire (1) que j'ai consacré à l'étude de cette question, les minéralogistes étaient donc à peu près unanimement d'accord pour admettre que la symétrie intérieure des cristaux est toujours d'accord avec celle du polyèdre extérieur et qu'il est licite de conclure de l'une à l'autre.

Combinant les études cristallographiques proprement dites avec celles des propriétés optiques, que Senarmont et M. Des Cloizeaux ont principalement contribué à introduire dans la science minéralogique, j'ai montré, contrairement à l'opinion reçue, que dans des cas très nombreux il y avait réellement désaccord entre les symétries intérieure et extérieure d'un cristal.

C'est ainsi, pour prendre quelques exemples frappants, que j'ai prouvé que la boracite, considérée jusque-là comme l'un des types de l'hémiédrie tétraédrique du système cubique, possède en réalité un réseau moléculaire dont la symétrie est seulement celle du système rhombique. Certaines variétés du grenat possèdent un réseau dépourvu de tout élément de symétrie.

J'ai en même temps montré que ces apparentes dérogations aux lois de la symétrie cristalline sont soumises à des règles précises que j'ai fait connaître.

Tout d'abord ces dérogations ne se produisent que dans les substances pour lesquelles la maille du réseau moléculaire (c'est-à-dire ce parallélépipède qu'Haüy appelait la *molécule intégrante*) a une *forme limite*. On entend par cette expression que ce parallélépipède approche, mais sans l'atteindre, d'un certain degré de symétrie. Tel serait, par exemple, un parallélépipède qui ne différerait d'un cube que par de très légères différences dans les longueurs des arêtes ou dans les inclinaisons mutuelles des faces; tel serait encore un parallélépipède qui

(1) Explication des phénomènes optiques anormaux que présentent un grand nombre de substances cristallisées (*Annales des Mines*, 7^e série, t. X, 1876, et *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 1^{er} et 15 mai 1876).

aurait exactement la forme d'un cube, mais dans lequel la matière ne serait pas répartie suivant la symétrie cubique.

Dans de pareilles substances, la nature semble s'appliquer, comme je l'ai fait voir, à compenser, par des groupements appropriés, le défaut de symétrie de la molécule intégrante, et à construire ainsi, avec des matériaux dissymétriques, un édifice cristallin doué d'une symétrie parfaite.

J'ai donné la loi des groupements qui permettent à la nature d'atteindre ce but.

Prenons deux corps identiques entre eux et dissymétriques : groupons-les ensemble, de manière que l'un d'eux soit le symétrique de l'autre par rapport à un certain plan. Le groupement des deux corps admettra ce plan comme élément de symétrie, tandis que chaque corps pris isolément est dépourvu de toute symétrie.

Supposons donc un certain réseau moléculaire R absolument dissymétrique, mais ayant une maille parallélépipédique presque cubique. Si la maille avait rigoureusement la symétrie cubique, on pourrait, sans paraître modifier dans l'espace la position du réseau, lui donner vingt-quatre positions différentes. Si l'on donne au réseau R ces vingt-quatre positions, elles n'occuperont qu'à peu près le même lieu dans l'espace; mais, si l'on groupe ensemble ces vingt-quatre orientations différentes du réseau, le groupement aura tous les éléments de symétrie du cube.

Il y a deux manières de concevoir la formation de ces groupements. Ils peuvent se faire entre des portions finies du cristal, identiques entre elles, mais différemment orientées. Si celles-ci se juxtaposent d'une façon régulière, on pourra avoir un individu cristallin unique, limité par un polyèdre d'une parfaite symétrie, mais dont la structure intérieure sera singulièrement complexe. C'est ainsi que l'examen optique de lames minces taillées, dans certaines variétés de *grenat*, suivant des directions méthodiquement choisies, m'a montré que ces variétés, dont la symétrie extérieure est si parfaitement cubique, sont édifiées par le groupement, autour d'un centre commun, de vingt-quatre orientations différentes d'un réseau absolument dépourvu d'éléments de symétrie, au sens rigoureux du mot, mais possédant à peu près tous les éléments de symétrie du cube.

Dans la *boracite*, des phénomènes analogues se produisent; mais le

réseau primitif est rhombique, et le groupement de six orientations seulement conduit à la symétrie cubique.

Dans l'*alun*, le réseau primitif est rhomboédrique, et la symétrie cubique est obtenue par le groupement de quatre orientations distinctes, etc.

Les groupements, au lieu de se faire entre des portions finies du réseau cristallin, régulièrement distribuées autour d'un point, peuvent se faire entre des portions de ce réseau, finies encore, mais plus ou moins confusément mêlées. On passe de ce cas à celui de groupements se faisant entre des portions infiniment petites du réseau; les groupements sont alors devenus moléculaires, et on peut les considérer comme des groupements de la maille même du réseau.

Revenons, par exemple, à la molécule du grenat; si elle était cubique, elle pourrait, comme je l'ai dit, prendre, sans paraître changer de position dans l'espace, vingt-quatre orientations différentes. Supposons groupées ces vingt-quatre orientations; nous obtiendrons une nouvelle molécule intégrante, dont la symétrie sera celle du cube et pourra donner naissance à des cristaux dont la symétrie extérieure et la symétrie intérieure seront rigoureusement cubiques.

Mais il peut arriver aussi que le groupement moléculaire se fasse seulement entre les quatre orientations différentes qui ne donneraient que la symétrie rhombique. Les nouvelles molécules composées ainsi obtenues seront rhombiques et pseudocubiques, et les réseaux auxquels elles donneront naissance pourront, par des groupements analogues à ceux de la boracite, donner naissance à des cristaux à symétrie extérieure cubique, mais formés par le groupement, autour d'un même point, de six orientations différentes du réseau rhombique.

