

**RECUEIL DE RAPPORTS**  
**sur**  
**LES PROGRÈS DES LETTRES ET DES SCIENCES**  
**EN FRANCE**

PARIS

LIBRAIRIE DE L. HACHETTE ET C<sup>IE</sup>

BOULEVARD SAINT-GERMAIN, N° 77

# RECUEIL DE RAPPORTS

SUR

LES PROGRÈS DES LETTRES ET DES SCIENCES  
EN FRANCE

---

## RAPPORT

SUR

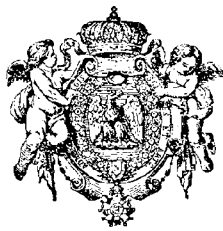
LES PROGRÈS DE LA MINÉRALOGIE

PAR G. DELAFOSSE

MEMBRE DE L'INSTITUT,  
PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS  
ET AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

---

PUBLICATION FAITE SOUS LES AUSPICES  
DU MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE



PARIS

IMPRIMÉ PAR AUTORISATION DE S. EX. LE GARDE DES Sceaux

A L'IMPRIMERIE IMPÉRIALE

---

M DCCC LXVII



**RAPPORT**  
SUR  
**LES PROGRÈS DE LA MINÉRALOGIE**  
**EN FRANCE.**

---

Depuis l'époque mémorable où la France a vu l'un de ses plus humbles savants (l'abbé Haüy) s'illustrer tout à coup par une brillante découverte, et exécuter, sans relâche, cette suite de travaux importants qui en ont été la conséquence, et qui ont ouvert une ère nouvelle à la minéralogie, cette science n'a point cessé d'être, parmi nous, l'objet de recherches nombreuses et variées, ayant pour but de déterminer des progrès notables, ou tout au moins des perfectionnements, dans ses diverses parties. Ces recherches se partagent naturellement en quatre catégories distinctes, selon qu'elles se rapportent plus particulièrement à l'une de ces quatre branches de la science : la cristallographie, la physique, la chimie minérale et l'histoire naturelle proprement dite.

Dans la première catégorie viennent se ranger toutes celles qui concernent les lois de la cristallisation, les différents systèmes cristallins, le clivage, et tout ce qui est relatif à la structure des cristaux, enfin les faits généraux que l'on comprend sous les noms d'*hémiedrie*, d'*hémitropies*, d'*épigénies* et de *pseudomorphoses*.

A la physique minérale se rapportent toutes les propriétés des minéraux auxquelles on donne, en particulier, le nom de *physiques*, savoir : la densité, l'élasticité, la dureté; les diverses mo-

difications produites dans les cristaux par la chaleur, et notamment la pyro-électricité polaire; les propriétés optiques les plus importantes, telles que la double réfraction, la polarisation ordinaire et la polarisation rotatoire, le polychroïsme, les phénomènes particuliers de la phosphorescence, et enfin les faits si remarquables du magnétisme et du diamagnétisme.

La troisième catégorie comprend les analyses des minéraux, et la traduction de leurs résultats en formules qui représentent la composition atomique, les relations existantes entre la composition chimique et la forme cristalline, et les faits si importants que l'on désigne par les noms d'*isomorphisme*, de *dimorphisme* et de *pléiomorphisme*.

Enfin, la dernière catégorie embrasse toutes les recherches relatives aux parties de la minéralogie qu'on peut appeler *systématique* et *descriptive*, à l'établissement des espèces minérales et à leur classification, aux déterminations et aux descriptions de nouvelles substances, aux monographies de certains genres, et enfin aux ouvrages généraux qui traitent de la science, en la considérant sous tous ses points de vue.

C'est en nous conformant à ces divisions naturelles que nous allons rendre compte des différentes recherches qui ont été entreprises en France dans les temps rapprochés de nous, et qui ont pu contribuer au progrès de la minéralogie proprement dite. Dans cet examen rétrospectif, nous nous bornerons à mentionner et à apprécier les travaux qui ne remontent pas au delà d'une période de vingt à vingt-cinq ans.

## CRISTALLOGRAPHIE.

STRUCTURE CRISTALLINE ET SYSTÈMES CRISTALLINS. — Personne n'ignore aujourd'hui que c'est aux études sérieuses faites sur les cristaux par deux savants français, Romé de l'Isle et Haüy, qu'est due la création de la science qu'on nomme *cristallographie*. Le premier

a découvert le principe de l'invariabilité des angles dans tous les cristaux de même forme, appartenant à la même espèce; il a senti l'existence d'une loi de symétrie, qui devait régler le nombre et le mode de répartition des faces, par lesquelles les formes cristallines de la même substance se modifient et passent des unes aux autres; il la suivait en quelque sorte instinctivement dans les applications de sa méthode des troncatures. Mais c'est Haüy qui en a reconnu et signalé l'importance, et qui a cherché le premier à la formuler rigoureusement, et c'est encore à lui qu'on doit la seconde loi fondamentale de la cristallographie, la loi des décroissements uniformes, ou loi géométrique de dérivation des faces secondaires, laquelle n'est que la conséquence naturelle de ses observations et de sa théorie sur la structure intérieure des cristaux.

Romé de l'Isle, comme la plupart des cristallographes allemands de nos jours, avait cru d'abord pouvoir faire de la cristallographie une science purement abstraite, et la réduire à de simples considérations géométriques; il avait négligé tout à fait le clivage et les autres propriétés physiques des cristaux. Haüy a montré tout d'abord une tendance contraire, en envisageant son sujet comme une question de physique moléculaire. Mais à peine est-il entré dans cette voie, qu'il ne tarde pas à s'en écarter. Aussitôt qu'il est mis en possession, par le clivage, de cet élément, qu'il nomme *molécule intégrante* du cristal, et qui joue un rôle si important dans sa théorie, on voit celle-ci changer de caractère, et, de physique qu'elle était, devenir purement géométrique. On sait bien qu'en dernière analyse un problème de physique finit toujours par se transformer en une question, soit de géométrie pure, soit de simple mécanique; mais le changement ne doit s'accomplir qu'autant que l'on a tenu compte de toutes les conditions ou données expérimentales du problème, sans quoi l'on s'expose à n'obtenir que des résultats inexacts et des explications insuffisantes.

C'est pour n'avoir pris en considération qu'une seule donnée physique (le clivage), et pour avoir négligé d'autres conditions

matérielles non moins importantes, que Haüy nous a laissé une théorie cristallographique d'une grande valeur, sans aucun doute, mais incomplète, et qu'il est nécessaire d'amender en quelques points, sans pour cela changer sa véritable nature, si l'on veut qu'elle satisfasse à tous les faits connus, et qu'elle puisse, en outre, se prêter à des développements ultérieurs.

Telles sont les raisons pour lesquelles un des élèves de l'abbé Haüy a cherché à restituer à la théorie de son maître le caractère que ce savant voulait primitivement lui donner, et qu'il aurait dû lui maintenir, celui d'une théorie *physique*, basée sur l'ensemble des propriétés sur lesquelles s'exerce l'influence de la cristallisation. Dans un Mémoire lu à l'Académie des sciences, en 1840<sup>1</sup>, et dans une Thèse sur la structure des cristaux, présentée à la Faculté des sciences dans la même année, M. Delafosse a commencé à étudier la cristallisation, non plus seulement au point de vue géométrique, mais encore et principalement sous les rapports physiques et chimiques. Haüy, se bornant à la considération du clivage, avait fait abstraction des autres données que les sciences physiques auraient pu lui fournir sur la constitution moléculaire des corps. En s'appuyant d'abord sur les conséquences du clivage, et ensuite sur ces autres faits bien connus que, dans un milieu cristallisé et supposé indéfini, chaque molécule peut être prise indifféremment pour centre, tout étant semblable autour de chacune d'elles, et que les propriétés physiques se montrent les mêmes dans toutes les directions parallèles, tandis qu'elles varient généralement de valeur quand on passe d'une direction à une autre, M. Delafosse a été conduit à envisager la cristallisation d'une manière plus générale et plus conforme aux lois de la physique moléculaire et de la mécanique. Se représentant les molécules des cristaux comme de

<sup>1</sup> Voir le Mémoire qui a pour titre, *Recherches sur la cristallisation considérée sous les rapports physiques et mathématiques*, par M. G. Delafosse (*Savants étrangers*,

tome VIII), et la Thèse du même auteur, *Sur la structure des cristaux considérée comme base de la distinction des systèmes cristallins*.



petits polyèdres atomiques, ayant des pôles et des axes différents, qui déterminent les centres et les directions de plus grande ou de moindre attraction, il admet que, dans l'acte de la cristallisation, ces molécules s'orientent semblablement et s'espacent entre elles d'une manière uniforme, en se disposant sur trois séries de plans parallèles et équidistants, qui découpent l'espace en petits parallépipèdes élémentaires, tous égaux entre eux. On peut donc se figurer un milieu cristallisé comme une sorte de *réseau* continu, à mailles parallépipédiques, et dont les nœuds sont formés par de très-petits corpuscules matériels, qui sont les molécules du corps.

Ce mode d'assemblage des molécules a été admis en principe par ceux des géomètres qui se sont occupés des milieux cristallisés au point de vue de la mécanique rationnelle; mais ils n'ont pas cherché à en faire une étude spéciale, à analyser ce genre de structure pour reconnaître toutes les modifications dont il est susceptible. C'est M. Delafosse qui le premier a introduit cette notion des réseaux en cristallographie, et qui en a fait valoir toute l'importance. Il remarque d'abord que la figure des mailles du réseau ou de ses petits parallépipèdes générateurs s'offre tout naturellement d'elle-même pour caractériser le genre de la cristallisation; qu'elle donne lieu de distinguer une cristallisation cubique d'une cristallisation rhomboédrique, ou bien d'une cristallisation en prismes carrés, en prismes rectangles allongés, en prismes obliques. Puis la considération des réseaux le conduit à établir une distinction entre deux éléments que Haüy avait confondus, savoir entre la molécule physique du cristal et sa particule intégrant, laquelle n'est que le polyèdre générateur du réseau, ou le plus petit polyèdre que donnerait le clivage, si on pouvait le pousser jusqu'à sa limite extrême. Cette particule est donc le cristal réduit à sa plus simple expression, mais composé encore de plusieurs molécules, et celles-ci peuvent avoir une tout autre forme, n'ayant de rapport nécessaire avec elle que par leur symétrie. Enfin ce que Haüy considère comme les dimensions des ses molécules

soustractives n'est rien autre chose que les intervalles qui séparent les molécules réelles dans les directions marquées par les arêtes des parallépipèdes élémentaires.

M. Delafosse a été conduit à amender en un autre point la théorie de Haüy, en modifiant la définition donnée par lui des parties de forme identique dans les cristaux. Haüy, par l'effet de son retour trop brusque aux considérations purement abstraites, n'admettait pour l'identité qu'une seule condition géométrique, la simple ressemblance de forme; M. Delafosse a fait voir que des parties de forme géométriquement semblables pouvaient offrir intérieurement des structures ou dispositions moléculaires différentes, en sorte que, pour être identiques au point de vue des modifications qu'elles peuvent subir dans le passage d'une forme à une autre, il est nécessaire qu'elles soient semblables à la fois sous les rapports physiques et géométriques. C'est pour avoir trop tôt dépouillé les cristaux de leurs qualités matérielles, que l'on a rencontré en cristallographie des difficultés embarrassantes et ces prétendues exceptions à la loi de symétrie, regardées généralement comme des anomalies.

En tenant compte des conditions géométriques et physiques de la structure, on donne des faits connus une explication simple et naturelle. Les axes des cristaux, qui jouent un si grand rôle dans les théories cristallographiques allemandes, ne sont plus de simples lignes géométriques: ce sont des files de molécules, qui ont leur symétrie propre, dérivant de celle des molécules elles-mêmes, par la raison que celles-ci sont orientées de la même manière. Ces files ont des pôles ou extrémités semblables ou dissemblables, et des côtés ou pans, en nombre déterminé, qui sont égaux ou inégaux; et les pôles ou côtés semblables se reconnaissent et se comptent aisément, parce qu'à raison de l'influence égale qu'ils exercent sur la configuration extérieure du cristal, des *membres* ou parties de forme semblable correspondent toujours aux sommets ou côtés pareils des axes homologues, dans chacune des formes de la même

substance. Ainsi, selon l'auteur des mémoires précités, c'est l'identité à la fois physique et géométrique des axes à l'intérieur, et une même loi de répétition et de correspondance des parties à l'extérieur, qui constituent la symétrie commune à toutes les formes du même système; et, dans cette harmonie générale, tout procède de la molécule, dont la symétrie particulière se transmet d'abord aux axes ou files principales des molécules du réseau, puis à la particule intégrante ou forme interne du réseau, et de celle-ci aux formes cristallines extérieures. Un système cristallin est donc un ensemble de formes de même symétrie, parce qu'elles ne font que répéter celle des molécules du corps; et parce qu'une même symétrie peut être exprimée par un grand nombre de formes différentes, l'étude de celles qui composent un même système ne peut nous faire connaître la forme particulière des molécules du cristal, mais seulement le genre de leur symétrie; et s'il s'agit seulement de se rendre compte des faits, soit physiques, soit géométriques, de la cristallisation, on peut sans inconvénient substituer à la forme réelle de la molécule la plus simple des formes extérieures, qui devient alors ce qu'on peut appeler la *forme représentative* de cette molécule; la connaissance de la véritable forme ne nous serait pas plus utile.

Les mêmes considérations ont conduit l'auteur à une explication naturelle des cas d'*hémiedrie* et de *tétartoédrie*, c'est-à-dire, de ceux dans lesquels les parties de la forme primitive qui sont géométriquement égales ne sont physiquement identiques que par moitiés ou par quarts, ce qui fait que le nombre des parties simultanément modifiées n'est alors que la moitié ou le quart de ce qu'il serait si les conditions physiques étaient pleinement concordantes avec les conditions géométriques. Cette circonstance, sur laquelle nous aurons occasion de revenir, est due à un simple changement dans la nature des éléments du réseau, c'est-à-dire dans la forme ou dans la structure atomique de ses molécules, les lignes principales du réseau restant d'ailleurs les mêmes qu'auparavant.

Dans les cas d'hémiédrie, la symétrie réelle du système n'est plus la même, et le système cristallin est changé, non-seulement par l'apparition de ces formes nouvelles, appelées *hémiédriques*, mais encore par les modifications qu'ont subies dans leur constitution moléculaire et leurs propriétés physiques celles des formes qui ont conservé l'apparence holoédrique, mais qui sont en réalité hémiédriques par leur structure. C'est ce qui a été reconnu récemment par un des plus célèbres cristallographes allemands, M. F. Naumann, qui, dans la dernière édition de son excellent *Traité de cristallographie*, a eu l'idée d'indiquer par des teintes différentes, dans toutes les figures qui représentent ces formes, les parties qui doivent être considérées comme physiquement différentes, et qui ne reçoivent plus les mêmes modifications.

De ces explications il résulte que le nombre des systèmes cristallins que l'on doit distinguer est plus considérable que celui qui est généralement admis, car chaque système a d'abord un caractère géométrique, fourni par l'ensemble de ses axes, considérés comme de simples lignes abstraites, mais il se distingue de plus par des différences physiques, provenant d'une polarité particulière, qui n'est pas autre que celle des molécules mêmes du cristal. Lorsqu'on ne tient compte que des caractères géométriques, on arrive à la division ordinaire des systèmes cristallins en six genres; mais chacun de ces genres se subdivise, quand on considère les modifications physiques que peut entraîner un changement dans la forme ou la structure des molécules. De là la nécessité d'une nouvelle classification des systèmes cristallins, comme celle qu'a donnée M. Delafosse dans sa thèse sur la structure des cristaux.

Les vues et explications qui précèdent ont été pleinement confirmées par les beaux et importants travaux cristallographiques auxquels s'est livré M. Auguste Bravais, dans le cours des années 1848 et 1849, travaux qui lui ont ouvert les portes de l'Académie des sciences. Dans un premier *Mémoire Sur les systèmes formés par des points distribués régulièrement sur un plan ou dans*

*l'espace*<sup>1</sup>, M. Bravais étudia d'abord à un point de vue abstrait ou purement géométrique la structure et la symétrie des corps cristallisés, en réduisant chaque molécule à son centre de gravité, et le cristal à un assemblage de points. Il reprenait ainsi un sujet d'étude qu'il avait déjà traité sous une autre forme. Car les questions d'organographie végétale, notamment celle de la disposition des feuilles autour de la tige, l'avaient conduit à rechercher par l'analyse les propriétés générales dont jouit un système de points distribués régulièrement sur un plan, et il devait s'attendre à découvrir des propriétés analogues pour le cas, plus général et plus compliqué, des assemblages de points distribués régulièrement dans l'espace.

C'est à quoi il est parvenu à l'aide d'une savante analyse, qui lui a permis de reconnaître dans chaque genre de systèmes à structure uniforme les propriétés qui le caractérisent, et de les exprimer par un ensemble de formules des plus simples et des plus élégantes. Il a pris pour point de départ et pour base de ses recherches la disposition réticulaire, qui résulte d'un espacement de points placés à des intervalles égaux, suivant des séries rectilignes équidistantes, pensant, comme M. Delafosse, qu'un pareil système est éminemment propre à représenter celui que forment les centres des molécules d'un cristal. Seulement il donne à cette disposition, lorsqu'elle a lieu dans l'espace, le nom générique d'*assemblage*, et réserve pour les systèmes plans celui de *réseaux*, que M. Delafosse avait cru pouvoir étendre aux deux cas sans difficulté.

Après avoir établi les propriétés des réseaux plans, il recherche celles des assemblages, en généralisant ses procédés d'analyse; et, pour citer un exemple des résultats auxquels il parvient, il reconnaît que les nœuds dont se compose un système réticulaire peuvent être fournis d'une infinité de manières différentes par les intersections de trois séries de plans parallèles et équidistants, auxquels correspondent des parallépipèdes générateurs des formes di-

<sup>1</sup> Voir le Mémoire de M. A. Bravais dans le xxxiii<sup>e</sup> cahier du Journal de l'École polytechnique.

verses, mais égaux en volume. Puis, introduisant dans l'étude des systèmes la considération des axes de symétrie, il obtient une division très-naturelle de ces systèmes en sept classes, qu'il déduit *a priori* de considérations purement géométriques. Une remarque importante qu'on lui doit, et qui trouvera, comme les résultats précédents, son application en cristallographie, est celle des différences de modes que peut présenter le réseau dans une même classe; M. Bravais a fait voir le premier que le nombre absolu des files ou plans moléculaires peut varier, dans une classe d'assemblages, pour la même direction, c'est-à-dire qu'il se peut que, dans cette direction, les files ou plans de molécules soient doublés, triplés ou quadruplés, ce qui fera varier la densité géométrique du système, sans amener de changement dans l'ensemble de ces files ou plans, si l'on ne tient compte que de leurs directions.

M. Bravais enfin démontre que dans un même assemblage symétrique il y a un certain nombre de plans réticulaires de même espèce qui constituent des réseaux semblables, à mailles identiques. Ce fait lui paraît indiquer la cause physique qui peut servir à expliquer la génération des formes secondaires dans les cristaux, formes qui résultent de la production simultanée de toutes les faces similaires, du moins, observe M. Bravais, tant que la forme de la molécule n'y met pas obstacle, en rendant dissemblables des faces qui ne le seraient pas, si les molécules étaient de simples points matériels. Cette restriction annonce assez clairement qu'il compte adopter, dans la suite de ses recherches, pour l'explication de l'*hémiedrie*, ce principe admis déjà par M. Delafosse, que la forme du polyèdre moléculaire doit avoir une influence très-marquée sur la constitution physique et sur la forme extérieure des cristaux.

On ne doit pas considérer le précédent Mémoire comme étant une pure spéculation géométrique. Ce travail avait été exécuté par son auteur avec l'intention de le faire servir à l'explication des principaux faits cristallographiques. Aussi, dans un second Mémoire, présenté à l'Académie des sciences en 1849, sous le titre

d'*Études cristallographiques*<sup>1</sup>, M. Bravais s'est-il empressé d'appliquer à cet ordre de faits sa théorie des assemblages.

Ayant étudié dans son premier travail les divers genres de symétrie que peuvent offrir les systèmes réticulaires, il commence par rechercher tous ceux que comportent les polyèdres moléculaires quand on les regarde comme des systèmes d'atomes plus ou moins symétriques. Pour cela, il étend à ces polyèdres la considération des centres, axes et plans de symétrie, et fait voir que, sous ce rapport, ils se partagent en vingt-trois classes, qu'on peut répartir entre six groupes distincts. Après avoir ainsi classé d'une part les réseaux, et d'une autre part les polyèdres, d'après le nombre et la nature de leurs éléments de symétrie, il examine jusqu'à quel degré la symétrie des molécules peut se transmettre par la cristallisation au réseau formé par leur ensemble. En cherchant ainsi à remonter de la symétrie des polyèdres à celle des cristaux, il trouve que dans certains cas la première n'est plus qu'une partie de la seconde, celle-ci étant prise au point de vue de sa théorie, c'est-à-dire au point de vue purement géométrique. Ce défaut d'harmonie entre les deux genres de symétrie disparaît quand on envisage tout d'abord la symétrie au point de vue cristallographique, avec toutes ses conditions physiques et géométriques, en évitant de passer par l'abstrait, pour aller ensuite au concret. En pareil cas, la symétrie de la molécule se transmet toujours tout entière à la masse du cristal, et de là à sa configuration extérieure, où elle se manifeste par des différences dans la forme ou des différences dans la texture des faces; et l'on n'a plus à considérer qu'une seule et même symétrie dans tout le cristal.

Nous avons dit qu'en considérant d'abord le cristal comme un

<sup>1</sup> Ce nouveau travail a été inséré dans le xxxiv<sup>e</sup> cahier du Journal de l'École polytechnique, qui a paru en 1851. Depuis la mort de l'auteur, il a été réuni au premier Mémoire, imprimé avec beaucoup de soin, et publié sous ce même titre

d'*Études cristallographiques* (chez Gauthier-Villars, imprimeur-libraire, Paris, 1866). On y a joint un fragment de l'Éloge de M. Bravais par M. Élie de Beaumont, et les deux rapports faits sur ses travaux à l'Académie par M. Cauchy.

simple réseau de points matériels, M. Bravais avait été conduit à distinguer sept classes d'assemblages, ou, en d'autres termes, sept systèmes cristallins; qu'en outre il avait reconnu l'existence possible, pour un même système, de modes variés dans l'arrangement des points matériels, quoique les axes et plans de symétrie restent les mêmes. Le nombre de ces modes, pour l'ensemble des systèmes, s'élève à quatorze : ils correspondent exactement à ces subdivisions qu'un cristallographe allemand, le docteur Frankenheim, a désignées sous le nom d'*ordres* dans sa classification générale des systèmes. Ces modes fournissent une explication naturelle des variations que peut offrir un même système dans le solide de clivage ou dans la forme habituelle de l'espèce, comme aussi dans la densité géométrique ou le volume moléculaire de la substance.

M. Bravais distingue sept systèmes, tandis que les minéralogistes n'en admettent ordinairement que six. Cela tient à ce qu'il sépare en deux le système hexagonal, mettant d'un côté les cristaux qui dérivent du prisme hexaèdre régulier, et de l'autre ceux dont l'élément générateur est un rhomboèdre. M. Bravais érige en système particulier et place au rang des systèmes principaux à formes holoédriques le système rhomboédrique proprement dit, que la plupart des minéralogistes considèrent comme un cas d'hémiédrie du système hexagonal. Or la classification ordinaire en six systèmes, ou plutôt en six groupes de systèmes, d'après les combinaisons différentes que présentent les axes cristallographiques, vient de ce que l'on place en tête de chacun de ces groupes, pour lui servir de base, le système qui ne comprend que des formes holoédriques, et qu'on relègue au second rang, en les considérant comme de simples variétés, les systèmes à formes hémiédriques. D'ordinaire les substances minérales à formes holoédriques sont beaucoup plus nombreuses que celles à formes hémiédriques : celles-ci sont si rares qu'on peut les regarder comme des cas d'exception; mais pour le système hexagonal c'est l'inverse qui a lieu : l'exception devient ici la règle, et les espèces à formes rhomboédriques prédominent.



Cette circonstance pourrait servir à justifier le classement adopté par M. Bravais, indépendamment des raisons particulières de symétrie qu'il fait valoir en sa faveur.

L'auteur du beau travail que nous analysons traite ensuite des diverses formes dont se compose un système cristallin, et de la loi de symétrie qui en règle la production et qui permet de les faire dériver toutes de l'une d'entre elles. A ce sujet il fait remarquer, comme M. Delafosse, que la condition de ressemblance géométrique ne suffit pas pour établir l'identité absolue des parties dans un cristal et leur égale influence sur la production de nouvelles faces; et il montre que toutes les difficultés auxquelles a donné lieu l'application de la loi de symétrie disparaissent quand on assimile les cristaux à des assemblages de molécules polyatomiques. Aux questions ordinaires, concernant le choix des axes, la dérivation des faces secondaires et le calcul des angles, questions qu'il résout à l'aide de formules très-simples et très-élégantes, que lui fournit l'analyse, il en ajoute plusieurs autres qui se font remarquer par leur nouveauté et leur importance, comme celles qui se rapportent au calcul de la densité réticulaire des faces, à la détermination du mode cristallin d'une substance et à celle de sa forme primitive.

Partant d'une hypothèse, dont il a soin de démontrer la probabilité, savoir, que les faces de plus facile clivage, comme celles de plus facile production, correspondent généralement aux plans réticulaires dont la densité est la plus considérable, il pose pour la détermination des formes primitives un principe tout nouveau, qu'il substitue à la règle suivie par Haüy, et qui consistait, comme on le sait, à choisir parmi toutes les formes possibles celle qui assignait la plus grande simplicité aux lois de dérivation des faces. Il recommande au contraire de choisir celle qui assigne aux diverses faces, existantes ou possibles, des densités dont la série décroissante représente le mieux la série pareillement décroissante des facilités qu'elles offrent pour le clivage ou la production naturelle.

Dans la partie de son travail où le cristal cesse d'être un simple réseau de points pour devenir un assemblage de molécules polyatomiques, M. Bravais établit l'existence des polyèdres moléculaires et de leur polarité, en montrant qu'elle explique parfaitement l'adoption que font ces molécules de tel ou tel système cristallin d'abord, et, après le choix du système, de tel ou tel mode particulier dans leur arrangement; et que c'est elle enfin qui donne naissance au phénomène connu en cristallographie sous le nom d'*hémiedrie*, comme M. Delafosse, dit-il, l'a remarqué le premier. Il prouve que ces polyèdres doivent être symétriques, et qu'ils possèdent, comme les assemblages, des éléments plus ou moins nombreux de symétrie, qui tendent à passer à l'assemblage correspondant. Il est ainsi amené à se poser le problème suivant : déduire de la symétrie, supposée connue, des molécules le système dans lequel elles doivent cristalliser; et, pour sa solution, il admet la règle suivante : parmi les différents systèmes cristallins, les molécules d'une substance donnée adopteront en cristallisant celui dont la symétrie offre le plus grand nombre d'éléments communs avec celle de leur polyèdre moléculaire. Et à cette règle il en ajoute une autre : dans le cas où plusieurs systèmes cristallins auraient en commun, avec d'autres éléments de symétrie, tous ceux que possède le polyèdre moléculaire, la cristallisation se fera suivant le système de moindre symétrie. Il fait l'application de ces règles aux vingt-trois classes de polyèdres, détermine pour chacune d'elles le système cristallin correspondant, et indique les éléments de symétrie de l'assemblage qui sont *défectifs* ou qui manquent dans la molécule.

Enfin il en vient à examiner l'influence que doit exercer cette symétrie déficiente du polyèdre moléculaire sur la figure des formes cristallines dans les cas de *mériédrie* (c'est-à-dire d'hémiedrie ou de tétartoédrie), et il fait l'énumération complète de tous les cas d'hémiedrie qui peuvent se présenter; ces cas, selon lui, sont au nombre de trente-cinq, tandis qu'on n'en a encore observé

que onze. Vers la fin de son Mémoire, il s'occupe des macles et des hémitropies, et distingue avec beaucoup de raison des hémitropies de deux genres très-différents : des hémitropies simplement moléculaires, qui sont dues à de simples rotations d'une partie des molécules autour de leurs centres, sans que le réseau éprouve aucun changement dans la position de ses nœuds ni dans la direction de ses files moléculaires; et des hémitropies réticulaires, produites par une demi-rotation, affectant l'ensemble de l'un des cristaux juxtaposés, et entraînant le déplacement des nœuds et files de son réseau. Il distingue de même deux sortes de cristaux maclés : des cristaux maclés par hémitropie moléculaire, et des cristaux maclés par inversion moléculaire, ce dernier cas étant celui des cristaux à molécules de deux sortes, droites et gauches, comme ceux que nous offre le quartz hyalin.

On peut juger par ce qui précède que les questions cristallographiques n'ont jamais été envisagées de si haut, ni traitées d'une manière aussi approfondie, que dans les deux beaux Mémoires dont nous venons de rendre compte, et qui ont obtenu pour sanction à l'Académie des sciences deux remarquables rapports d'Augustin Cauchy. Le résultat des travaux de M. Bravais est, en définitive, que la théorie des cristaux formés de molécules discontinues et polyatomiques explique d'une manière plus satisfaisante l'ensemble des faits cristallographiques que l'ancienne théorie des molécules continues et réunies dans le cristal par juxtaposition.

On sait que, dans la détermination des systèmes cristallins, Haüy ne se laissait pas guider uniquement par les formes extérieures, mais qu'il prenait en considération le clivage, c'est-à-dire une des données les plus importantes de la structure cristalline. Ses formes primitives, en tout au nombre de seize, mais que l'on peut réduire à quinze, en supprimant le tétraèdre régulier, qui n'est qu'une forme hémiedrique par rapport à l'octaèdre, étaient donc choisies parmi les formes dominantes et parmi les plus simples, sous la condition que les clivages les plus faciles corres-

pondissent à leurs faces. Le docteur Frankenheim, qui admet, avec tous les cristallographes allemands, six classes de systèmes cristallins, d'après le nombre, la position et le rapport général de longueur de leurs axes, les a subdivisés en quinze ordres, d'après leurs formes fondamentales, qui ne sont que les formes primitives d'Haüy : car, dans le choix de ces formes, il se laisse guider aussi par les clivages, ou, à défaut de clivages sensibles, par la forme dominante en chaque espèce, ayant reconnu que les deux méthodes conduisaient précisément aux mêmes résultats. M. Frankenheim pense que ces quinze formes fondamentales sont en rapport avec quinze modes particuliers de structure cristalline, c'est-à-dire d'assemblages moléculaires<sup>1</sup>. Les études de M. Bravais l'ont amené, comme on l'a vu précédemment à de semblables conclusions : les *modes* différents qu'il a reconnus dans chaque système, et qu'il attribue à des changements dans la structure et la forme du solide générateur de l'assemblage ou de la particule cristalline, ces modes, au nombre de quatorze, ne font, de son propre aveu, que reproduire les *ordres* du docteur Frankenheim, et nous pouvons ajouter, les formes primitives d'Haüy.

C'est encore à un résultat du même genre qu'a été conduit M. A. Baudrimont, professeur à la faculté des sciences de Bordeaux, dans ses recherches récentes<sup>2</sup> sur la structure des corps solides, et particulièrement des corps cristallisés. Ce savant admet dans la constitution des corps solides des groupes de parties de différents ordres, dont un d'un ordre supérieur à celui des molécules ; ce sont ces dernières parties, de l'ordre le plus élevé, qu'il désigne par le nom de *particules*. Après avoir posé quelques règles fort simples, relatives aux arrangements des particules, qu'il ramène à trois modes principaux, il se propose de rechercher, à la fois par l'analyse et par la synthèse, la structure des corps cristallisés,

<sup>1</sup> Frankenheim, *System der Krystalle* ; in-4°, Breslau, 1842.

*corps*, par A. Baudrimont ; Bordeaux, imprimerie de Gounouilhou, 1864.

<sup>2</sup> 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> *Mémoire sur la structure des*

et de déterminer la forme des particules qui les constituent. Dans la partie analytique de son travail, en concevant les cristaux connus comme formés par de petits polyèdres juxtaposés, il se demande quelles peuvent être les formes de ces polyèdres, qui seront en même temps celles des particules. Pour les découvrir, il a recours, comme les cristallographes dont nous venons de parler, soit aux clivages, soit à la forme même des cristaux. Il cherche parmi les formes cristallines, simples ou dominantes, celles qui peuvent remplir la condition principale, qu'il assigne aux particules, et qui est de pouvoir se juxtaposer, sans laisser de vide entre elles ou, pour nous servir d'une expression de M. Lamé, de pouvoir *paver* l'espace. On voit que ces particules cristallines, par le rôle que leur fait jouer M. Baudrimont, représentent les solides générateurs des assemblages de M. Bravais. Après avoir formé le tableau de ces formes élémentaires, il les interroge successivement, et, cet examen fini, il est conduit à reconnaître l'existence possible, dans un même système cristallin, de trois genres de formes, pouvant seules convenir aux particules, telles qu'il les comprend, et nous rappelant tout à fait les modes de M. Bravais. Dans la seconde partie de son travail, la synthèse lui donne les mêmes résultats. En admettant des assemblages de sphères élastiques, et en supposant des pressions exercées sur les assemblages, qui déforment les sphères et les transforment en polyèdres, il cherche à reconnaître quelles peuvent être les structures des cristaux et les formes de leurs particules. En définitive, il admet quinze formes différentes de particules, et, par conséquent, aussi quinze formes primitives ou quinze assemblages moléculaires, comme le docteur Frankenheim.