J'ai fait voir que les combinaisons diverses que je viens d'indiquer se retrouvent effectivement dans les diverses variétés de grenat.

Dans la variété dite *topazolite*, le réseau reste anorthique, et chaque individu cristallin est composé de vingt-quatre cristaux identiques entre eux, mais différemment orientés.

Dans la variété *ouwarowite*, le réseau est devenu rhombique, et chaque individu cristallin est composé de six orientations de ce réseau.

Dans les variétés telles que celles du Tyrol, le réseau est devenu

presque complètement cubique, et la symétrie intérieure est parvenue à se mettre rigoureusement d'accord avec la symétrie extérieure.

En résumé, on peut dire, d'une manière générale, que *tout cristal à forme limite dont le réseau moléculaire ne possède qu'approximativement un certain mode de symétrie tend constamment à former des individus cristallins qui le possèdent rigoureusement*. Il y arrive, d'une façon en quelque sorte grossière, en groupant convenablement, soit autour d'un point, soit autour d'une ligne, soit par rapport à un plan, des portions finies homogènes et différemment orientées du réseau. Il y arrive encore d'une façon plus parfaite en constituant un réseau nouveau dont la molécule cristalline est formée par des groupements des molécules du réseau primitif satisfaisant aux mêmes conditions que les groupements finis du premier cas. On peut dire que le cristal a alors véritablement atteint l'idéal cristallin vers lequel il tend.

Par l'examen cristallographique et optique d'un très grand nombre de corps, amphotène, boracite, grenat, sénarmontite, analcime, fluorine, alun, ferrocyanure de potassium, apophyllite, idocrase, rutile, zircon, mellite, apatite, émeraude, tourmaline, corindon, chlorite, harmotome, topaze, orthose, j'ai montré que la théorie précédente n'est pas une simple conception de l'esprit, mais qu'elle correspond à une véritable loi naturelle. Cette loi n'est elle-même que l'une des conséquences d'un des faits les plus généraux de la science cristallographique, à savoir *la tendance de la matière inorganique vers la symétrie*. Ce fait, à son tour, trouve son explication dans une raison mécanique qui n'est autre que *l'accroissement de stabilité qui correspond à un accroissement de symétrie*.

Après avoir établi sur des faits nombreux et incontestables la réalité de la théorie qui vient d'être esquissée, j'ai cherché, dans le même Mémoire, à en montrer la fécondité, et l'ai utilisée pour expliquer un assez grand nombre de phénomènes. C'est ainsi que j'ai expliqué certains accidents des faces cristallines sur lesquels M. Scacchi avait insisté et auxquels il avait donné le nom de *polyédrie*. J'ai fait voir encore que certaines variations dans les angles que forment entre eux les plans cristallins d'une même substance devaient être rattachées à la même cause.

Mais j'ai surtout insisté sur l'étroite analogie qui relie tous les faits que j'ai signalés à ceux du *polymorphisme* des cristaux. Il est clair, en

effet, que la possibilité, pour un même réseau à forme limite, d'acquies des modes de symétrie différents les uns des autres n'est autre que la possibilité, pour un même réseau, de prendre plusieurs formes primitives différentes et en apparence incompatibles. Il existe un lien entre toutes ces formes : c'est d'être voisines les unes des autres quant aux dimensions et de différer surtout par le degré de symétrie. Or c'est là précisément le lien qui a été signalé par La Provostaye, par M. Pasteur, etc., entre les différentes formes primitives que peut prendre une même substance polymorphe. Il paraît donc au moins très vraisemblable que, en éliminant les cas d'isométrie, qui correspondent à une tout autre conception, le polymorphisme que présentent un certain nombre de substances cristallisées est dû aux groupements moléculaires que les réseaux à forme limite sont, comme je l'ai montré, susceptibles de former.

Il me sera permis de dire que le Mémoire dont je viens de donner l'analyse a été, en France et à l'étranger, le point de départ de très nombreux travaux. Les faits qu'il mettait au jour, et qui avaient été d'abord accueillis avec quelque défiance, ont été vérifiés par beaucoup d'observateurs, et si les idées qui y étaient exposées ont trouvé des contradicteurs, elles ont aussi été accueillies favorablement par des savants éminents.

Lois générales de l'hémitropie (1).

Les groupements étudiés dans le Mémoire précédent peuvent être considérés comme se produisant en vertu des lois de l'hémitropie. J'ai été ainsi conduit à étudier celles-ci.

Bravais avait expliqué la production de l'hémitropie autour d'un axe normal au plan cristallin d'assemblage. J'ai donné l'explication de la production de l'hémitropie autour d'une arête cristalline non perpendiculaire au plan d'assemblage.

J'ai montré que ces hémitropies se produisent soit lorsque l'arête

(1) Sur la théorie de l'hémitropie et en particulier sur l'hémitropie du disthène et du cuivre gris (*Bulletin de la Société minéralogique*, t. II, 1879).

cristalline est l'axe de symétrie d'un plan cristallin qui devient alors le plan d'assemblage (cuivre gris), soit lorsque cette arête cristalline est *approximativement* un axe de symétrie du cristal.

Dans ce dernier cas, les groupements hémitropes se rapprochent beaucoup de ceux que j'ai étudiés dans mon Mémoire de 1876, et ils diffèrent des groupements hémitropes proprement dits par l'enchevêtrement mutuel des deux portions de la macle.

J'ai pu ainsi expliquer rationnellement les macles si complexes des feldspaths et du disthène, et montrer qu'elles se rattachent encore d'une manière étroite à cette grande loi de la tendance vers la symétrie qui avait été la conclusion dernière de mon premier travail.