HÉMIÉDRIE. — Les travaux que nous venons d'analyser ont établi que l'hémiédrie n'est pas un phénomène accidentel, qu'on doit mettre sur le compte des influences extérieures, mais qu'il a sa raison d'être dans le cristal lui-même, et qu'il faut l'attribuer à des différences dans la forme ou dans la structure atomique de la molécule. Qu'un corps ait pour molécule un polyèdre cubique,

composé de huit atomes semblables, il n'offrira que des formes holoédriques ou complètes; mais si l'on vient à modifier le type moléculaire, en supprimant tout à fait, ou en remplaçant par d'autres atomes les quatre atomes primitifs, qui étaient placés en croix sur deux faces opposées, on aura une molécule tétraédrique, ou bien encore une molécule cubique, mais d'une autre symétrie que la première, et cette symétrie se transmettra au cristal entier et se manifestera au dehors par de nouvelles formes, hémihédres à l'égard des premières.

Dans le Mémoire déjà cité, où cette influence des molécules a été signalée pour la première fois, M. Delafosse, pour prouver l'importance des considérations physiques en cristallographie, passe en revue la cristallisation de plusieurs espèces à formes hémihédriques, telles que la boracite, la pyrite, la tourmaline, le quartz hyalin; et, après avoir distingué deux cas différents d'hémihédrie, selon que les modifications dans la forme ou dans la structure se manifestent aux extrémités d'un même axe (hémihédrie polaire), ou bien autour de cet axe, en tournant dans un sens ou dans l'autre (hémihédrie latérale), il montre que chacun de ces cas peut être accompagné de propriétés physiques particulières, qui dérivent de la même source, savoir des différences dans la structure ou la forme de la molécule. Ainsi, à l'hémihédrie polaire, qui annonce que les extrémités d'un même axe ne sont pas physiquement identiques, s'associe ordinairement la pyro-électricité polaire (boracite, tourmaline); à l'hémihédrie latérale, quand elle est dissymétrique, c'est-à-dire quand elle produit des formes hémihédriques inverses l'une de l'autre et non superposables, peut se joindre la polarisation rotatoire (quartz), laquelle indique dans la molécule et dans le cristal des différences de forme ou de structure, de droite à gauche ou de gauche à droite, en tournant autour d'un même axe.

De nouveaux cas d'hémihédrie ont été observés dans les substances minérales, soit naturelles, soit artificielles, pendant la période des vingt dernières années, et sont venus grossir notablement

le petit nombre de ceux que l'on connaissait jusque-là. Dans ses belles recherches sur les tartrates<sup>1</sup>, M. Pasteur, ayant découvert de nombreux exemples de corrélation entre le sens du pouvoir rotatoire, exercé sur les rayons de lumière polarisée par les dissolutions des substances actives, et celui de la dissymétrie latérale des cristaux qu'elles peuvent produire, a été conduit à étudier avec soin les formes de tous les tartrates et celles de plusieurs autres séries de substances organiques; il a reconnu dans presque toutes des traces non équivoques de l'hémiédrie non superposable, et constaté que leurs cristaux dissymétriques sont toujours hémièdres à gauche ou hémièdres à droite, selon que leurs molécules dissoutes exercent le pouvoir rotatoire vers la droite ou vers la gauche. Avant les recherches dont il est question, on ne connaissait dans le système orthorhombique que deux exemples d'hémiédrie latérale, conduisant à des tétraèdres non superposables; et aucun n'avait encore été signalé dans le système klinorhombique. Aujourd'hui, grâce aux observations de M. Pasteur, on peut en citer un assez grand nombre dans les deux systèmes.

Dans les trois derniers systèmes cristallins, où le degré de la symétrie se trouve déjà considérablement abaissé dans les formes primitives, une simple hémiédrie suffit pour produire le genre de dissymétrie qui accompagne presque toujours le pouvoir rotatoire des cristaux ou de leurs molécules. Mais dans les trois premiers systèmes (le cubique, le rhomboédrique et le quadratique), une pareille hémiédrie ne peut produire que des formes qui, par un simple changement de position, deviennent superposables, et il faut de toute nécessité qu'une hémiédrie de second ordre, c'est-à-dire une tétartoédrie, vienne modifier les résultats de la première, pour les transformer en formes dissymétriques.

Aucun cas de formes tétartoédriques n'avait encore été observé dans le système cubique, quoique Mohs eût annoncé depuis long-

<sup>1</sup> *Annales de chimie et de physique*, t. XXIV, 1848.

temps la possibilité de leur existence, jusqu'au moment de la découverte par le docteur Marbach de la polarisation rotatoire dans les cristaux du chlorate de soude appartenant au système dont il s'agit, et qui exercent le pouvoir rotatoire dans toutes les directions avec une égale intensité, les uns dans un sens, les autres dans le sens contraire<sup>1</sup>. Les formes cristallines qui, d'après M. Rammelsberg, se montrent dans ce sel, isolément ou en combinaison les unes avec les autres, sont le cube, le tétraèdre régulier et le dodécaèdre pentagonal de la pyrite, c'est-à-dire qu'on y trouve réunies les formes caractéristiques des deux genres d'hémiédrie du système régulier, quoique ces formes n'aient jamais été vues ensemble dans la même espèce. Cependant aucune de ces formes, prise en particulier, n'est dissymétrique, puisqu'elle est superposable à son inverse : seulement il arrive que chaque sorte de forme, en s'ajoutant successivement à la forme directe et à la forme inverse de l'autre sorte, engendre deux combinaisons non superposables, l'une droite et l'autre gauche.

Les savants allemands ont admis que les deux formes combinées étaient des formes simplement hémiédriques, n'étant pas dissymétriques par elles-mêmes, mais pouvant produire, en se combinant, une dissymétrie apparente vers la droite ou vers la gauche, et c'est à cette dissymétrie, en quelque sorte accidentelle, qu'ils ont cru pouvoir attribuer le pouvoir rotatoire existant dans tous les cristaux, soit simples, soit composés. C'est bien à tort qu'ils ont regardé le tétraèdre et le dodécaèdre du chlorate de soude comme des formes hémiédriques. Considérées comme telles, elles seraient incompatibles dans la même espèce, l'une d'elles ne pouvant être dérivée de l'autre par aucune modification complètement symétrique. Mais la chose devient possible par une nouvelle hémiédrie. Le solide à 24 faces du système tétraédrique produit ainsi un dodécaèdre pentagonal, généralement irrégulier et dissymétrique,

<sup>1</sup> Voir dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences l'annonce de cette découverte importante, t. XL, p. 793.



qui comprend comme cas particulier celui du chlorate de soude. En prenant dans ce cas une apparence plus simple, ce dernier dodécaèdre n'en conserve pas moins à l'intérieur la structure dissymétrique propre aux formes tétrartoédriques. Cette nouvelle explication des faits si remarquables, dont on doit la découverte à M. Marbach, a été donnée par M. Naumann dans ses *Nouveaux Éléments de cristallographie*<sup>1</sup>, et par M. Delafosse, dans un Mémoire particulier sur l'hémiédrie et sur ses rapports avec les propriétés physiques des cristaux<sup>2</sup>.

D'après les recherches de M. Delafosse et celles de M. A. Bravais, chacun des modes différents d'hémiédrie a pour cause un changement dans la forme et dans la polarité de la molécule; il en résulte une modification plus ou moins profonde dans la symétrie générale des formes extérieures, qui toutes accusent l'hémiédrie, soit par elles-mêmes, lorsqu'elles en portent l'empreinte visible, soit au moins par leur structure moléculaire, lorsque la forme a conservé l'apparence holoédrique. Ces formes constituent donc en réalité un système particulier, qui doit avoir sa place marquée à côté du système à formes holoédriques, qui possède les mêmes axes. C'est ce qui a déterminé M. Delafosse à proposer une nouvelle classification des systèmes cristallins, dans sa Thèse sur la structure des cristaux, considérée comme base de cette classification. Si le fait de l'hémiédrie n'existait pas, on pourrait n'admettre, avec tous les cristallographes allemands et anglais, que six systèmes cristallins, par la raison qu'il n'y a que six combinaisons d'axes géométriquement différentes. Mais à cause des cas d'hémiédrie reconnus et dûment constatés, il y a en réalité un plus grand nombre de systèmes, que M. Delafosse considère comme autant d'espèces distinctes. Toutefois, pour s'éloigner le moins possible de la classification généralement admise, il conserve les anciennes divisions

<sup>1</sup> Voir Naumann, *Elemente der theoretischen Krystallographie*, p. 105, Leipzig, 1856.

<sup>2</sup> *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLIV, p. 229.

comme genres, et place chacun des nouveaux systèmes, comme une annexe ou un système secondaire, à la suite du système principal dont il dérive<sup>1</sup>.

A l'appui de cette manière de voir, viennent les judicieuses observations que M. Leymerie, professeur de minéralogie et de géologie à la faculté des sciences de Toulouse, a consignées dans deux Notes importantes communiquées par lui à l'Académie. Dans une première Note<sup>2</sup>, ce savant professeur pose en principe général, que tout cristal d'une substance soumise à un certain mode d'hémiédrie est constitué par des molécules dont la symétrie et la forme peuvent être représentées par celles du solide le plus simple que l'on obtient par l'effet de cette hémiédrie. Dans une seconde communication<sup>3</sup>, il fait connaître ses idées sur la part qu'il lui paraît raisonnable de faire à l'hémiédrie dans la classification générale des systèmes; comme M. Delafosse, il croit devoir considérer chaque genre de formes hémiédriques, avec son cortège de formes dérivées, comme constituant un système à part, qu'il appelle *sous-système*, parce qu'il le considère comme une annexe du système holoédrique correspondant; seulement il n'applique ce mode de classement qu'aux espèces dans lesquelles l'hémiédrie est évidemment constante, ce qui le conduit à réduire de beaucoup le nombre des cas qui peuvent, selon lui, donner lieu à l'établissement d'un sous-système hémiédrique.

**PSEUDOMORPHOSES.** — Le pseudomorphisme est un des phénomènes les plus remarquables du règne minéral, et, comme il est très-commun, il a été étudié avec beaucoup de soin par plusieurs minéralogistes. M. Delesse, qui en a fait l'objet d'un travail parti-

<sup>1</sup> Voir la Thèse, déjà citée, *Sur la Structure des cristaux et la classification des systèmes cristallins* (Paris, 1840), p. 41. — Voir aussi le *Nouveau Cours de minéralogie*, par Delafosse, t. I, p. 161; Paris, 1858.

<sup>2</sup> *Essai d'une explication générale de l'hémiédrie*, par M. Leymerie. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1856, t. XLIII, p. 1042.)

<sup>3</sup> *Comptes rendus, etc.* 1856, t. XLIII, p. 1183.

culier<sup>1</sup>, a su ajouter des observations importantes aux faits déjà connus; il s'attache surtout dans ce travail à distinguer le vrai pseudomorphisme d'un autre phénomène avec lequel on l'a souvent confondu, et qui est l'enveloppement des minéraux les uns par les autres. Le pseudomorphisme est pour lui la substitution d'une substance à une autre, avec conservation de la forme du minéral originaire. Dans ce cas, l'un des minéraux est remplacé, ou *pseudomorphosé*, tandis que l'autre est remplaçant, ou *pseudomorphique*. Le pseudomorphisme n'est, le plus souvent, que le métamorphisme des minéraux simples, ce que Haüy appelait une *épigénie*; il a lieu en général par deux procédés différents, l'infiltration et la cristallisation. On l'observe surtout dans les minéraux qui composent les roches anormales et métallifères. Le nombre des minéraux distincts qui sont ou pseudomorphosés ou pseudomorphiques s'élève au quart des minéraux connus. On peut juger par là de l'intérêt que présente l'étude des pseudomorphoses. Au travail de M. Delesse se trouvent joints, en forme de résumés, des tableaux qui font connaître le nombre des minéraux connus qui sont enveloppants ou enveloppés, le nombre des minéraux pseudomorphosés, et enfin celui des minéraux pseudomorphiques. M. Delesse a tiré de ces tableaux des conséquences importantes pour l'histoire des espèces minérales.

### PHYSIQUE MINÉRALE.

DENSITÉ, DURETÉ, ETC. — Il ne sera point question ici des essais particuliers dont le seul but était de connaître la densité de certains minéraux, parce que ces recherches font naturellement partie de celles qui se rapportent aux déterminations d'espèces. Nous ne voulons parler en ce moment que des considérations de quelque généralité et de quelque importance auxquelles ce caractère phy-

<sup>1</sup> *Recherches sur les Pseudomorphoses*, par M. Delesse (*Annales des mines*, 5<sup>e</sup> série, t. XXVI, p. 317).

sique a pu donner lieu. De cette nature est bien certainement le résultat des recherches faites par M. Charles Deville, de l'Académie des sciences, sur les variations de densité qu'éprouve un corps en changeant d'état moléculaire<sup>1</sup>. Après avoir constaté le fait remarquable d'une diminution de densité dans les roches, lorsqu'elles passent de l'état cristallin à l'état vitreux, il a poursuivi ses expériences sur un grand nombre de minéraux isolés, tels que les feldspaths, les pyroxènes, le péridot, et il a trouvé que ces minéraux perdaient par la vitrification de 6 à 10 pour 100 de leur densité primitive. Il en a conclu que, dans l'acte de la cristallisation, il s'opère une énorme condensation de matière, fait très-intéressant au point de vue de la constitution moléculaire des corps et des conséquences qu'on peut en tirer pour l'explication de certains faits géologiques. Ayant fait au soufre l'application des expériences précédentes, il a constaté les variations de densité qu'on observe dans ce corps en ses différentes transformations moléculaires.

Les recherches relatives à la dureté et à la plupart des autres propriétés physiques des cristaux confirment pleinement ce qui a été dit de l'influence exercée par la structure des cristaux sur les variations qu'elles subissent dans leur intensité autour d'un même point, suivant l'orientation des directions que l'on considère. Tandis que les milieux amorphes et homogènes, comme le verre, possèdent une constitution moléculaire identique, et par suite les mêmes propriétés physiques en tous leurs points et dans toutes les directions autour du même point, les cristaux ont, au contraire, une structure propre, qui est bien encore homogène dans toutes les parties de la masse, mais qui varie généralement d'une direction à une autre autour de chaque molécule.

On sait, depuis les observations d'Huygens et celles de plusieurs savants allemands (les docteurs Frankenheim, Seebeck, Franz et Grailich), que la dureté, en entendant le mot dans le sens qu'on

<sup>1</sup> Voir les Comptes rendus de l'Académie, t. XX, p. 1453, et t. XXV, p. 857.

lui donne en minéralogie, ne paraît pas avoir la même valeur en tous sens dans un même cristal, et que ses variations d'intensité se montrent toujours en rapport avec les conditions particulières de la symétrie. La détermination rigoureuse des degrés de cette propriété, si elle devenait possible, serait donc d'une haute importance pour la cristallographie. Malheureusement la manière dont on a jusqu'à présent défini la dureté, et les méthodes qui ont été proposées pour sa détermination laissent beaucoup à désirer. M. Hugueny, professeur au lycée impérial de Strasbourg, a publié, en 1865<sup>1</sup>, un travail intéressant sur ce sujet, dans lequel on trouve la première histoire complète de la dureté, une définition plus exacte de cette propriété, et des méthodes nouvelles pour la déterminer.

On entend communément par dureté d'un corps sa résistance à l'action qui tend à le rayer à l'aide d'une pointe : cette pointe exerce dans le sens normal à la surface du corps une certaine pression, en même temps qu'elle est soumise à une traction dans un sens parallèle. L'expérimentateur estime par une appréciation personnelle (Huyghens, Frankenheim) le degré de pression et la force de traction nécessaires pour produire un commencement d'effet sensible, c'est-à-dire la première raie visible; ou, mieux, il substitue à ce genre d'essai fait à la main des appareils particuliers appelés *scléromètres* (Seebeck, Franz, Grailich et Hugueny), propres à fournir une sorte de mesure des forces que l'on emploie, et, par conséquent de la résistance que le cristal leur oppose. Au moyen de ces appareils, on se propose de rendre semblables toutes les conditions de l'expérience, hormis une seule, l'action d'un poids dont les variations peuvent être appréciées rigoureusement.

M. Hugueny fait remarquer que, dans cette manière de déterminer le degré de cohésion moléculaire dans les diverses directions,

<sup>1</sup> *Recherches expérimentales sur la dureté des corps*, 1 vol. in-8°. (Paris, Gau-

thier-Villars, libraire, quai des Augustins, 55.)

l'effet qu'on obtient est le résultat d'un phénomène complexe, qui a besoin d'être analysé : il faut distinguer ce qui résulte de la pression (cohésion ou dureté normale) de ce qui tient à l'effort exercé parallèlement (cohésion ou dureté tangentielle); c'est le seul moyen d'introduire dans la science une notion claire et précise de la dureté. Aussi M. Hugueny a-t-il cherché à mesurer séparément ces deux sortes de dureté, et il indique pour chacune de ces épreuves un appareil distinct, dont il a fait déjà quelques applications à la mesure de la dureté des métaux, et qu'il se propose de faire servir à de nouvelles expériences sur les minéraux cristallisés.

DILATATION DES CORPS CRISTALLISÉS. — Dans une série de beaux mémoires, où notre célèbre confrère de l'Académie des sciences, M. Fizeau, s'était proposé d'étudier les modifications que la chaleur apporte dans le volume et les propriétés optiques des corps solides, il a été conduit à faire de nombreuses observations sur la dilatation des cristaux, et il a obtenu des résultats fort curieux, qui viennent s'ajouter à ceux du même genre dont la science est redevable à Mitscherlich, et auront comme eux des conséquences importantes pour la connaissance de la structure des corps. On sait, d'après les recherches du savant cristallographe allemand, que les cristaux du système régulier se dilatent d'une manière uniforme dans tous les sens, comme le font les corps solides amorphes et homogènes; mais que ceux des autres systèmes présentent des dilatations inégales dans diverses directions, les faces des cristaux restant cependant toujours planes. Ces dilatations sont nécessairement accompagnées de petites modifications dans les angles. Dans les systèmes rhomboédrique, quadratique et orthorhombique, il existe toujours trois directions rectangulaires, qui demeurent invariables pendant tous les changements de température, et suivant lesquelles se manifestent trois dilatations principales, dont l'une présente la dilatation linéaire maximum, une autre la dilatation minimum, et la troisième une dilatation d'une valeur intermédiaire; et ce sont les effets combinés de ces trois dilatations qui donnent lieu aux dilata-

tions variées que l'on observe suivant les autres directions. Ces trois directions principales peuvent être considérées comme des *axes thermiques*, qui dans les trois systèmes précités se confondent toujours avec ceux qu'on désigne sous le nom d'*axes d'élasticité optique*, et avec les axes de symétrie du cristal ou axes cristallographiques.

La détermination des trois dilatations principales mène à la connaissance de la dilatation cubique de la substance. Mais, dans un de ses Mémoires sur la dilatation des cristaux<sup>1</sup>, lu à l'Institut en 1866, M. Fizeau a fait voir qu'on peut y arriver d'une manière beaucoup plus simple, par une détermination unique, parce qu'il existe une direction suivant laquelle la dilatation est précisément égale à la dilatation linéaire moyenne; et cette direction est facile à trouver, car elle est normale aux faces d'un octaèdre régulier qui serait placé dans le cristal de telle façon que ses axes rectangulaires coïncident en direction avec les trois axes d'élasticité de la substance. La méthode suivie par M. Fizeau dans les déterminations de ce genre pour le cas des corps transparents consiste à observer dans un fragment de la substance, taillé en lame à faces parallèles, le phénomène des anneaux colorés de Newton que produisent les rayons réfléchis normalement à ses deux surfaces, et à mesurer le déplacement opéré dans les franges d'interférence de ces rayons par un accroissement connu de température. Il est facile d'en déduire l'augmentation d'épaisseur, qui est due à la dilatation de la lame, et de calculer ainsi le coefficient de cette dilatation.

Dans un premier Mémoire, lu à l'Académie des sciences en 1862<sup>2</sup>, M. Fizeau, en étudiant les modifications qu'éprouvent dans leurs propriétés optiques, sous l'influence de la chaleur, les cristaux de spath d'Islande, a été conduit à faire de nouvelles expé-

<sup>1</sup> Voir les Comptes rendus de l'Académie, t. LXII, séances des 21 et 28 mai 1866.

<sup>2</sup> Ce Mémoire, intitulé *Recherches sur les modifications que subit la vitesse de la*

*lumière dans plusieurs corps solides sous l'influence de la chaleur*, est imprimé dans les Annales de chimie et de physique, 3<sup>e</sup> série, t. LXVI.

riences sur la dilatation de ce corps; elles lui ont permis de fixer d'une manière plus précise les valeurs des deux coefficients de dilatation, déjà déterminés par Mitscherlich. On sait que, d'après ce savant, le spath se dilate dans la direction de son axe sous l'influence de la chaleur, tandis qu'il se contracte dans une direction perpendiculaire; mais les valeurs numériques des coefficients relatifs à ces deux directions présentaient, de l'aveu même de Mitscherlich, d'assez grandes incertitudes. M. Fizeau est arrivé, par sa méthode d'observation, à des déterminations beaucoup plus exactes, desquelles il résulte que la valeur de la dilatation suivant l'axe est, à très-peu près, égale à cinq fois la valeur de la contraction suivant la direction perpendiculaire.

Dans un second Mémoire, qui fait suite au précédent<sup>1</sup>, M. Fizeau applique la même méthode à la détermination du mode de dilatation du quartz-hyalin (ou cristal de roche); parmi les résultats qu'il a obtenus, nous citerons celui-ci, que le cristal de roche se dilate à peu près deux fois plus normalement que parallèlement à l'axe. On sait que le rhomboèdre primitif du spath d'Islande se rapproche, pendant l'échauffement, de la forme cubique; celui du quartz s'éloigne au contraire de cette forme limite pendant l'élévation de sa température.

Dans un autre Mémoire, lu à l'Académie en 1865<sup>2</sup>, M. Fizeau a étudié la dilatation de deux corps appartenant au système cubique, le diamant et le protoxyde de cuivre, et il a été conduit à faire une observation des plus intéressantes, c'est que, dans ces deux corps, il existe un point où la dilatation doit être nulle, et auquel répond par conséquent un maximum de densité. On ne connaissait jusque-là l'existence d'un tel phénomène que dans des corps à l'état

<sup>1</sup> Ce Mémoire a pour titre, *Recherches sur la dilatation et la double réfraction du cristal de roche échauffé.* (*Annales de chimie et de physique*, 4<sup>e</sup> série, t. II.)

<sup>2</sup> *Comptes rendus de l'Académie des*

*sciences*, séance du 5 juin 1865. — Voir aussi un 4<sup>e</sup> Mémoire, *Sur la Dilatation des corps solides.* (*Comptes rendus, etc.* séances des 21 et 28 mai 1866.)



liquide. Sa découverte dans des corps solides introduira désormais des données nouvelles dans les théories relatives à la chaleur et jettera un nouveau jour sur la constitution moléculaire des corps. Dans le protoxyde de cuivre, c'est au-dessus de  $0^{\circ}$ , et sensiblement au même point que pour l'eau, que le maximum de densité se manifeste; dans le diamant, ce serait au-dessous de  $0^{\circ}$ , et vers  $42^{\circ}$  qu'il se manifesterait; la valeur de la dilatation est très-faible dans ce dernier corps et son décroissement rapide avec la température. Dans une dernière publication, qui est venue compléter ce Mémoire en 1866, l'auteur a étudié, sous le rapport de la dilatation, quelques autres substances cristallisées, telles que l'émeraude de Sibérie, le corindon, la périclase, le spinelle, etc.

CONDUCTIBILITÉ CALORIFIQUE DES CRISTAUX. — La conductibilité pour la chaleur des corps cristallisés est un phénomène qui, comme celui des propriétés optiques biréfringentes, est très-propre à manifester les rapports qui existent entre les modifications de la forme et de la structure cristalline et celles des propriétés physiques en général. Dans un Mémoire présenté en 1847 à l'Académie des sciences par M. de Sénarmont<sup>1</sup>, cet habile physicien et cristallographe s'est proposé d'étudier la manière dont la chaleur se propage en différents sens dans les corps cristallisés. La conductibilité est généralement inégale dans les cristaux : M. de Sénarmont le démontre en appliquant aux lames cristallines un procédé d'expérimentation semblable à celui que Ingenhouz appliquait à des tiges métalliques de diverses natures. En un point donné d'une lame cristalline, il établit un foyer permanent de chaleur, qui exerce son action concentriquement autour de ce point, et il constate les effets de la propagation simultanée en différents sens à l'aide d'un moyen physique qui rend immédiatement sensible l'arrivée d'une même température à diverses distances. Ce moyen, c'est la fusion progressive d'une couche mince de cire vierge dont

<sup>1</sup> *Comptes rendus*, t. XXV, p. 459; et *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, t. XXI et XXII.

la lame a été recouverte. La courbe qui sépare nettement la partie déjà fondue de celle qui ne l'est pas encore dessine à chaque instant le contour de la propagation d'une égale chaleur dans toutes les directions à la fois. Cette ligne est une courbe isotherme; si l'on conçoit qu'on ait déterminé cette courbe pour chacune des lames qu'on peut extraire d'un cristal, en faisant des sections dans tous les sens autour d'un même point, la réunion de toutes ces courbes formera une surface qu'on pourra appeler aussi *isotherme*, parce qu'elle indiquera comment se fait dans la masse du cristal la propagation d'une égale chaleur, dans toutes les directions, autour d'un point. Dans les milieux homogènes à conductibilité uniforme, cette surface est une sphère; dans ceux à conductibilité inégale, cette surface est un sphéroïde qui, dans certains cas, peut être un ellipsoïde de révolution, dans d'autres cas, un ellipsoïde à axes inégaux. En rapportant les phénomènes à trois axes rectangulaires entre eux (axes thermiques), M. de Sénarmont a obtenu de ses expériences les résultats suivants, qui se montrent parfaitement d'accord, dans chaque système cristallin, avec la symétrie qui le caractérise.

1° Dans les cristaux du système régulier, la conductibilité est égale en tous sens; toutes les courbes isothermes sont des cercles, et la surface isotherme est une sphère concentrique à la source de chaleur.

2° Dans les cristaux des systèmes rhomboédrique et quadratique où il y a un axe principal, la conductibilité a une valeur maximum ou minimum parallèlement à cet axe; elle est égale dans toutes les directions normales, et le sphéroïde des conductibilités est un ellipsoïde de révolution, allongé ou raccourci, dans la direction de cet axe.

3° Dans les cristaux du système orthorhombique, caractérisés par trois axes de symétrie rectangulaires et inégaux, la surface isotherme est un ellipsoïde à trois axes inégaux, qui coïncident en direction avec les axes du cristal.

4° Dans les cristaux du système klinorhombique, la conductibilité prend trois valeurs principales, suivant des directions rectangulaires, dont une coïncide toujours avec celui des axes cristallographiques qui est perpendiculaire aux deux autres; et la surface isotherme est un ellipsoïde à trois axes inégaux, dont un seul a une position déterminée par la forme cristalline.

5° Dans les cristaux du dernier système, la surface isotherme est encore un ellipsoïde à axes inégaux; mais la position de ces axes n'est déterminée en aucune manière par la forme extérieure.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES CRISTAUX : DOUBLE RÉFRACTION. — Un exemple bien plus frappant encore des relations intimes qui existent entre les modifications de la forme et celles des propriétés physiques dans les cristaux est celui que nous offre l'étude des propriétés biréfringentes. Ces propriétés sont liées aux variations qu'éprouve dans son élasticité, suivant trois directions rectangulaires, le milieu subtil qui produit les vibrations lumineuses. La situation de ces trois axes principaux d'élasticité et les valeurs relatives des trois élasticités elles-mêmes sont toujours en rapport avec les différences de la symétrie et de la forme; et il faut recourir à ces données fondamentales pour se rendre compte de toutes les particularités du phénomène, et, entre autres, du nombre et de la position des axes, que les physiciens nomment *axes optiques*.

Dans les cristaux homogènes à structure moléculaire simple, ces données doivent évidemment dépendre de la forme et de la composition atomique de la molécule; mais il existe des cristaux parfaitement réguliers, qui sont constitués par plusieurs sortes de molécules : ce sont celles des corps qu'on appelle *isomorphes*. Quelle est l'influence qu'exercent ces molécules de diverses natures sur les propriétés dont il s'agit? C'est ce que M. de Sénarmont, membre de l'Académie des sciences, a voulu établir dans un Mémoire lu par lui à l'Institut en 1851<sup>1</sup> et ayant pour titre :

<sup>1</sup> Voir *Comptes rendus, etc.* t. XXXIII, p. 447 et 684; et *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, t. XXXIII, p. 491.

*Recherches sur les propriétés optiques des corps qui affectent la même forme cristalline.*

Dans ce Mémoire M. de Sénarmont a fait voir que des sels chimiquement et géométriquement isomorphes peuvent cependant avoir des propriétés optiques fort différentes; leurs axes optiques, par exemple, peuvent s'ouvrir autour d'une bissectrice commune, mais dans deux plans diamétraux rectangulaires de la même forme prismatique; il a montré de plus que ces sels, unis par cristallisation en rapports divers, modifiaient leurs propriétés optiques par une sorte de concession réciproque, et pouvaient former des cristaux mixtes, où l'écartement angulaire des axes, continuellement variable avec les proportions des sels dans le mélange, s'annulait quelquefois ou venait se placer tantôt dans l'un, tantôt dans l'autre des plans diamétraux de la même forme géométrique, selon que les sels étaient unis en quantité optiquement équivalente, ou selon que l'un ou l'autre dominait dans le mélange cristallin.

Ces expériences synthétiques avaient pour objet de rechercher les causes qui peuvent produire l'inconstance jusqu'alors inexplicable des propriétés optiques dans certains groupes naturels de minéraux, tels que les micas et les topazes. Dans les micas, l'écartement des axes varie depuis  $0^{\circ}$  jusqu'à  $70^{\circ}$  : cette circonstance rendant ce groupe comparable à ceux des sels mixtes qu'il avait étudiés, M. de Sénarmont a été conduit à penser qu'on rencontrerait parmi les micas des variétés où les axes seraient ouverts dans deux plans diamétralement opposés, et d'autres dans lesquelles ils offriraient un rapprochement complet, résultant de l'union de composés isomorphes, dont les propriétés optiques opposées s'annuleraient par leur mélange. Les faits ont pleinement justifié ses prévisions. Ayant examiné plus de quarante variétés de micas, il a reconnu d'abord que leur forme primitive ne pouvait être qu'un prisme droit à base rhombe, la forme oblique qu'on avait admise étant incompatible avec les caractères optiques des cristaux; il a

fait voir ensuite que dans ces cristaux à base rhombe on trouve à peu près en nombre égal ceux où le plan des axes optiques est dirigé suivant la grande ou suivant la petite diagonale. Il devient donc extrêmement probable que les variations dans les propriétés optiques des micas, et, par analogie, dans celles des topazes, tiennent à des mélanges de combinaisons isomorphes, optiquement différentes et qui neutralisent plus ou moins complètement leurs propriétés.

Depuis les travaux de Brewster, de Biot et de plusieurs autres physiciens, les minéralogistes savent que le phénomène de la double réfraction présente non-seulement dans ses caractères les plus généraux des modifications variées, toujours en relation avec les principales différences des systèmes cristallins, mais encore qu'il se complique de particularités nouvelles, à mesure que la symétrie du système s'éloigne davantage de celle qui est propre au système régulier. Il suit de là que, dans beaucoup de cas où la forme cristalline d'une substance n'a pu être déterminée que d'une manière incertaine à l'aide des observations directes, il est possible d'arriver par l'étude des propriétés optiques du minéral à la connaissance du système cristallin auquel il appartient.

C'est ce qui explique la multiplicité des recherches qui depuis un certain nombre d'années ont eu pour objet la détermination de ces propriétés dans les différentes espèces minérales. Un des savants qui se sont le plus distingués dans ce genre d'études est, sans contredit, M. Descloizeaux, qui par ses beaux travaux cristallographiques, poursuivis durant vingt années avec un zèle admirable, travaux dont nous aurons bientôt à rendre compte, s'était placé déjà au premier rang parmi les minéralogistes de notre époque. C'est après avoir tiré tout le parti possible de l'observation directe des formes cristallines, après avoir passé en revue toutes les espèces qui pouvaient se prêter plus ou moins à ce genre d'observation, que M. Descloizeaux sentit la nécessité de faire concourir les épreuves optiques avec l'examen cristallographique,

dans la détermination du système cristallin des minéraux. Il reconnut que ce moyen d'étude pouvait même suppléer au premier dans les cas où celui-ci fait défaut; dans les autres cas il est encore très-utile, en ce qu'il peut servir à contrôler les résultats de l'observation directe, et à les rectifier, s'il reste sur eux quelque incertitude. Ayant commencé cette nouvelle série de recherches en 1857, il l'a poursuivie pendant neuf années consécutives avec cette ardeur et cette persévérance dont il avait déjà donné des preuves dans la première période de sa carrière scientifique. Ces recherches témoignent hautement de l'habileté que leur auteur sait déployer dans l'observation des phénomènes les plus délicats, et des ressources que lui a fournies son esprit inventif pour surmonter les difficultés qui semblaient devoir entraver sa marche et restreindre le cercle de ses investigations.