Sur les propriétés optiques des mélanges de substances isomorphes.

Mes recherches sur la structure intérieure des corps cristallisés m'avaient conduit à ébaucher une théorie des propriétés optiques des mélanges isomorphes et une théorie de la polarisation rotatoire.

Les formules auxquelles j'étais arrivé pour calculer les propriétés optiques d'un cristal formé par un mélange de substances isomorphes en partant des propriétés optiques de ces substances avaient été établies en supposant que ces dernières entrent dans le cristal composé sans perdre leur individualité physique. J'y avais joint une hypothèse qui revenait à supposer que les propriétés optiques du mélange sont encore régies exactement, comme celles des corps composants, par un certain ellipsoïde. J'ai appliqué (1) ces formules aux observations de M. Dufet sur les mélanges de sulfate de nickel et de sulfate de magnésie, et aux observations de M. Wyruboff sur les mélanges de chromate et de sulfate de potasse d'une part, de sulfate de potasse et de sulfate d'ammoniaque de l'autre. Mes formules représentent les observations d'une façon satisfaisante, ce qui démontre que les corps isomorphes, en entrant dans le même individu cristallin, y conservent, au moins à peu près, leurs propriétés physiques.

(1) Sur les propriétés optiques des mélanges de substances isomorphes et sur les anomalies optiques des cristaux (*Bulletin de la Société minéralogique*, t. III, 1880).

Je suis revenu sur ce sujet dans un autre Mémoire (1). J'y remplace mes formules primitives par d'autres formules exemptes de toute hypothèse, si ce n'est celle qui a été vérifiée par l'observation, à savoir la permanence, dans le mélange, des propriétés optiques des corps composants. Ces nouvelles formules, qui donnent pratiquement des résultats très voisins de ceux que donnaient les premières, montrent que, dans un cristal formé d'un mélange de substances isomorphes, les propriétés optiques du cristal composé sont régies, mais seulement d'une manière approximative, par un ellipsoïde qui se déduit des ellipsoïdes propres à chacun des corps composants, en ajoutant ceux des rayons vecteurs de chacun d'eux (multipliés par des facteurs proportionnels à la quantité du corps correspondant qui existe dans le mélange) qui coïncident avec une même direction.

Dans un cas très particulier et lorsque, la substance étant rhombique, les axes d'élasticité optique des corps composants ont des directions identiques, la loi que j'ai établie coïncide avec celle qui avait été admise par M. Dufet en s'appuyant sur une hypothèse particulière et vérifiée par lui expérimentalement.

Au moyen des formules que j'ai déduites rigoureusement des lois de la double réfraction, on peut donc connaître les propriétés optiques d'un cristal formé par un mélange de substances isomorphes lorsqu'on connaît celles qui appartiennent à ces substances composantes. Ces formules peuvent rendre de réels services à la science minéralogique, car elles permettent de décider, presque mathématiquement, si un minéral cristallin est formé par un mélange de corps isomorphes ou par une véritable combinaison chimique des éléments.

C'est ainsi que j'ai pu traiter (2) une question minéralogique qui intéresse au plus haut point la Pétrographie. On sait que le savant minéralogiste de Vienne, M. Tschermak, considère tous les feldspaths tricliniques intermédiaires entre l'albite et l'anorthite comme des mélanges isomorphes de ces deux feldspaths. En utilisant les obser-

(1) Sur la théorie des phénomènes produits par des croisements de lames cristallines et par des mélanges de corps isomorphes (*Bulletin de la Société minéralogique*, t. IV, 1881, et *Annales des Mines*, 1881, 2^e livraison).

(2) Sur l'isomorphisme des feldspaths tricliniques (*Bulletin de la Société minéralogique*, 1881, 4^e livraison).

vations de M. Des Cloizeaux et le travail de M. Max Schuster, j'ai montré que les propriétés optiques des feldspaths intermédiaires entre l'albite et l'anorthite se déduisent par le calcul, au moins dans leur ensemble, de celles des deux feldspaths extrêmes. Je crois avoir produit ainsi un très sérieux argument en faveur de l'exactitude de la théorie de M. Tschermak. •

Théorie de la polarisation rotatoire.

Reusch, en superposant des lames de mica très minces, croisées sous des angles de 120° , avait montré qu'on obtenait ainsi des piles de lames douées de propriétés rotatoires très analogues à celles des cristaux de quartz.

Dans mon Mémoire sur les groupements intérieurs des cristaux, j'avais fait voir que les cristaux de quartz pouvaient en effet, d'après la théorie à laquelle j'avais été conduit, être considérés comme formés par des groupements moléculaires analogues à ceux des lames de Reusch. J'avais ébauché en même temps l'explication théorique des propriétés optiques de ces croisements de lames et montré qu'elles sont, au moins pour une propagation suivant l'axe, non seulement analogues, mais encore identiques à celles du quartz.

La théorie de la polarisation rotatoire du quartz se trouvait ainsi établie sur des bases rationnelles, et l'on pouvait regarder comme très vraisemblable que la polarisation rotatoire cristalline est une simple conséquence des lois ordinaires de la double réfraction.

Je suis revenu ⁽¹⁾ sur ce point important dans un Mémoire dont un extrait a paru dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, que j'ai exposé devant la Société de Physique et qui paraîtra *in extenso* dans la prochaine livraison des *Annales des Mines*.