Trois Mémoires principaux, auxquels se rattachent quelques publications accessoires sur les nouveaux procédés d'observation et les appareils particuliers dont il a fait usage, ont été consacrés par M. Descloizeaux à l'étude des propriétés biréfringentes et à leur emploi pour la distinction et la classification des minéraux cristallisés. Dans ces Mémoires, présentés à l'Académie des sciences en 1857, 1859 et 1866<sup>1</sup>, il a examiné plus de quatre cents substances cristallisées, tant naturelles qu'artificielles, et ses premières observations, faites toutes à la température ordinaire, l'ont conduit à déterminer pour la première fois le système cristallin de plusieurs substances, à rectifier plusieurs déterminations anciennes, qu'on

<sup>1</sup> 1<sup>er</sup> Mémoire, *Sur l'Emploi des propriétés optiques biréfringentes en minéralogie*. (*Comptes rendus*, séance du 16 février 1857; et *Annales des mines*, t. XI, p. 261.)

2<sup>e</sup> Mémoire sur le même sujet. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 31 janvier 1859; et *Annales des mines*, t. XIV, 1859.)

3<sup>e</sup> Mémoire, ayant pour titre, *Nouvelles Recherches sur les propriétés optiques des cristaux naturels ou artificiels, etc.* présenté à l'Académie, dans la séance du 30 avril 1866. (Voir le compte rendu de cette séance, et le rapport fait sur ce beau Mémoire par M. Delafosse, dans la séance du 14 mai de la même année.)

regardait comme douteuses, et à changer complètement pour un certain nombre de corps le type cristallin auquel on les avait rapportés; à opérer enfin la séparation de plusieurs espèces minérales considérées jusque-là comme isomorphes. Pour arriver à ces résultats, importants pour la science minéralogique, M. Descloizeaux a été obligé de déterminer avec le plus grand soin, non-seulement les principales circonstances, mais encore toutes les particularités du phénomène qu'il étudiait, et jusqu'à ces quantités numériques dont elles dépendent, et que les physiciens nomment les *constantes* de la double réfraction. Ses recherches offrent donc de l'intérêt, non-seulement au point de vue de la chimie et de la minéralogie, mais encore au point de vue de la physique, à cause de leur liaison étroite avec celles qui concernent la constitution intime des corps.

Les caractères optiques qui ont fait l'objet de ses observations dans les trois Mémoires précités sont ceux qui résultent des déterminations suivantes : reconnaître le nombre des axes optiques, qui ne peut être qu'un ou deux, d'après les beaux phénomènes des anneaux de lumière polarisée, dont on doit la découverte au célèbre physicien Brewster; déterminer leur orientation par rapport aux axes cristallographiques, et celle de la bissectrice, dans le cas des cristaux à deux axes; mesurer les indices principaux de réfraction, ou tout au moins celui qu'on nomme l'indice moyen; reconnaître le *sens* de la double réfraction, c'est-à-dire le caractère positif ou négatif des cristaux, d'après les distinctions établies par Biot et par Brewster; déterminer la nature de la dispersion des axes optiques, relatifs aux rayons de réfrangibilité différente, dans les cristaux des systèmes orthorhombique et klinorhombique, phénomène qui avait été observé déjà dans quelques substances par plusieurs physiciens (MM. Herschell, Neumann, Grailich et Von Lang).

Grâce à l'heureux emploi qu'il a su faire des microscopes polarisants d'Amici et de Nörremberg, modifiés et perfectionnés par lui,

il a pu examiner une foule de cristaux, beaucoup trop petits ou trop peu transparents, pour se prêter à l'emploi des appareils usités jusqu'en ces derniers temps, et c'est aussi ce qui lui a permis de faire deux découvertes importantes, sur lesquelles nous reviendrons plus loin, celles de la polarisation rotatoire dans les cristaux de cinabre et dans ceux du sulfate de strychnine. Pour exécuter dans toutes ses parties le plan qu'il s'était tracé, il lui a fallu varier selon les cas ses appareils et ses procédés d'observation, en recherchant toujours les méthodes les plus simples et les plus rigoureuses.

Le microscope que M. Descloizeaux a employé de préférence est celui de Nörremberg, après lui avoir fait subir plusieurs modifications ayant pour objet de rendre possible, dans tous les cristaux à deux axes, l'observation des phénomènes, quel que soit l'écartement des axes, et de permettre d'opérer sur des lames placées entre des prismes de verre ou plongées dans l'huile. Ce microscope peut être disposé verticalement ou être rendu horizontal à volonté. Le nombre et les dimensions des lentilles sont déterminés de manière à augmenter la longueur du foyer, et à fournir assez de champ pour qu'on puisse voir complètement l'anneau central et la barre transversale de chaque système. L'observation se fait dans l'air, lorsque l'angle apparent des axes n'excède pas  $135^\circ$ ; dans le cas contraire, on opère dans l'huile, et pour cela on ajoute au microscope horizontal une petite cuve en verre que l'on place entre l'éclairer et l'objectif. D'autres adjonctions permettent de prendre des mesures exactes de dimensions, soit linéaires, soit angulaires; elles consistent en un micromètre gravé sur verre et convenablement centré, et en un petit goniomètre à l'aide duquel on détermine aisément l'écartement des axes dans l'air. Enfin, quand il veut rechercher l'action que produit la chaleur sur l'angle des axes, sur l'orientation de leur plan et sur celle de leur bissectrice, M. Descloizeaux ajoute à son appareil une étuve chauffée à l'aide de lampes à alcool. Dans quelques cas même, la lame peut être portée



au rouge avec le dard d'un chalumeau à gaz. Cet appareil a été décrit par l'auteur dans un Mémoire particulier, qui a pour titre, *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant, etc.* et qui a été inséré dans les Annales des mines, tome VI, 1864.

Le procédé le plus simple et le plus commode pour faire avec ce microscope l'observation des principales propriétés biréfringentes consiste à adjoindre à la lame du minéral qu'on veut étudier une autre lame auxiliaire, qui, pour le cas des cristaux à un axe, doit être une mince lame de mica, ayant le plan de ses axes placé à  $45^\circ$  du plan primitif de polarisation; et, pour le cas des cristaux à deux axes, une de ces lames de quartz légèrement prismatiques, dont l'usage a été vivement recommandé par M. Biot. On parvient par ce moyen à reconnaître plus aisément la nature et le signe des propriétés biréfringentes sur des fragments excessivement ténus, ce qui permet l'examen d'une foule de minéraux rares ou peu transparents.

Parmi les méthodes d'observation qui sont propres à l'auteur des « Recherches sur les propriétés optiques des cristaux, » nous citerons encore le moyen qu'il emploie pour déterminer le sens de la dispersion dans les cristaux à deux axes. Les physiiciens qui l'avaient précédé dans cette voie et, en particulier MM. Grailich et Von Lang, qui ont étudié la dispersion dans les cristaux du système orthorhombique, ont toujours mesuré directement l'angle des axes des rayons différemment colorés, à l'aide de verres monochromatiques. M. Descloizeaux se sert d'un moyen plus expéditif et non moins sûr; il consiste à opérer avec la lumière blanche, en plaçant le plan des axes à  $45^\circ$  du plan de polarisation, et à observer les couleurs qui bordent les côtés des hyperboles, et aussi celles qui occupent les sommets de l'anneau central. En opérant ainsi sur les cristaux du système clinorhombique, où le phénomène de la dispersion avait encore été fort peu étudié, il est parvenu à reconnaître et à signaler trois modes différents de dispersion, en rapport avec la position du plan des axes et celle de leur bissectrice

aiguë. Ces trois modes, qui se distinguent aisément par les dispositions dissymétriques des couleurs dont nous venons de parler, sont ceux qu'il a décrits sous les noms de *dispersion inclinée*, de *dispersion horizontale* et de *dispersion croisée* ou *tournante*.

Dans le cas où l'on est obligé d'opérer dans l'huile, à cause du trop grand écartement des axes, et où la substance ne se prête pas à l'observation au travers de prismes biréfringents pour la détermination directe des indices principaux de réfraction, M. Descloizeaux a trouvé un moyen indirect de mesurer l'indice moyen et l'angle des deux axes, quand la substance peut lui donner deux plaques perpendiculaires aux bissectrices. Il a fait de la description de ce moyen l'objet d'un Mémoire intitulé, *Nouveau procédé pour mesurer l'indice moyen et l'écartement des axes optiques* dans les substances où cet écartement est très-grand et dépasse  $135^{\circ}$ <sup>1</sup>.

En recherchant les propriétés optiques d'un grand nombre de minéraux cristallisés, M. Descloizeaux avait rencontré dans quelques-uns des plages irrégulières, où les axes optiques éprouvaient d'assez fortes variations dans leur écartement, et se montraient même quelquefois orientés dans des plans perpendiculaires. Ces accidents peuvent tenir, comme dans le cas des micas et des sels étudiés par M. de Sénarmont, au mélange de variétés isomorphes et douées de propriétés optiques contraires; mais ils peuvent provenir aussi d'une autre cause dont M. Descloizeaux a reconnu l'existence : c'est l'action de la chaleur, qui peut apporter dans les propriétés optiques des modifications, les unes temporaires, les autres permanentes. Il sera question plus loin de ces modifications, dont l'auteur a fait le sujet de plusieurs mémoires intéressants. Mais, quelle que soit l'origine de ces changements qu'on observe dans plusieurs variétés d'une même espèce, ou bien dans les différentes parties d'un seul et même cristal, M. Descloizeaux en tire une conclusion importante au point de vue des déterminations

<sup>1</sup> Voir *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 22 avril 1861.

minéralogiques : c'est que l'écartement et l'orientation des axes optiques peuvent varier dans une même espèce, et sont loin, par conséquent, d'être pour elle caractéristiques, ainsi qu'on l'a cru pendant longtemps.

De l'ensemble des observations contenues dans les trois Mémoires que nous analysons, on peut déduire encore, comme conséquence générale, que le caractère positif ou négatif de la double réfraction peut éprouver aussi des variations dans l'étendue d'une même espèce minérale. Les caractères optiques que M. Descloizeaux croit pouvoir signaler comme les plus constants sont, dans l'ordre de leur valeur relative : l'existence d'un seul axe ou de deux axes optiques; et, dans les cristaux à deux axes, la position de la bissectrice aiguë, et le mode de la dispersion.

POLARISATION ROTATOIRE. — Dans le cours de ses longues et laborieuses recherches sur les propriétés optiques biréfringentes, M. Descloizeaux a été conduit à faire deux découvertes importantes concernant la polarisation : l'une est l'existence, reconnue par lui pour la première fois, de ce genre de polarisation dans les cristaux de cinabre, où rien ne pouvait la faire soupçonner, car jusqu'à présent ces cristaux n'ont point offert la moindre apparence de facettes dissymétriques. On ne connaissait encore que deux exemples de cette propriété dans les corps solides cristallisés, celui que présente le quartz ou cristal de roche dans une seule direction, et qui a été découvert par Arago, et celui que le docteur Marbach a reconnu dans les cristaux de chlorate de soude, qui exercent le pouvoir rotatoire dans tous les sens à la fois. En parlant de l'hémiédrie, nous avons fait remarquer ailleurs la connexion qui existe dans ces deux substances entre le phénomène physique dont il est question, et la forme ou la structure dissymétrique des cristaux, soumis les uns comme les autres à une véritable tétartoédrie. Le troisième cas de polarisation rotatoire qui ait été signalé dans les cristaux est donc celui de cinabre. M. Descloizeaux, en faisant tailler des cristaux de cette espèce, a obtenu des lames dextrogyres

et lævogyres qui, réunies en une même plaque, lui ont donné le phénomène des spirales d'Airy. Le pouvoir rotatoire du cinabre est égal à près de 18 fois celui du quartz. L'autre découverte est celle d'un sulfate de strychnine offrant la polarisation rotatoire à la fois dans ses cristaux et dans ses dissolutions aqueuses. C'est le premier et le seul exemple connu de la coexistence des deux phénomènes. Les nombreux cristaux examinés jusqu'à présent sont tous lævogyres, aussi bien que leur solution dans l'eau; leur pouvoir rotatoire est environ moitié de celui du quartz, et à peu près 25 fois celui de la dissolution <sup>1</sup>.

La polarisation rotatoire, qu'on observe dans les dissolutions de certains sels organiques, et autres composés formés généralement sous l'influence de la vie, serait restée, comme elle l'était d'abord, un phénomène physique tout à fait étranger à la cristallographie, si les belles découvertes de M. Pasteur sur les acides tartriques et les tartrates n'avaient établi un lien entre cette propriété, que les corps manifestent à l'état liquide, et les formes particulières qu'ils présentent, quand on leur a fait prendre l'état cristallin. Une substance peut agir sur la lumière polarisée de deux manières : à l'état de cristaux, ou à l'état de simple dissolution. Herschell avait fait voir que dans les cristaux de quartz des modifications de forme dissymétriques révèlent souvent l'existence de ce genre d'action, et indiquent en même temps le sens dans lequel elles s'exercent. Mais, sans doute à cause de la rareté des substances qui se montrent actives à l'état cristallin, ce fait de corrélation entre la polarisation rotatoire, observée dans les cristaux, et la forme de ces cristaux, était resté longtemps isolé. Un second exemple, que nous pouvons citer aujourd'hui, est celui des cristaux de chlorate de soude, observés par M. Marbach. M. Pasteur a découvert, dans un grand nombre de sels, une relation semblable entre le pouvoir rotatoire de leurs dissolutions et la forme des cristaux qu'elles peuvent pro-

<sup>1</sup> Voir *Comptes rendus de l'Académie, etc.* note complémentaire dans le compte rendu  
t. XLIV, séance du 27 avril 1857; et une de la séance du 4 mai.

duire. Il résulte des nombreuses recherches cristallographiques de ce savant que, dans les substances solubles, des modifications dissymétriques dans la forme de leurs cristaux peuvent être un indice de l'existence du pouvoir rotatoire dans les molécules à l'état libre, et doivent faire présumer celle d'une pareille dissymétrie dans la forme même de ces molécules. Ici donc le phénomène physique sert de moyen pour relier entre elles la forme cristalline et la forme de la molécule.

Entre autres faits importants, qui sont la conséquence de ce remarquable travail, nous citerons les deux suivants : 1° M. Pasteur a reconnu l'hémiédrie non superposable de tous les tartrates, et ayant séparé avec soin les cristaux qui étaient hémiédres à droite, et ceux qui l'étaient à gauche, il a constaté que les premiers déviaient toujours à droite, et les seconds toujours à gauche le plan de polarisation de la lumière; 2° ayant isolé les acides des deux groupes de tartrates, il reconnut qu'ils étaient doués de propriétés contraires, et, les ayant mis en présence en quantités égales, il les vit se combiner et reproduire l'acide inactif qu'on nomme paratartrique ou racémique<sup>1</sup>. De là une explication simple et naturelle de l'inactivité de cet acide, produite par la neutralisation réciproque des deux acides tartriques qui le composent, et dont l'un est droit, l'autre gauche. M. Pasteur a fait connaître plusieurs méthodes pour opérer le dédoublement de cet acide si curieux, ou pour transformer au contraire chacun des deux acides tartriques en acide racémique. Les résultats qu'il a obtenus indiquent la possibilité de produire artificiellement un corps droit avec le corps gauche

<sup>1</sup> Les principales recherches de M. Pasteur sur le sujet qui nous occupe ont été publiées de 1848 à 1852; elles ont été l'objet de quatre Mémoires, dont trois ont paru dans les années 1848, 1850 et 1852, sous le titre commun de, *Recherches sur les relations qui peuvent exister entre la forme cristalline, la composition*

*chimique et le sens de la polarisation rotatoire*, et sont insérés dans les Annales de chimie et de physique, 3<sup>e</sup> série, t. XXIV, XXXI et XXXVIII; le quatrième a été publié en 1849, sous le titre particulier de, *Recherches sur les propriétés spécifiques des deux acides qui composent l'acide racémique*.

correspondant, et réciproquement. On voit combien ces intéressantes recherches sont propres à répandre de la lumière sur les questions relatives à la constitution intime des corps.