Dans ce Mémoire je montre, en partant des lois ordinaires de la double réfraction, que toute molécule présentant cette dissymétrie particulière qui permet de distinguer une forme droite d'une forme gauche est nécessairement douée de la polarisation rotatoire, mais que celle-ci est toujours très faible et ne peut être manifestée qu'en interposant

¹⁾ *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 16 mai 1881.

sur le parcours du rayon lumineux un nombre très considérable de ces molécules. De là la nécessité de diluer ces molécules dans un liquide, pour mettre en évidence le pouvoir rotatoire, et l'impossibilité de constater celui-ci dans des lames cristallines dont l'épaisseur est nécessairement très limitée. La rotation de la vibration est d'ailleurs, dans les liquides, proportionnelle au nombre des molécules interposées et en raison inverse du carré de la longueur d'onde lorsqu'on néglige la dispersion cristalline.

Ainsi se trouvent expliqués les phénomènes de la polarisation rotatoire des liquides et des dissolutions.

Quant à la polarisation cristalline, j'ai montré qu'elle est due à des groupements intérieurs du genre de ceux que j'ai étudiés dans mon Mémoire de 1876, qu'elle ne peut, par conséquent, se produire que dans des cristaux à axe principal ou des cristaux cubiques, ce qui est conforme à l'observation. J'ai montré que l'on peut, d'une façon très simple et élémentaire, calculer, dans les cristaux tels que le quartz, les phénomènes rotatoires aussi bien suivant l'axe que suivant des directions inclinées, et j'ai retrouvé, pour ce dernier cas, les formules de Cauchy, vérifiées expérimentalement par M. Jamia.

Quant aux cristaux cubiques doués de la polarisation rotatoire, la même théorie montre que la rotation de la vibration doit être identique suivant toutes les directions, ce qui est encore conforme à l'observation.

La polarisation rotatoire moléculaire et la polarisation rotatoire cristalline sont ainsi distinguées l'une de l'autre plus nettement, je crois, qu'on ne l'avait fait jusqu'ici, et les différences qui les distinguent se trouvent rationnellement expliquées.

Ces propriétés ne sont plus d'ailleurs l'une et l'autre que des conséquences extrêmement simples des lois de la double réfraction et de l'existence des groupements moléculaires intérieurs régis par les lois que je leur ai assignées.

Traité de Cristallographie géométrique et physique, t. I et Atlas, 1879.

J'ai entrepris de publier la première Partie du Cours que je professe à l'École des Mines, et qui comprend la Cristallographie géométrique et

physique, c'est-à-dire la science de la forme des cristaux et celle des propriétés physiques spéciales dont ils jouissent. Le second Volume, qui comprendra la Cristallographie physique, est sous presse; le premier Volume, comprenant la Cristallographie géométrique, a paru en 1879.

Dans une série de Mémoires, Bravais avait posé les bases d'une nouvelle théorie de la structure des cristaux.

Les idées de Bravais, connues d'un certain nombre de savants, n'étaient point encore entrées dans l'enseignement habituel de la Science. Je les ai prises pour base d'une exposition didactique complète de la Cristallographie géométrique. J'ai surtout insisté sur le caractère rationnel, et dépourvu de toute hypothèse, de la conception d'un réseau moléculaire cristallin, et de celle d'une molécule cristalline. J'ai montré que les lois de la Cristallographie ne sont pas purement géométriques, mais qu'elles correspondent à des réalités physiques incontestables, bien que nous ne les obtenions qu'en joignant aux idées d'étendue et de matière celle de l'homogénéité.

Je crois ainsi avoir démontré que les cristallographes ont le droit de raisonner sur les mailles des réseaux et sur la symétrie des molécules au même titre que les mathématiciens sur la force et la masse.

A un autre point de vue, j'ai insisté sur les avantages considérables que procure la représentation de la forme des cristaux au moyen de la projection gnomonique des pôles de leurs faces. J'ai en même temps rattaché cette projection gnomonique à la notion du réseau polaire, que l'on doit à Bravais. Dans un Atlas joint au Volume, j'ai dessiné la projection gnomonique des pôles des divers systèmes cristallins.

II. — CHIMIE MINÉRALOGIQUE.

Action à haute température de la silice sur le carbonate de soude (1).

Tous les savants adoptent maintenant pour la silice la formule SiO_2 ; M. Scherer avait cru pouvoir appuyer l'ancienne formule SiO^3 au

(1) Sur l'action que la silice et quelques autres oxydes exercent à une température élevée sur le carbonate de soude (*Annales de Chimie et de Physique*, 4^e série, t. XXVIII, p. 86).

moyen de certaines expériences faites sur l'action qu'exerce la silice sur les carbonates alcalins en fusion. J'ai étudié avec détail cette question dans un Mémoire publié par extrait dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* et *in extenso* dans les *Annales de Chimie et de Physique*.

J'y montre que, à haute température, la silice a sur les carbonates alcalins une action qui se continue pendant longtemps, de sorte que la quantité d'acide carbonique expulsée varie avec le temps suivant une loi hyperbolique. L'asymptote de cette hyperbole, qui est la limite du phénomène, varie d'une manière continue avec la température. Cette limite s'élève lorsqu'on opère dans des conditions telles que l'acide carbonique soit complètement expulsé du creuset; toutefois, même lorsque cette expulsion est complète, la quantité d'acide carbonique chassée est inférieure à celle qui correspondrait à la formation du silicate $\text{SiO}^2, 2\text{RO}$. Ainsi qu'il arrive avec les sels bibasiques, il se forme à la fois un silicate SiO^2RO et un silicate $\text{SiO}^2, 2\text{RO}$, et il tend à s'établir entre ces deux sels un certain équilibre qui limite la réaction.

J'ai constaté que des phénomènes entièrement analogues se produisent lorsqu'on remplace l'acide silicique par l'acide titanique, qui forme aussi deux séries de sels.

L'alumine et le sesquioxyde de fer montrent au contraire des phénomènes tout différents. L'acide carbonique est expulsé au bout d'un temps plus ou moins long, qui dépend de la température; mais la réaction arrive à être complète et correspond à la formation d'un aluminate $\text{Al}^2\text{O}^3, \text{RO}$.

L'acide borique se comporte comme l'alumine et le sesquioxyde de fer, mais le composé qui prend naissance correspond à la formule $\text{BoO}^3, 3\text{RO}$.

Outre l'intérêt que présentent en eux-mêmes ces phénomènes, ils montrent nettement que les analogies rapprochent l'acide silicique de l'acide titanique et l'éloignent des sesquioxydes et de l'acide borique.

III. — MÉMOIRES DIVERS.

J'ai découvert (1), en étudiant les couches qui surmontent les terrains houillers de Noyant (Allier), une couche argileuse formée d'une matière très curieuse, à laquelle j'ai donné le nom de *bravaisite*. La matière, très homogène, renferme des grains microscopiques de pyrite; elle a la composition d'une zéolithe dans laquelle l'alcali est la potasse. Elle est surtout remarquable parce qu'elle se montre, au microscope, composée de fibres cristallines orientées d'une manière assez parfaite pour que les lames minces montrent en lumière convergente les franges chromatiques des cristaux biaxes.

Cette observation a une certaine importance géologique, car elle montre d'une manière, à mon sens, incontestable que certaines couches stratifiées, d'apparence argileuse, ont été formées par voie de dépôt chimique et non par voie de dépôt mécanique.

En examinant au microscope (2) des lames minces de *schistes ardoisiers* de diverses localités, j'ai signalé, dans les ardoises de Deville, de Fumay et d'Angers, la présence du quartz calcédoine, de la chlorite, de la tourmaline et de la staurotide, présence qui avait été déjà constatée par M. Kalkowski dans des schistes siluriens et dévoniens d'autres régions.

En étudiant (3) des masses fondues par les incendies des houillères de Commentry, j'ai constaté qu'elles sont formées principalement d'anorthite et de pyroxène, avec une structure qui rappelle certaines

(1) Sur la *bravaisite*, substance minérale nouvelle (*Bulletin de la Société minéralogique*, t. I, 1878).

(2) Sur l'examen microscopique de quelques schistes ardoisiers (*Bulletin de la Société minéralogique*, t. III, 1880).

(3) Sur la production d'un phosphore de fer cristallisé et du feldspath anorthite dans les incendies des houillères de Commentry (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 11 avril 1881).

météorites, telles que celle de Juvinas. On y rencontre également des noyaux plus ou moins cristallisés de *rhabdite*, dont j'ai pu, pour la première fois, déterminer la forme cristalline. J'ai conclu de ces observations que la vivianite, que l'on trouve dans des roches fondues tout à fait analogues et provenant aussi des incendies des houillères de Commeny, est vraisemblablement le résultat de la décomposition de la rhabdite.

En étudiant de nombreux échantillons de *ferromanganèse*, j'ai montré que cette combinaison métallique, quoique s'effectuant en proportions graduellement variables, ne prend que deux formes cristallines distinctes (1). Pour des teneurs comprises entre 11 et 52 pour 100 de manganèse, la forme est celle d'un prisme rhombique de $112^{\circ}33'$. Lorsque la proportion dépasse 52 à 55 pour 100, la forme cristalline est celle d'un prisme rhombique voisin de 120° .

M. Bertrand avait signalé un très curieux phénomène de *polarisation chromatique*, produit par les substances fibreuses radiées, et grâce auquel il a pu déterminer le système cristallin de quelques-unes de ces substances. J'ai donné (2) la théorie de ce phénomène.

On connaît depuis longtemps les curieuses houppes que manifestent, autour des axes optiques, les lames de cristaux dichroïques. Je crois avoir donné (3) la véritable explication de ce phénomène sur lequel on discute encore. J'ai montré que ces houppes sont en relation avec la loi qui lie, dans les cristaux polychroïques, le coefficient d'absorption à la direction de la vibration. J'ai pu ainsi formuler, d'une façon plus précise qu'on ne l'avait fait auparavant, la loi suivant laquelle varie, dans les substances cristallisées colorées, l'absorption de la lumière avec la direction de propagation.

(1) Sur la forme cristalline du ferromanganèse (*Bulletin de la Société minéralogique*, t. II, 1879).

(2) Sur quelques phénomènes de polarisation chromatique (*Bulletin de la Société minéralogique*, t. IV, 1881).

(3) Observations sur les houppes des cristaux polychroïques (*Bulletin de la Société minéralogique*, t. II, 1879).

GÉOLOGIE.

Carte géologique du département de la Haute-Vienne (1).

De 1859 à 1867, j'ai employé chaque été à dresser la Carte géologique des deux départements de la Creuse et de la Haute-Vienne. La Carte, complètement achevée, a figuré manuscrite à l'Exposition de 1867. Le département de la Creuse, sur l'initiative duquel la Carte avait été entreprise, ayant refusé de faire les frais de la publication, la Carte de la Haute-Vienne fut seule publiée en 1870. M. Grüner, dans sa Carte des bassins houillers de la Creuse, m'a fait l'honneur d'emprunter une partie de mon tracé géologique.

Dans ces contrées, principalement granitiques, je me suis attaché à distinguer les diverses variétés de granit, plus complètement qu'on ne l'avait encore fait dans des Cartes de ce genre.