MODIFICATIONS PRODUITES PAR LA CHALEUR DANS LES PROPRIÉTÉS OPTIQUES. — Nous avons exposé déjà une partie des résultats curieux obtenus par M. Fizeau dans ses Recherches sur les modifications que les corps cristallisés subissent dans leur volume et leur réfraction; ce sont ceux qui sont relatifs à la dilatation de ces corps. C'est ici le moment d'appeler l'attention du lecteur sur les changements que la chaleur opère dans la vitesse de la lumière, et par conséquent dans les phénomènes de la réfraction, simple ou double. Voici quelques-uns de ces résultats, que nous choisissons parmi les plus importants, au point de vue minéralogique.

Le spath fluor possède la singulière propriété de présenter un indice de réfraction qui diminue quand la température s'élève; c'est le seul corps solide parmi tous ceux qui ont été examinés jusqu'ici, qui se comporte de cette manière. Cette propriété lui est commune avec tous les liquides, et avec les gaz.

Le spath d'Islande a présenté des phénomènes intéressants, en rapport avec les changements remarquables que la chaleur occasionne dans la forme de ses cristaux et dans l'intensité de sa double réfraction, d'après les recherches de Mitscherlich. M. Fizeau a reconnu et mesuré les effets produits par la chaleur sur les indices de réfraction, et il a pu tirer de ses expériences certaines conséquences relatives aux phénomènes de dilatation si singuliers dans ce cristal.

La chaleur produit aussi des effets remarquables sur la double réfraction du quartz (ou cristal de roche). Les deux indices subissent une modification très-marquée; ils s'affaiblissent à la fois dans le cristal échauffé, et leurs valeurs se rapprochent l'une de l'autre : par conséquent l'intensité de la double réfraction diminue peu à peu dans le cristal. La valeur de la rotation du plan de polarisation augmente faiblement avec la température.

M. Descloizeaux avait été amené, par son grand travail sur les propriétés optiques des cristaux, à apporter des perfectionnements successifs au microscope polarisant dont il faisait usage; ces perfectionnements lui permirent d'étendre le champ de ses recherches, et d'y comprendre désormais l'étude des modifications que la chaleur peut produire dans les propriétés des substances biréfringentes. D'anciennes expériences de MM. Brewster et Mitscherlich avaient montré que, dans certains cristaux, l'écartement des axes optiques et l'orientation de leur plan variaient avec la température à laquelle ces cristaux sont soumis. Mais pendant longtemps on n'a connu que les phénomènes si tranchés produits par la glauberite et le gypse. M. Descloizeaux n'a pas tardé à reconnaître qu'un assez grand nombre de substances subissaient aussi l'influence de la chaleur à un degré plus ou moins marqué. Deux premiers Mémoires, présentés à l'Institut en 1861 et 1862, ont fait connaître ses premiers essais dans ce nouveau genre de travail<sup>1</sup>. M. Descloizeaux avait rencontré dans certaines plaques de feldspath orthose de l'Eifel des plages irrégulières où les axes optiques éprouvaient d'assez grandes variations dans leur écartement, et se montraient même quelquefois orientés dans des plans perpendiculaires l'un à l'autre. A l'exemple de ce que M. de Sénarmont avait fait pour les micas, il chercha d'abord l'explication de ces accidents dans le mélange de deux variétés géométriquement isomorphes, mais de propriétés optiques contraires. Plus tard, il reconnut que l'action de la chaleur apporte, dans les propriétés optiques de plusieurs minéraux, et du feldspath orthose en particulier, des modifications, les unes temporaires, les autres permanentes, qui sont entièrement indépendantes des changements dans la composition chimique; il s'est assuré, en effet, par des essais directs, que certaines variétés

<sup>1</sup> Ces deux Mémoires ont été réunis en un seul, et publiés dans les Annales des mines, t. II, 1862, sous le titre de, *Observations sur les modifications permanentes*

*et temporaires que l'action de la chaleur apporte aux propriétés optiques de plusieurs corps cristallisés.*

d'orthose, calcinées au rouge blanc, ne perdent pas plus d'un milligramme par gramme. Lorsque les variations de température ne vont pas au delà de 300 à 400 degrés, les modifications dans l'orientation et dans l'angle des axes qu'éprouve une lame d'orthose vitreux de l'Eifel sont seulement temporaires; mais l'auteur a découvert ce fait, entièrement nouveau et tout à fait inattendu, c'est qu'une calcination, prolongée jusqu'à 700 ou 800 degrés, rend ces modifications permanentes, sans qu'il soit possible de les attribuer à des effets de trempe ou à des altérations dans la composition. Aucun des feldspaths du dernier système cristallin n'éprouve au contraire de modifications optiques, temporaires ou permanentes, sous l'influence de la chaleur. Mais des phénomènes analogues se sont reproduits dans les cristaux de cymophane et de quelques autres substances. De ces premières observations M. Descloizeaux a tiré cette conséquence, que l'écartement et l'orientation des axes optiques, loin d'être caractéristiques pour une espèce minérale, comme on l'a cru pendant longtemps, peuvent varier avec la température à laquelle les cristaux sont soumis, ou l'ont été accidentellement par des causes naturelles. Ces résultats ont une grande importance, non-seulement au point de vue de la minéralogie, mais encore au point de vue des applications qu'on peut en faire à la géologie.

De nouvelles recherches, dont nous avons maintenant à parler, et qui font suite aux précédentes, ont été en partie l'objet d'un grand Mémoire présenté par M. Descloizeaux à l'Académie des sciences, dans la séance du 30 avril 1866. Ce Mémoire a pour titre, *Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux naturels ou artificiels, et sur les variations que ces propriétés éprouvent sous l'influence de la chaleur*. Une partie de ce travail se rapporte aux déterminations des propriétés optiques dans les conditions ordinaires de température, et par conséquent se trouve naturellement comprise dans l'analyse que nous avons déjà faite des recherches de cette nature. Nous nous bornerons à rappeler ici les divers sujets



qu'elle embrasse : la détermination, à l'aide des seules épreuves optiques, du système cristallin de plusieurs substances dont les formes étaient restées jusqu'à ce jour inconnues; la rectification par le même moyen de plusieurs déterminations anciennes, regardées comme douteuses; la détermination du sens de la double réfraction et la mesure d'un grand nombre d'indices principaux. Comme dans ses précédents Mémoires, il a soumis à un examen approfondi un nombre prodigieux de cristaux transparents, non-seulement naturels, mais encore artificiels : car, avec raison, et à l'exemple de plusieurs cristallographes et chimistes étrangers, il a cru devoir rapprocher et réunir dans une même étude générale ces deux groupes de corps que les divisions arbitraires de nos sciences maintiennent séparés, contrairement à ce que demande leur nature.

Une autre partie du Mémoire est consacrée à l'étude des modifications que la chaleur apporte aux propriétés optiques dans les cristaux biréfringents. Les résultats les plus remarquables de cette étude sont les suivants : la chaleur ne paraît pas agir d'une manière sensible sur les cristaux à un axe qui, par suite d'une irrégularité de structure, offrent en quelques-unes de leurs plages, dans la lumière polarisée convergente, une croix disloquée, dont les branches rappellent les hyperboles d'un cristal à deux axes très-rapprochés. Un changement de température modifie en général l'écartement des axes optiques dans les cristaux qui en ont deux; mais le déplacement de ces axes ne s'y montre pas en rapport avec les autres propriétés, par exemple avec la dispersion : car on observe toutes les combinaisons possibles entre les variations fortes ou faibles dans ces deux caractères. Parmi les substances qui éprouvent les plus grands changements dans l'angle de leurs axes, nous citerons le sulfate de baryte, et parmi celles qui offrent les changements les plus faibles, l'aragonite. Une seule substance (la zoisite) a pu être chauffée assez fortement pour éprouver des modifications permanentes, comme le feldspath orthose et la cymophane.

Dans tous les cristaux à trois axes cristallographiques rectangulaires, les bissectrices des axes optiques étant les mêmes pour toutes les couleurs, et chacune d'elles coïncidant toujours avec un des axes cristallographiques, cette coïncidence ne peut être influencée par la chaleur. Mais dans les cristaux du système clinorhombique, non-seulement l'angle des axes varie avec la température, mais encore l'orientation de leur plan, quand il n'est pas parallèle au plan de symétrie, et, dans le cas contraire, celle de leurs bissectrices. D'après une observation due à M. Neumann, on sait qu'en chauffant de  $10^{\circ}$  à  $100^{\circ}$  une lame de gypse normale à la bissectrice de l'angle aigu des axes optiques, on voit ces axes se rapprocher l'un de l'autre avec des vitesses inégales, ce qui entraîne nécessairement le déplacement de leur bissectrice. M. Descloizeaux a reconnu que c'était là un phénomène presque général. Dans les cas de dispersion croisée, il a observé une rotation considérable du plan des axes entre  $15^{\circ}$  et  $150^{\circ}$  (ex. le borax).

Des observations précédentes il résulte, comme nous l'avons déjà dit, que l'orientation et l'écartement des axes sont sujets à trop de variations pour qu'on puisse attribuer à ces caractères une grande valeur dans la délimitation des espèces minérales; cependant dans certains cas on pourra utiliser l'action de la chaleur pour séparer optiquement des corps de forme douteuse, et très-voisins par leurs caractères chimiques ou physiques, comme M. Descloizeaux l'a montré pour quelques corps du groupe des micas.

POLYCHROÏSME. — Beaucoup de cas particuliers de dichroïsme ou de polychroïsme ont été observés par les savants français dans la période de temps à laquelle doit se limiter l'étendue de notre rapport, et la plupart de ces observations ont été faites à l'aide des deux images polarisées à angles droits que donne la loupe dichroscopique de Haidinger. Nous ne pouvons les mentionner ici, et nous n'aurions pas à parler de ce phénomène qu'on n'observe que dans les cristaux biréfringents, transparents et colorés, s'il n'avait donné lieu à des recherches expérimentales destinées à le repro-

duire artificiellement dans les substances cristallisées et à nous renseigner sur la véritable cause de ce phénomène. Ces curieuses expériences sont dues à M. de Sénarmont<sup>1</sup>.

Le phénomène du polychroïsme n'est sensible que dans les cristaux colorés, dans ceux surtout qui présentent une coloration accidentelle, due au mélange des molécules propres d'une espèce avec celles d'une autre espèce isomorphe, ou bien avec des molécules hétéromorphes, interposées entre les molécules essentielles et retenues par une sorte d'affinité capillaire. M. de Sénarmont s'est demandé si la cause qui produit une extinction inégale de la lumière polarisée dans les substances biréfringentes ne pourrait pas être reportée, du moins en partie, à ces matières dont les cristaux, soit naturels, soit artificiels, sont souvent imprégnés et comme souillés, et qu'ils ont empruntées aux eaux mères dans lesquelles ils se sont formés. Il a cherché à résoudre cette question par la synthèse, et des expériences qu'il a faites sur un grand nombre de sels qui avaient cristallisé en présence de diverses matières tinctoriales il est résulté ce fait important, qu'une matière colorante, disséminée uniformément à l'intérieur du cristal, entre ses lames d'accroissement, mais absolument étrangère à sa constitution comme à sa structure, inerte chimiquement, et s'éliminant d'elle-même par des dissolutions répétées et suivies de cristallisation dans l'eau pure, peut lui communiquer à un haut degré les propriétés du polychroïsme.

M. de Sénarmont cite, comme exemple de ce fait, de beaux cristaux d'azotate de strontiane hydraté, qui avaient été produits au milieu d'une teinture concentrée de bois de campêche, amenée au pourpre par quelques gouttes d'ammoniaque. Ces cristaux, qui avaient pris une couleur comparable à celle de l'alun de chrome, lui ont offert un polychroïsme très-prononcé. La lumière blanche y

<sup>1</sup> Voir le Mémoire sur les *Expériences sur la production artificielle du polychroïsme dans les substances cristallisées*, par M. de Sénarmont. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXVIII, p. 101; 1854.)

développait par transmission, sous certaines incidences, une couleur rouge, et sous d'autres, une couleur bleue et violette. Observés avec un prisme biréfringent, ces cristaux se dédoublaient en deux images, l'une rouge, l'autre d'un violet foncé; et ces images échangeaient leurs couleurs en passant par l'égalité, à mesure qu'on faisait tourner la lame cristalline dans son propre plan. Enfin, deux pareilles lames, parfaitement transparentes, placées l'une sur l'autre dans une orientation inverse, arrêtaient complètement, ou, du moins, éteignaient en très-grande partie la lumière blanche incidente, à la manière des tourmalines.

COLORATION DES MINÉRAUX. — M. Fournet, professeur à la faculté des sciences de Lyon, s'est proposé de rechercher les causes les plus ordinaires de la coloration des pierres et des roches. Depuis l'époque de Haüy on supposait généralement que les couleurs accidentelles des minéraux pierreux, et notamment des gemmes ou pierres précieuses, étaient dues à l'interposition de molécules d'oxydes métalliques, tels que les oxydes de chrome, de fer, de manganèse, etc. et on attribuait à ces couleurs une assez grande fixité. Mais déjà plusieurs savants avaient fait la remarque que beaucoup de ces couleurs sont altérables par l'action de la chaleur, qui les modifie ou les fait complètement disparaître, et que par conséquent elles doivent avoir pour principe colorant une matière d'un caractère fugace. Dans son Mémoire sur les émeraudes de Colombie<sup>1</sup>, M. Léwy avait rapporté à une matière organique la couleur verte de ces émeraudes, que depuis Vauquelin on attribuait uniquement à l'oxyde de chrome. Il avait eu recours à l'intervention de cette matière, après avoir constaté sa présence dans toutes les émeraudes qu'il avait analysées, et après avoir reconnu que sa proportion croissait avec l'intensité de la couleur, tandis que celle-ci n'était nullement en rapport avec la quantité de l'oxyde, toujours très-petite, même dans les émeraudes de nuances très-

<sup>1</sup> *Recherches sur la formation et la composition de l'émeraude. (Comptes rendus, etc. 1858, t. XLVI, p. 561.)*

foncées. M. Lévy avait aussi observé la décoloration des émeraudes vertes par l'action de la chaleur, quand elles sont chauffées jusqu'au rouge. Ce fait a été contesté; mais s'il est des émeraudes chez lesquelles la couleur verte résiste au feu, il en est d'autres où elle subit des altérations, comme l'a reconnu M. Fournet, et comme cela résulte<sup>1</sup> aussi des observations faites par M. E. Jannettaz, aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle<sup>1</sup>.

M. Fournet a publié, en 1860, dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences<sup>2</sup>, une suite de notices dont le but est de rejeter, au moins comme prépondérante, l'influence des oxydes métalliques dans la coloration des pierres, et de faire intervenir pour l'expliquer, à côté de ces oxydes, des principes d'une nature moins stable, qui seraient le plus souvent la véritable cause de cette coloration. Il admet en conséquence la diffusion, dans un grand nombre de minéraux et de roches, d'une matière organico-minérale du genre des bitumes et des pétroles, et c'est elle qui remplirait le plus souvent le rôle de principe colorant dans les émeraudes, les zircons, les topazes, les tourmalines, les quartz, les micas, etc. Il pense qu'avec cette seule matière, retenue par affinité capillaire entre les molécules des cristaux, la nature peut obtenir les nuances les plus variées, non-seulement dans la même espèce, mais encore dans le même échantillon.

Il existe en effet des minéraux qui peuvent recevoir artificiellement une teinture organique de ce genre, et qui par conséquent auraient pu la devoir à des causes naturelles. Les observations microscopiques de MM. Brewster et Sorby sur les cristaux guttifères nous ont appris d'ailleurs que beaucoup de substances (les quartz, les topazes, les béryls, etc.) réputées anhydres contenaient dans leur intérieur de très-petites cavités remplies d'eau et de matières

<sup>1</sup> Voir *Recherches sur les modifications que l'action de la chaleur peut faire subir à la couleur des substances minérales.* (Comptes rendus, etc. t. LVIII, p. 719.)

<sup>2</sup> *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. L, p. 1175, et t. LI, p. 39, 72 et 112.

volatiles, qui ne se dégagent qu'à une très-haute température. Plusieurs (les tourmalines et les quartz) montrent des couleurs variables et mobiles au gré du lapidaire; et dans certains minéraux, comme les micas et les béryls, la matière colorante forme des nébulosités qui se résolvent sous le microscope en une multitude de petites cavités vésiculaires.