Outre les schistes primitifs et les gneiss, j'ai distingué :

1° Les *granulites* (en prenant cette expression dans le sens que lui donnent les géologues allemands) ou *leptynites*, caractérisés surtout par l'orientation de leurs éléments, la rareté habituelle du mica, la présence fréquente du grenat almandin, du fer oxydulé ou de l'amphibole;

2° Les roches granitiques proprement dites, dans lesquelles je distingue :

a. Le *granit schistoïde ancien* (gneissit de Cotta), passant au *granit gneissique à deux micas* (granit de G. Rose, granit des Vosges de Delesse). Ces granits sont principalement caractérisés par la présence simultanée du mica noir et du mica blanc.

(1) Carte géologique du département de la Haute-Vienne (1870), présentée à l'Académie en 1870 (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXX, p. 325).

b. Le *granit pinitifère à mica noir*, qui est la roche dominante dans la Creuse, où il forme d'excellents matériaux de construction; c'est le granit de G. Rose, le granit des Ballons de Delesse, le granit du Forez de M. Grüner. Il est surtout caractérisé par sa teneur en silice, moins élevée que celle du précédent, par l'absence du mica blanc, la présence abondante du feldspath triclinique et l'existence habituelle d'un minéral pinitoïde; il se rencontre en filons dans les variétés précédentes, et particulièrement dans le granit gneissique; il forme habituellement des masses régionales.

c. Le *granit à mica blanc*, caractérisé par l'absence totale de la schistosité, la rareté du mica noir, la présence fréquente de la tourmaline. Ce granit est souvent en relation avec des gites stannifères; il forme des montagnes saillantes d'origine filonienne et se rattache intimement à la pegmatite exclusivement filonienne.

d. Enfin le *granit à deux micas à grains fins*, caractérisé par la présence simultanée du mica noir et du mica blanc, le caractère grenu à grains fins, la décomposition en fragments parallélépipédiques. Il forme de puissants filons saillants qui dessinent des monticules allongés et traversent le granit gneissique et le granit pinitifère. Il peut être regardé comme une récurrence, sous une forme à peine modifiée, du granit gneissique à deux micas.

En résumé, l'histoire de l'apparition des roches granitiques dans le plateau central s'ouvrirait par la venue au jour des leptynites, intimement liées au massif schisteux ancien; viennent ensuite des granits gneissiques siliceux, où le mica blanc s'associe au mica noir, et qui recouvrent de grands espaces. Apparaît alors le granit relativement basique, où le mica noir domine et dont les masses viennent occuper des espaces plus considérables encore que ne l'avait fait le précédent. A ce granit relativement basique succèdent de nouveau des granits acides; l'un est analogue au granit gneissique, mais forme des filons saillants et non des masses régionales; l'autre forme ou des montagnes entières, comme celles de Toulx dans la Creuse, de Blond et Vauray dans la Haute-Vienne, ou des filons irréguliers et minces comme la pegmatite. Ce sont les granits associés à la venue au jour des filons stannifères.

Les éruptions des roches granitiques se continuent par celles des

porphyres, dont je me suis attaché à suivre et à marquer les nombreux filons. J'ai distingué :

1° Le *porphyre granitoïde*, renfermant peu de pâte, un feldspath triclinique abondant, du mica noir ;

2° Le *porphyre quartzifère*, contenant une pâte très visible, de l'orthose en grands cristaux, du quartz cristallisé ; le mica est généralement absent ;

3° L'*eurite quartzifère* ; dont la pâte est encore plus développée que dans la précédente variété, et contenant du feldspath très peu cristallin, du quartz en petits cristaux ou en veines irrégulières.

A ces variétés, dont l'existence avait déjà été constatée dans la Loire par M. Grüner, j'ai ajouté :

4° Le *porphyre trachytoïde*, caractérisé surtout par la texture bréchiforme et la présence de l'orthose vitreux et fendillé (sanidine). A ces porphyres souvent bréchiformes j'ai rattaché certains conglomerats remarquables que l'on rencontre aux environs de Rochechouart.

Les roches basiques sont représentées principalement par la *diorite* et la *serpentine*.

Les roches filoniennes importantes sont le *quartz* qui forme de grands filons saillants orientés généralement vers le nord-ouest, et dont j'ai indiqué avec soin la position.

Les terrains sédimentaires ne sont représentés que par quelques lambeaux de calcaire carbonifère, qui marquent dans la Creuse la limite extrême des terrains anciens du Roannais, du Bourbonnais et de l'Auvergne, par quelques lambeaux de terrain houiller, et enfin par des dépôts argileux isolés que M. Dufrenoy avait rangés dans le terrain jurassique et que j'ai placés dans le terrain tertiaire.

Cette Carte a été présentée à l'Académie des Sciences, dans la séance du 14 février 1870, par Élie de Beaumont.

Gisements stannifères du Limousin et de la Marche (1).

Dans les excursions nécessitées par la confection des deux Cartes géologiques dont je viens de parler, je fus amené à découvrir en 1858,

(1) Sur les gisements stannifères du Limousin et de la Marche, et sur quelques anciennes fouilles qui paraissent s'y rattacher (*Annales des Mines*, 6^e série, t. X, 1866).

près de Montebras, dans la Creuse, un gîte d'étain, sur lequel existent des fouilles remontant à la plus haute antiquité. Ce gîte a, depuis cette époque, été l'objet d'une concession et de travaux importants.

J'ai en outre trouvé, disséminées dans la Creuse et la Haute-Vienne, un grand nombre de fouilles analogues à celles de Montebras, et ne pouvant avoir eu, comme celles-ci, d'autre but que l'exploitation de gîtes métallifères.

J'ai décrit, dans les *Annales des Mines*, les principales circonstances géologiques du gisement stannifère de Montebras et de celui, plus anciennement connu, de Vauray (Haute-Vienne). J'ai fait connaître en même temps les anciens travaux miniers que j'avais découverts et j'ai discuté les nombreuses questions qu'ils soulèvent. Je suis arrivé à conclure, avec une assez grande vraisemblance :

1° Que tous ces travaux remontent à l'époque gauloise; le gîte d'étain de Montebras, qui se trouvait placé sur le territoire des Bituriges-Cubes, explique l'assertion de Pline qui attribue à cette nation gauloise la découverte de l'étamage;

2° Qu'une partie des fouilles ne visaient pas des gîtes d'étain et avaient dû servir à l'exploitation de placers aurifères.

Terrains quaternaires du Chili (1).

A la suite d'un voyage rapide fait au Chili dans le but d'explorer des gîtes minéraux, j'ai publié, avec la collaboration de M. Ed. Fuchs, une Note sur quelques points de la géologie du Chili. M. Fuchs et moi avons surtout insisté sur les formations quaternaires ou récentes, si curieuses à étudier dans une région où actuellement il ne pleut jamais.

Nos observations nous ont permis de reconstituer l'histoire physique, très curieuse, de la région septentrionale du Chili pendant la période quaternaire. Au début de cette période, les volcans existent avec leur appareil ordinaire; les Andes dressent leurs cimes gigantesques, et le rivage de la mer, pénétrant dans de nombreux fjords, en baigne le pied, plus près encore qu'il ne fait actuellement. Un soulèvement,

(1) Note sur quelques points de la géologie du Chili, par MM. Mallard et Edmond Fuchs, Ingénieurs des Mines (*Annales des Mines*, 7^e série, t. III, 1873).

dont l'amplitude a atteint 650^m à Vallenar, se fait sentir pendant cette période et éloigne des Andes le rivage de la mer, en donnant lieu à une bordure de terrasses formant trois niveaux distincts.

Les eaux pluviales, d'abord abondantes, vont graduellement en diminuant; bientôt elles ne se produisent plus guère que sous la forme d'orages violents et temporaires, qui remplissent les quebradas, à pente énorme, de matériaux peu roulés. Puis ces pluies torrentielles et discontinues cessent à leur tour et laissent le sol absolument dépourvu de terre végétale, tandis que les plus grandes vallées ne voient plus couler dans leur thalweg qu'un filet d'eau descendu des hauts sommets des Andes, où les neiges éternelles condensent l'eau atmosphérique.

Des phénomènes analogues ont dû se passer en même temps sur l'autre versant des Andes, ainsi que le témoignent les observations de d'Orbigny; mais de ce côté la diminution de la quantité d'eau pluviale n'a pas abouti, comme sur le versant chilien, à une disparition complète.

Il est ainsi démontré que l'histoire du climat de l'Amérique du Sud pendant la période quaternaire est identique avec celle du climat de la même époque dans notre hémisphère, d'où il faut conclure que les causes des variations singulières qui marquent cette histoire se sont fait sentir d'un pôle à l'autre et ne peuvent être cherchées que dans un phénomène cosmique.

Oscillations séculaires des glaciers (1).

On sait que les glaciers d'une même chaîne de montagnes peuvent, simultanément, les uns progresser et les autres rétrograder. J'ai montré que cette différence tient à la pente plus ou moins forte de la partie inférieure des glaciers. Lorsque cette pente est faible, la moraine s'étale sur toute la partie inférieure du glacier et protège la glace contre la fusion estivale; lorsque cette pente est forte, au contraire, la zone inférieure du glacier est dénudée et les chaleurs de l'été exercent sur la glace une influence plus considérable. On conçoit donc que,

(1) Des oscillations séculaires des glaciers et des variations qu'elles accusent dans les éléments météorologiques du globe (*Bulletin de la Société géologique*, 3^e série, t. IV, 1875).

si la fusion de la quantité de neige hivernale croît en même temps que la chaleur estivale, mais d'une quantité relativement moindre, les glaciers à faible pente s'accroîtront, tandis que les autres diminueront.

Les grands glaciers de la période glaciaire avaient certainement une pente extrêmement faible sur une grande partie de leur parcours; ils étaient ainsi, sur une immense étendue, protégés contre la chaleur estivale par la moraine qui les recouvrait. Ils ont donc pu subsister et même croître sous l'influence d'une assez forte chaleur estivale, tant que la quantité de neige hivernale est restée considérable.

Roche magnétipolaire du puy Chopine (1).

J'ai rencontré dans la collection de l'École des Mineurs de Saint-Étienne des échantillons d'une sorte de conglomérat provenant du puy Chopine (Auvergne) et présentant cette curieuse propriété d'être très nettement magnétipolaire. Après avoir constaté que ces échantillons étaient absolument exempts de fer oxydulé, mais contenaient du sesquioxyde de fer assez abondant, j'ai recherché sur place la position exacte de cette roche singulière. J'ai montré qu'elle se trouvait sur l'une des lèvres de la faille qui avait donné passage à la domite, qu'elle était formée par des fragments de diorite broyés, ramenés au jour et cimentés principalement par du sesquioxyde de fer. J'ai fait voir que, suivant toute vraisemblance, le magnétisme de la roche est dû à l'action calorifique et la propriété magnétipolaire aux actions mécaniques qui se sont exercées sur la matière au moment où elle acquérait la propriété magnétique. L'orientation des pôles de la roche est d'ailleurs en rapport avec celle des pôles terrestres.

Sur le gore blanc de Rive-de-Gier (2).