PHOSPHORESCENCE ET FLUORESCENCE. — Ces propriétés ont été l'objet d'un long et consciencieux travail de M. Edmond Becquerel, membre de l'Académie des sciences<sup>1</sup>. Il a étudié surtout le développement de ces effets lumineux par insolation, c'est-à-dire par l'action des rayons de la lumière solaire sur un grand nombre de substances qui se montrent plus ou moins impressionnables à cette action. La meilleure manière, selon lui, de faire les expériences consiste à opérer dans une chambre noire, au volet de laquelle on a pratiqué une petite trappe en coulisse : on ouvre celle-ci pour présenter le corps, qu'on a réduit en poussière, pendant quelques instants seulement à la lumière; puis on le retire vivement et l'on referme la trappe. L'observateur qui veut bien voir le phénomène doit tenir les yeux fermés pendant que la trappe est ouverte, afin que sa rétine puisse être sensible à la plus faible radiation lumineuse. On remarque alors que le corps est devenu lumineux par lui-même, sans avoir été rendu tel par incandescence, et qu'il émet à une basse température des rayons de lumière d'une autre nuance que celle des rayons excitateurs et généralement d'une moindre réfrangibilité. La durée de la phosphorescence ainsi constatée est très-variable; pour beaucoup de substances elle n'est que de quelques secondes, pour quelques-unes même d'une fraction très-petite de seconde. M. Ed. Becquerel est parvenu à l'observer très-peu d'instants après l'action directe de la lumière, au moyen d'un instrument qu'il a imaginé pour cela, et qu'il nomme *phosphoroscope*; il a pu s'assurer ainsi que ce phénomène est bien plus géné-

<sup>1</sup> *Recherches sur divers effets lumineux qui résultent de l'action de la lumière sur les corps*, par M. Ed. Becquerel. (*Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, t. LV.)

ral qu'on ne le pense, et arriver à se convaincre qu'il n'y a pas de différence essentielle entre la phosphorescence proprement dite et le phénomène du même genre que les physiciens, dans ces derniers temps, avaient cru devoir distinguer par le nom particulier de fluorescence. D'après M. Stokes, la fluorescence consisterait dans des effets lumineux produits par les rayons les plus réfrangibles du spectre et même par les rayons non visibles qui existent au-delà du violet, et ces effets n'auraient lieu que pendant leur action; tandis que, dans le cas de la phosphorescence, les effets persistent plus ou moins longtemps après que la cause a cessé d'agir. M. Ed. Becquerel, par ses nouvelles recherches, a été conduit à penser que les deux phénomènes ne diffèrent au fond l'un de l'autre que par le temps pendant lequel l'impression de la lumière peut se conserver, et pour lui la fluorescence est une phosphorescence qui ne dure qu'un instant inappréciable.

CONDUCTIBILITÉ DES CRISTAUX POUR L'ÉLECTRICITÉ. — On doit à M. de Sénarmont des recherches importantes sur la conductibilité superficielle des corps cristallisés pour l'électricité de tension, et, comme on pouvait le prévoir, les résultats de ces recherches sont en parfaite analogie avec ceux que donneraient, dans les mêmes circonstances, la conductibilité pour la chaleur et la propagation de la lumière<sup>1</sup>. M. de Sénarmont a opéré de la manière suivante. Il recouvrait la face cristallisée d'une légère feuille d'étain dans laquelle il avait découpé à l'emporte-pièce un trou circulaire; il plaçait au centre du cercle la pointe métallique du conducteur, cherchant par là à déterminer le passage de l'électricité entre cette pointe et la circonférence de l'armature métallique. Il est évident que l'électricité était sollicitée également en tous sens par cette armature, et si elle venait à prendre une route particulière, la résistance opposée à son mouvement par les molécules du cristal était évidemment la seule cause à laquelle on pût attribuer ce choix de

<sup>1</sup> Voir *Comptes rendus de l'Académie*, séance du 17 décembre 1849.

direction. L'expérience avait lieu dans le vide et dans l'obscurité. Or voici les résultats que M. de Sénarmont a obtenus en opérant ainsi.

Si le cristal appartient au système régulier, l'électricité s'épanouit circulairement tout autour de la pointe, et couvre la surface du cercle d'une lueur uniforme. Il en est de même pour les faces parallèles aux bases, dans les systèmes rhomboédrique et quadratique : là encore la conductibilité est égale en tous sens. Dans tous les autres cas le phénomène est différent : on voit un flux rapide d'électricité s'échapper de la pointe en sens contraires et tracer un diamètre lumineux, d'une orientation déterminée, qui indique la direction de la conductibilité *maxima*.

**PYROÉLECTRICITÉ POLAIRE.** — Cette propriété consiste en ce que certains cristaux que l'on chauffe ou que l'on refroidit uniformément manifestent, tant que leur température est croissante ou décroissante, les deux électricités à la fois dans des points séparés, situés ordinairement aux extrémités d'un même axe ; on donne à ces points le nom de *pôles électriques* et à cet axe celui d'*axe électrique*. Ce phénomène est rare, par la raison qu'il ne se montre que dans les substances cristallisées qui présentent dans leur structure et dans leur forme une hémiedrie polaire conduisant à des formes tétraédriques. Il est très-marqué dans les cristaux de la boracite et de la tourmaline. Dans ces cristaux on observe toujours une différence de forme dans les angles opposés où résident les pôles de noms contraires. Haüy, qui ne songeait pas à admettre en pareil cas une hémiedrie fondée sur des différences de structure intérieure et de forme moléculaire, voyait dans ces cristaux une dérogação à la loi générale de symétrie ; et, ayant remarqué la concomitance de ces deux faits, la dissymétrie des modifications et l'électricité polaire, il a cru pouvoir les expliquer l'un par l'autre. M. Delafosse, dans son Mémoire déjà cité sur la cristallisation (tome VIII des Savants étrangers), a renversé cette explication et indiqué la véritable cause physique de ces phénomènes ; il a montré que les deux



faits dont nous venons de parler n'ont point entre eux la relation de cause à effet que Haüy leur supposait, mais qu'ils sont tous deux des conséquences d'un même fait primordial qui a échappé à cet habile cristallographe, savoir que, d'après la forme hémédrique des molécules, les files moléculaires parallèles à un axe électrique n'offrent point de disposition symétrique de part et d'autre du plan normal à leur direction. Il y a donc une différence physique dans les sommets ou extrémités de cet axe, et c'est sur elle que l'on doit s'appuyer pour expliquer d'abord les modifications dissymétriques des cristaux et ensuite leur électricité polaire. On peut généraliser cette explication en disant que, pour qu'une substance cristallisée manifeste la polarité électrique aux deux extrémités d'un même axe, il faut que ses molécules aient une symétrie qu'on puisse se représenter sous la forme d'un tétraèdre et qu'elles soient disposées de manière à tourner un de leurs angles vers une extrémité de l'axe, et la base opposée à cet angle vers l'autre extrémité.

Dans ses belles Recherches sur les acides tartriques et les tartrates, M. Pasteur a reconnu et signalé plusieurs exemples de cette corrélation remarquable entre la pyroélectricité et l'hémédrie polaire ou tétraédrique.

MAGNÉTISME ET DIAMAGNÉTISME. — Les propriétés magnétiques ont été l'objet de recherches particulières, que nous devons à M. Edmond Becquerel, membre de l'Institut, et à M. Delesse, ingénieur en chef des mines. On sait que les minéraux qui renferment du fer et du nickel peuvent exercer sur l'aiguille aimantée deux sortes d'action, qu'on peut appeler l'une le magnétisme simple, analogue à celui du fer doux, et l'autre le magnétisme polaire, que possèdent les aimants naturels. M. Delesse a publié en 1845, dans les Annales de chimie et de physique, un grand travail sur le magnétisme polaire des minéraux simples et des roches<sup>1</sup>, dans lequel il a montré que beaucoup de minéraux autres que ceux qui contiennent du

<sup>1</sup> Delesse, *Sur le magnétisme polaire des minéraux et des roches.* (*Annales de chimie et de physique*, t. XXV, 1849; et *Annales des mines*, 4<sup>e</sup> série, t. XIV et XV.)

fer sont magnétiques, ce qu'il a constaté en les suspendant librement entre les deux pôles d'un électro-aimant très-puissant, disposé en forme de fer à cheval; il a fait voir aussi que toute substance simplement magnétique peut devenir magnétipolaire, si on la met en contact avec les extrémités du fer à cheval, et, mieux encore, si l'on ajoute aux deux branches des pièces polaires ou armatures en fer doux, que l'on rapproche jusqu'à ce qu'elles se touchent, pour appliquer ensuite la substance magnétique à leur point de contact mutuel : dans ce cas l'aimantation est plus facile et beaucoup plus énergique.

M. Delesse a examiné avec soin un très-grand nombre de substances, et il a cherché à évaluer approximativement le pouvoir magnétique propre à chacune d'elles, par la quantité de sa poussière que l'un des pôles de l'aimant est capable de supporter. Il a reconnu que dans un cristal la distribution des pôles n'a point de rapport avec ses axes cristallographiques. Il a démontré enfin que la polarité des roches ne tient pas, comme on le croyait, à un mélange intime de fer oxydulé, et qu'on ne peut pas non plus attribuer le pouvoir magnétique des minéraux simples au mélange d'un composé ferrugineux.

Longtemps avant la découverte des électro-aimants, Coulomb avait fait remarquer une sorte d'action magnétique que paraissaient exercer sur tous les corps de la nature deux forts barreaux aimantés placés l'un devant l'autre et se présentant par leurs pôles contraires. Il suspendait entre ces pôles, par un fil sans torsion, de petites aiguilles très-fines des matières qu'il voulait essayer, et ces aiguilles tendaient à se diriger suivant la ligne des pôles et se mettaient à osciller avec plus ou moins de rapidité. De son côté, Lebaillif avait reconnu aussi l'action exercée par un grand nombre de substances sur un système d'aiguilles très-sensible, et, de plus, il avait constaté un fait tout nouveau et très-important, savoir : la répulsion constante qu'exercent sur cet appareil certains métaux, tels que le bismuth et l'antimoine.

On doit au célèbre savant anglais, M. Faraday, d'importantes observations, qui sont venues confirmer et généraliser les deux faits découverts par Coulomb et Lebaillif. Il a reconnu que toute substance est sensible à l'action magnétique, quand elle est placée entre les pôles d'un électro-aimant très-énergique; et que cette action magnétique s'exerce de deux manières, tantôt comme une force attractive (les substances magnétiques ordinaires), et tantôt comme une force répulsive (les diamagnétiques), qui, au lieu de se diriger suivant la ligne des pôles, se dirigent perpendiculairement à l'axe magnétique. M. Edmond Becquerel s'est occupé aussi de démontrer l'action du magnétisme sur tous les corps dans plusieurs Mémoires publiés en 1849 et 1850<sup>1</sup>. Ses recherches l'ont conduit à faire intervenir l'action des milieux environnants dans l'explication des phénomènes magnétiques. La différence d'action que l'on observe entre l'électro-aimant et les diverses substances naturelles dépendrait beaucoup plus du milieu dans lequel se trouve la substance que de la substance elle-même. Suivant M. Becquerel, l'aimant n'exercerait qu'une seule espèce d'action sur tous les corps soumis à son influence; et il attribue la répulsion, qu'il semble exercer dans certains cas, à ce que le corps serait plongé dans un milieu plus magnétique que lui, basant ainsi l'explication de cette anomalie apparente sur une sorte d'extension qu'il croit pouvoir donner au principe d'Archimède.

### CHIMIE MINÉRALE.

COMPOSITION CHIMIQUE; FORMULES ATOMIQUES. — Les recherches relatives à la nature chimique des minéraux n'ont pas cessé d'occuper activement les chimistes et les minéralogistes français, dans la période de temps qu'embrasse l'étendue de ce rapport. Nous parlerons plus loin des résultats particuliers d'analyses qui ont

<sup>1</sup> *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, t. XXVIII et XXXII.

servi à déterminer la composition d'un grand nombre de minéraux; il ne sera question en ce moment que des résultats les plus généraux de ces recherches, et des méthodes nouvelles qui ont permis de les obtenir, et ont amené le perfectionnement et le progrès dans cette partie de la science des minéraux.

Un des résultats les plus importants des travaux analytiques et des recherches sur la densité de vapeur de certaines combinaisons est de nous faire connaître plus exactement la composition atomique des acides et des bases, qui sont les éléments immédiats des minéraux, et de fixer d'une manière définitive la formule qui les représente. Tel est celui qu'ont obtenu en commun MM. Henri Sainte-Claire Deville et Troost, après M. de Marignac, qui avait cherché déjà à rectifier la formule de la zircone. MM. Deville et Troost se sont occupés de cette question, pour la résoudre dans le même sens. Selon eux, la zircone est un oxyde à deux atomes d'oxygène, qu'on doit placer à côté de l'acide silicique et des acides titanique et stannique<sup>1</sup>.

M. Henri Deville a publié une nouvelle méthode générale pour l'analyse des silicates, fondée sur les résistances très-diverses, et nettement prononcées, qu'offrent certains sels à leur destruction par le feu. Il a prouvé, par des analyses et des synthèses nombreuses, la rigueur de son procédé<sup>2</sup>. Dans un autre travail, publié en collaboration avec M. Fouqué, M. H. Deville a fait connaître une autre méthode d'analyse, applicable aux matières fluorées, et, en particulier, aux diverses espèces de topaze. Elle consiste à chauffer très-fortement toutes celles qui ne contiennent pas d'alcalis, jusqu'à cessation de perte de poids. Ayant recueilli et analysé la matière volatilisée, les deux auteurs se sont convaincus qu'elle consistait en fluorure de silicium pur, et ils sont arrivés à cette conclusion que les quantités de fluor et d'oxygène contenues dans

<sup>1</sup> *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XLV, p. 821.

<sup>2</sup> *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, t. XXXVIII, p. 5.

les topazes sont variables, mais que ces deux éléments s'y remplacent mutuellement à la manière des corps isomorphes<sup>1</sup>.

Une méthode d'analyse qu'on peut appeler méthode optique ou analyse par le spectre est venue ouvrir aux chimistes une nouvelle voie de recherches, et ces recherches ont déjà produit des résultats remarquables et seront sans nul doute encore plus fécondes dans l'avenir. Ce procédé merveilleux est celui à l'aide duquel MM. Kirchhoff et Bunsen ont découvert deux nouveaux métaux alcalins, qui avaient complètement échappé aux anciennes méthodes. Ces raies obscures ou colorées, qui interrompent la continuité du spectre solaire ou de celui que donne la flamme d'un corps en combustion, sont intimement liées à la nature de la source d'où émanent les rayons lumineux; les vapeurs métalliques incandescentes produisent des spectres qui offrent toujours des raies brillantes et de couleurs caractéristiques. De l'étude de ces raies est résultée une nouvelle méthode d'analyse, d'une précision et d'une délicatesse infinies; aucune réaction chimique connue n'est susceptible d'un pareil degré de sensibilité; et, quelque minime que soit la proportion de la substance à laquelle sont dues les raies, celles-ci se montrent toujours et manifestent sa présence dans la flamme soumise à l'examen. C'est cette analyse spectrale qui a fait découvrir dans la lépidolithe de Moravie le nouveau métal que M. Bunsen a nommé *rubidium* à cause de la belle couleur rouge qui décèle son existence, et dans les eaux minérales alcalines de Dürckheim, le *cæsium*, qui est caractérisé par une belle raie de couleur bleue.

Ces belles observations ont donné naissance à des travaux assez nombreux, ayant pour objet de les répéter, ou d'en étendre les applications. Tels sont en France ceux de MM. Debray et Louis Grandeau. Dans ses recherches, M. Debray<sup>2</sup> choisit pour flamme le dard du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène; il introduit

<sup>1</sup> *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XXXVIII, p. 317.

<sup>2</sup> *Comptes rendus*, t. LIV, p. 167.

cette flamme dans un appareil photogénique de Duboscq, et projette les spectres sur un écran convenablement placé : en opérant ainsi, il a pu saisir nettement tous les détails des phénomènes et en donner une analyse très-exacte. M. Grandeau<sup>1</sup> a constaté la présence du rubidium dans d'autres minéraux alcalins, et dans quelques sources minérales, comme celles de Bourbonne-les-Bains; il a reconnu qu'elle n'était pas nécessairement liée à celle de l'un des métaux alcalins anciennement connus, et il l'a signalée dans plusieurs matières très-différentes, qui sont des produits de la nature ou de l'industrie, dans les salins de betteraves par exemple, dans le café, le tabac, etc.