Les ingénieurs du bassin de la Loire ont, depuis longtemps, signalé l'existence, à une certaine hauteur au-dessus de la grande couche de

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LX, p. 1068; 1865.

(2) *Bulletin de la Société de l'Industrie minière*, 1^{re} série, t. XV, 1870.

Rive-de-Gier, d'un banc d'une roche spéciale, désignée par les mineurs sous le nom de *gore blanc*, et intercalée dans les strates du terrain houiller. Cette roche, d'aspect très variable, de consistance tantôt solide, tantôt argileuse, était considérée comme une couche d'argile plus ou moins endurcie. Dans un travail fait en collaboration avec M. Leseure, j'ai montré que le *gore blanc* est une roche porphyrique, de nature argileuse, et qui se trouve vraisemblablement au même niveau géologique que les bancs quartzeux connus, dans une autre partie du bassin, à Saint-Priest, près de Saint-Étienne.



TRAVAUX DIVERS.

Sur les machines à air comprimé (1).

L'emploi de l'air comprimé comme moteur tend à se développer dans l'exploitation des mines. En 1867, cette tendance commençait à se manifester, et j'ai consacré à cette époque un Mémoire étendu à faire la théorie des machines à air comprimé.

En partant des lois de la Thermodynamique, j'ai étudié les conditions du fonctionnement des machines à comprimer l'air et des moteurs mus par l'air comprimé. Après avoir supposé l'air sec, je l'ai supposé mêlé à de la vapeur d'eau, et j'ai constaté que l'introduction de cette vapeur joue un rôle doublement utile, soit en augmentant le rendement de la machine, soit en maintenant entre des limites plus rapprochées les variations de la température de l'air. M. Mékarski a mis plus tard en œuvre cette propriété des mélanges d'air et de vapeur.

Questions se rattachant aux explosions de grisou.

Chargé autrefois du Cours d'exploitation des mines à l'École des Mineurs de Saint-Étienne, et membre, depuis 1878, de la Commission du Grisou, j'ai dû m'occuper, à diverses reprises, de la question si intéressante des mesures propres à prévenir les explosions dans les mines.

Dans un Rapport (2) fait, à la suite de nombreuses expériences, au nom d'une Commission de la Société de l'Industrie minière, j'ai étudié les divers types de lampes de sûreté employés ou proposés.

(1) Étude théorique sur les machines à air comprimé (*Bulletin de la Société de l'Industrie minière*, t. XII, 1866-1867).

(2) *Bulletin de la Société de l'Industrie minière*, 1^{re} série, t. XIII, 1868.

Je fus, dans cette étude, amené à voir que la théorie des lampes de sûreté repose en partie sur un élément très important, mais très peu connu, qui est la vitesse avec laquelle l'inflammation se propage dans un mélange détonant. J'entrepris une série d'expériences pour déterminer cet élément en ce qui concerne les mélanges détonants d'air et de grisou. Les résultats de mes expériences ont été consignés dans un Mémoire (1), dans lequel j'étudiais en même temps, au point de vue théorique, la signification physique de la vitesse de propagation de l'inflammation. J'ai montré que la vitesse de propagation dépend principalement du rapport de la différence entre la température de combustion et la température d'inflammation à la différence entre la température d'inflammation et la température ambiante.

La Commission du Grisou me fit l'honneur de me charger, en collaboration avec M. Le Châtelier, d'études expérimentales sur toutes les questions qui se rattachent à l'inflammation du grisou dans les mines.

Pour satisfaire aux désirs de la Commission, nous avons, M. Le Châtelier et moi, repris l'étude des lampes de sûreté, ainsi que celle de l'influence des poussières dans les explosions, et nous avons consigné les résultats de nos travaux dans les publications de la Commission.

Nous avons imaginé et étudié un appareil très simple permettant de constater de faibles quantités du grisou, et cet indicateur a donné de bons résultats dans la pratique.

A un point de vue plus particulièrement théorique, nous avons mesuré (2) les températures auxquelles il est nécessaire de porter un mélange détonant pour en provoquer l'inflammation. Cet élément physique, dont l'importance est évidemment considérable, n'avait encore été déterminé avec précision pour aucun mélange détonant.

Nous avons trouvé, par une série d'observations, que les mélanges détonants d'hydrogène et d'oxygène s'enflamment entre 530° et 570°, que les mélanges détonants d'oxyde de carbone et d'air s'enflamment entre 650° et 657°. L'addition de l'azote ne modifie pas sensiblement

(1) De la vitesse avec laquelle se propage l'inflammation dans un mélange d'air et de grisou, et de la théorie des lampes de sûreté (*Annales des Mines*, 7^e série, t. VII, 1875).

(2) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCI, 1880.

ces températures; celle de l'acide carbonique les augmente d'une manière notable.

Enfin nous avons constaté que les mélanges détonants d'air et de grisou s'enflamment d'une façon toute particulière et très digne d'intérêt. L'inflammation commence, mais d'une manière lente, vers la température de 470° ; la détonation se produit à des températures de 600° , mais elle exige alors une période d'échauffement préalable plus ou moins longue et qui peut atteindre plusieurs secondes. Pour que la détonation se produise immédiatement, il faut porter le gaz à des températures très élevées.

Ce travail doit être complété par l'évaluation des températures que développe la combustion des mélanges détonants. Nous avons fait, sur ce sujet, par des procédés variés, une série nombreuse d'expériences, dont quelques résultats ont été communiqués à la Commission du Grisou. Nous espérons pouvoir publier bientôt les résultats complets de notre travail, et montrer qu'ils conduisent à des conséquences non moins intéressantes au point de vue théorique qu'au point de vue pratique.