RELATIONS ENTRE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET LA FORME CRISTALLINE. — *Isomorphisme*. — Dans les minéraux cristallisés, la forme cristalline ou forme extérieure est en relation directe avec celle de la molécule cristalline, c'est-à-dire avec l'élément physique du réseau cristallin. Elle est aussi en relation avec le type propre à la molécule chimique, c'est-à-dire à la molécule qui se produit la première par l'affinité des atomes les uns pour les autres; mais cette seconde relation n'est pas toujours immédiate, parce qu'il peut exister une distinction entre la molécule chimique de la substance et la molécule physique du cristal, laquelle se forme souvent au moment même de la cristallisation, par un groupement de plusieurs molécules chimiques. De là résultent les deux phénomènes importants par lesquels se manifeste la justesse des remarques précédentes et que les chimistes et les cristallographes désignent par les noms d'*isomorphisme* et de *dimorphisme*, phénomènes découverts par Mitscherlich, et qui sont les principaux titres de gloire de ce savant illustre.

D'après la définition donnée par Mitscherlich lui-même, deux composés définis sont isomorphes lorsque, ayant même type et même formule de composition atomique, ils ont en outre des formes cristallines sensiblement égales, en sorte qu'ils cristallisent non-seu-

<sup>1</sup> *Comptes rendus*, t. LIII, p. 1100.

lement dans le même système, mais encore sous des formes dont les angles sont très-peu différents. Les composés isomorphes ayant le même type de combinaison ont, par cela même, des molécules physique de forme analogue, et ces molécules, sans être tout à fait identiques, sont sensiblement équivalentes au point de vue physique et sous le rapport de la cristallisation, qui emploie ces molécules indifféremment les unes pour les autres; elles ont en effet la propriété de se remplacer mutuellement et de se mélanger de toutes les manières en cristallisant ensemble.

La plupart des chimistes et minéralogistes français ont continué de prendre pour guide, dans la discussion et le calcul des analyses de minéraux complexes, le principe de l'isomorphisme, tel que Mitscherlich l'entendait, et tel que nous venons de l'énoncer. Mais l'un d'eux (Auguste Laurent), dans une communication faite à l'Académie en 1845<sup>1</sup>, a voulu lui donner une extension beaucoup plus grande. D'après Mitscherlich, les petites variations qui peuvent avoir lieu dans les formes des composés isomorphes doivent rester comprises entre les limites d'un même système cristallin; selon A. Laurent, elles peuvent atteindre les dimensions linéaires ou angulaires de la forme cristalline jusque dans le rapport général d'égalité ou d'inégalité, qui détermine son caractère de symétrie, et l'isomorphisme, franchissant les limites ordinaires des systèmes cristallins, peut s'étendre de l'un à l'autre, la transition s'opérant par une de ces formes, placées sur la limite des deux systèmes et qu'il suffit de modifier très-légèrement pour la faire passer dans le système voisin. Selon Mitscherlich, les éléments atomiques qui se remplacent dans le type moléculaire commun doivent y jouer les mêmes rôles, tant chimiques que statiques; selon Laurent, il suffit que le système moléculaire offre le même type mécanique, qu'il soit formé de parties en mêmes nombres et disposées entre elles de la même manière.

<sup>1</sup> *Sur l'Isomorphisme et les Types cristallins.* (Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. XX, 1845.)

Une autre manière d'étendre les applications du principe de l'isomorphisme a été proposée par le même chimiste<sup>1</sup> : elle consiste à regarder les sesquioxides d'aluminium, de fer, de manganèse, etc. comme pouvant remplacer, sous certaines conditions et dans de certaines limites, les protoxydes de calcium, de fer, de manganèse, idée qui peut paraître étrange au premier abord, mais qu'on peut appuyer de raisons assez solides, et qui a obtenu des adhérents d'un grand mérite, parmi lesquels nous citerons M. Rammeisberg. Dans cette manière de voir, on est conduit à ramener à une seule et même formule atomique les deux classes d'oxydes, et par là on obtient une grande simplification dans celle des composés qui comprennent à la fois les deux sortes de bases.

D'après les observations de plusieurs minéralogistes et chimistes<sup>2</sup>, certains groupes de corps présentent une sorte d'isomorphisme partiel, ou d'*hémisomorphisme*, c'est-à-dire qu'ils se montrent isomorphes dans la zone de faces ou le pourtour de leur prisme fondamental, tandis que leurs cristaux diffèrent davantage par les faces de leurs sommets, étant terminés, par exemple, les uns par une base droite, les autres par une base légèrement oblique, dans un sens ou dans le sens contraire; ces corps, en même temps, ont des compositions très-rapprochées. C'est un hémisomorphisme tout à la fois géométrique et chimique, provenant sans doute de ce que les molécules sont elles-mêmes en partie semblables par leur composition et leur constitution atomique; elles engendrent alors des formes cristallines, qui, sensiblement les mêmes dans deux de leurs dimensions, ne diffèrent que par la troisième. Il y aurait à distinguer dans ces petits systèmes moléculaires deux sortes de parties, les parties latérales, qui

<sup>1</sup> Voir A. Laurent, *Sur l'Isomorphisme des bases sesquioxides et monoxydes.* (*Comptes rendus de l'Académie, etc.* t. XXVII, 1848, p. 134.)

<sup>2</sup> Voir le Nouveau Cours de minéra-

logie, t. I, p. 519, et le Mémoire sur le pseudo-dimorphisme, par M. Descloizeaux. (*Annales de chimie et de physique, 4<sup>e</sup> série, t. I.*)



seraient formées par un même nombre d'atomes disposés de la même manière, et les parties terminales, qui auraient une constitution atomique un peu différente, celle-ci n'ayant d'autre effet que de modifier légèrement la terminaison du prisme fondamental. Dans certains groupes de sels hydratés, cette variation pourrait provenir d'un nombre différent d'atomes d'eau qui se trouveraient rejetés vers les deux extrémités de l'axe.

C'est un pareil groupe de composés hémisomorphes que M. Pasteur a observé et décrit dans les tartrates<sup>1</sup>, où il a toujours trouvé sensiblement le même prisme, avec une base tantôt horizontale, et tantôt légèrement oblique, quoique le groupe fût composé de tartrates simples et de tartrates doubles, de monotartrates et de bitartrates. C'est encore un groupe semblable que M. Nicklès a rencontré dans ses recherches chimiques et cristallographiques sur les formiates.

**DIMORPHISME.** — Le dimorphisme n'est-il qu'un cas particulier de l'isométrie, ou bien est-ce un principe nouveau et parfaitement distinct, comme le pensait Mitscherlich? La question est loin d'être résolue d'une manière définitive, dans un sens ou dans l'autre. Suivant le physicien allemand, le dimorphisme est la propriété que possèdent certaines combinaisons chimiques de cristalliser sous deux formes différentes, dans des circonstances et des conditions diverses, en sorte que dans chaque cas de dimorphisme on a deux corps de même composition chimique, qui se distinguent par leurs systèmes cristallins. Cette propriété se rattache-t-elle à quelque circonstance générale? Les minéralogistes avaient déjà fait la remarque que, dans plusieurs des substances dimorphes, une des deux formes observées se trouve être une *limite*, voisine de l'autre forme, en sorte qu'on pourrait passer de l'une à l'autre par de légers changements dans la valeur des éléments qui les déterminent.

<sup>1</sup> Voir les Mémoires déjà cités de M. Pasteur.

<sup>2</sup> Voir (*Comptes rendus*, t. XXVII,

1848), le Mémoire de M. Nicklès, qui a pour titre, *Rapports entre la composition chimique et la forme.*

M. Pasteur, dans un Mémoire qui a pour titre *Recherches sur le dimorphisme*<sup>1</sup>, a non-seulement établi la grande généralité de ce fait, mais il a montré en outre qu'en partant de l'une des formes d'une substance dimorphe et des dimensions de son prisme fondamental, on peut, par des lois de dérivation très-simples, obtenir les faces secondaires propres à l'autre forme. Un fait analogue a été l'objet d'une Note publiée par M. Raulin, professeur à la faculté des sciences de Bordeaux<sup>2</sup>. Ce savant avait remarqué que les substances dimorphes, soit naturelles, soit artificielles, présentent toujours, pour l'un de leurs systèmes cristallins, celui du prisme orthorhombique, et que l'autre appartient à l'un des systèmes les plus voisins, et, le plus souvent, à celui qui possède le plus haut degré de symétrie. Mais ces circonstances remarquables se rattachent elles-mêmes à une relation beaucoup plus générale, dont nous parlerons bientôt, qui paraît exister entre les séries cristallines de la plupart des substances connues, quelle que soit leur nature, et qui établit un rapprochement de même genre, non-seulement entre ces diverses séries, mais encore avec les formes de la série régulière.

M. Pasteur a rencontré de nombreux et nouveaux exemples de dimorphisme dans les substances actives, qu'il a étudiées avec tant de soin<sup>3</sup>. Quant à ceux qu'on a découverts dans les substances minérales proprement dites, nous citerons le sesquioxyde d'antimoine, qui était connu sous la forme d'un prisme orthorhombique, et que M. de Sénarmont a observé sous celle de l'octaèdre régulier, cas parfaitement semblable à celui qu'a présenté un autre oxyde, isomorphe avec le précédent, l'acide arsénieux<sup>4</sup>. De ces faits on tire une conséquence importante : c'est que les sesqui-

<sup>1</sup> *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, tome XXIII, et *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXVI, 1848.

<sup>2</sup> *Comptes rendus de l'Académie, etc.* t. XXXII, 1851, p. 814.

<sup>3</sup> *Comptes rendus de l'Académie, etc.* t. XXXIX, 1854, p. 20.

<sup>4</sup> *Comptes rendus de l'Académie, etc.* t. XXXII, 1851, p. 174.

oxydes d'antimoine et d'arsenic, quand on les compare successivement sous leurs deux formes, offrent entre eux une double relation d'isomorphisme, et peuvent être appelés, à cause de cela, des substances *isodimorphes*. Il existe d'assez nombreux exemples de ce double isomorphisme.

Un autre cas intéressant de dimorphisme a été signalé par M. Friedel<sup>1</sup> dans des cristaux de blende provenant de l'Amérique du Sud. La blende, qui cristallise ordinairement sous les formes du système régulier, a été reconnue par lui sous la forme du prisme hexagonal régulier. MM. Henri Deville et Sidot l'ont obtenue artificiellement sous cette même forme.

Dans un Mémoire que M. Descloizeaux a publié sous le titre de, *Pseudo-dimorphisme de quelques composés, naturels ou artificiels*<sup>2</sup>, ce savant a signalé l'existence d'un fait qu'il a reconnu dans le cours de ses recherches minéralogiques et qui a son importance : c'est que des éléments isomorphes par eux-mêmes et dans plusieurs de leurs combinaisons homologues, cessent de l'être dans la plupart des autres, où leur présence détermine un changement dans le système cristallin. Des substances chimiquement isomorphes peuvent donc avoir des formes cristallines différentes, sans qu'on puisse les considérer comme dimorphes, puisque le dimorphisme suppose l'identité absolue de composition. Pour distinguer ce cas de celui du véritable dimorphisme, M. Descloizeaux a donné aux substances qui le présentent le nom de *pseudo-dimorphes*. On trouve dans son Mémoire une liste des principaux composés, soit naturels, soit artificiels, dans lesquels l'étude des propriétés cristallographiques et optiques a permis de constater le pseudo-dimorphisme.

**PLÉSIOMORPHISME OU HOMŒOMORPHISME.** — On a remarqué depuis longtemps, qu'en dehors des cas d'isomorphisme proprement dit, c'est-à-dire sans la condition de posséder une constitution atomique semblable, deux minéraux peuvent offrir une analogie de

<sup>1</sup> *Comptes rendus de l'Académie.* — <sup>2</sup> *Annales de chimie et de physique*, 4<sup>e</sup> série, t. I.

forme en tout point comparable à celle des substances réellement isomorphes. C'est un fait bien connu, et qui a attiré l'attention de plusieurs minéralogistes célèbres (MM. Dana, Brooke et Miller, Naumann, etc.). On a donné le nom de plésiomorphisme ou d'homœomorphisme à cet isomorphisme purement géométrique, qui s'observe fréquemment parmi les espèces du règne minéral.

M. Delafosse a publié un Mémoire<sup>1</sup> dans lequel il établit les preuves de ce fait, et surtout de sa grande généralité. L'auteur oppose le plésiomorphisme, considéré comme un phénomène particulier, à l'isomorphisme proprement dit, qui consiste dans une double analogie de forme et de composition. Dans les espèces plésiomorphes, les formes offrent entre elles le degré de ressemblance qu'on observe dans les espèces isomorphes, mais sans que leurs compositions atomiques puissent se ramener à une même formule. Laurent a cherché à démontrer que l'isomorphisme n'a pas lieu seulement entre les espèces du même système cristallin, mais qu'il peut, franchissant les limites de ce système, s'étendre aux systèmes voisins, et même parcourir tous les degrés de l'échelle cristallomorphique. Il en est absolument de même du plésiomorphisme : il établit pour les espèces qui n'ont pas le même type de composition atomique un rapprochement tout à fait semblable, non-seulement entre celles de deux systèmes voisins, mais encore entre celles qui appartiennent aux derniers systèmes cristallins et celles qui se rapportent au premier.

Dans les substances qui cristallisent en prismes droits à base rhombe, sur cent cinquante espèces bien déterminées, on en compte plus de soixante qui s'offrent sous la forme de prismes hexagonaux, très-voisins d'une forme limite, le prisme hexagonal régulier; elles sont donc non-seulement plésiomorphes entre elles, mais encore avec celles du système rhomboédrique. D'un autre côté, on en connaît plus de trente qui cristallisent en prismes

<sup>1</sup> *Sur le plésiomorphisme des espèces minérales*, par M. Delafosse, imprimé chez

Thunot en 1851, et distribué par l'auteur à un certain nombre de savants.

rhombiques; dont les angles diffèrent extrêmement peu de ceux d'une autre forme limite, le prisme droit à base carrée : celles-ci sont donc plésiomorphes, non-seulement entre elles, mais encore avec les substances du système quadratique. L'auteur montre que la même chose a lieu pour les espèces du second et du troisième système, à l'égard de celles du premier. Par exemple, un grand nombre d'espèces rhomboédriques offrent, parmi leurs formes, un rhomboèdre qu'on peut appeler *cuboïde*, parce qu'il diffère très-peu du cube; par là ces espèces s'assimilent non-seulement entre elles, mais encore avec les espèces cubiques proprement dites.

Pour établir les preuves du plésiomorphisme, M. Delafosse compare les espèces directement par leurs formes fondamentales, ou bien il substitue à celles-ci une de leurs dérivées les plus simples. C'est ce second moyen de comparaison qui fait surtout apparaître le phénomène dans toute sa généralité. Après avoir démontré l'existence du fait, il cherche à remonter à ses causes, et il se trouve conduit ainsi à généraliser les idées émises par Laurent à l'occasion du nouveau cas d'isomorphisme qu'il a signalé. Il fait voir ensuite que ce fait, considéré en lui-même et indépendamment des causes qui peuvent le produire, a de l'importance, au point de vue de la chimie et de la minéralogie proprement dite. Avertis de ce fait et de sa grande généralité, les chimistes et les minéralogistes se tiendront désormais sur leurs gardes : ils ne se presseront plus de conclure à l'isomorphisme de deux corps qui leur présenteront des formes analogues; ils éviteront à l'avenir les méprises dans lesquelles les cristallographes sont tombés souvent, pour n'avoir pas assez tenu compte des petites différences d'angles qui existaient entre les cristaux observés, et les formes limites, dont ceux-ci étaient très-rapprochés. Le même fait enfin peut donner la clef de plusieurs phénomènes jusqu'à présent inexplicables, et faire apprécier la valeur de certaines théories ou hypothèses, proposées par des cristallographes, et contestées par d'autres.

Le plésiomorphisme a été, vers le même temps, l'objet d'un autre travail, très-étendu et très-intéressant, dont l'auteur est M. Ladrey, ancien élève de l'École normale, aujourd'hui professeur à la faculté des sciences de Dijon. Ce travail, qui a pour titre, *Recherches sur les relations qui existent entre la composition chimique et la forme cristalline*, a été présenté par lui, comme sujet de thèse, à la Faculté des sciences de Paris<sup>1</sup>. M. Ladrey commence par rappeler les faits généraux, connus jusqu'alors, et qui concernent les rapports de la composition et de la forme; savoir, l'isomorphisme de Mitscherlich, qui nous montre des séries cristallines à peu près identiques dans des substances différentes, mais analogues par leur composition; le dimorphisme du même savant, qui, pour une même substance chimique, nous donne également des séries très-rapprochées, mais appartenant à deux systèmes différents; l'isomorphisme de Laurent, qui nous donne encore des séries jouissant de la même propriété, et appartenant à des systèmes différents comme celles des corps dimorphes. Il passe ensuite à l'étude d'un quatrième fait, qui vient s'ajouter aux précédents pour en compléter la signification, c'est celui du plésiomorphisme, qui consiste dans des substances sans analogie de composition, ayant entre leurs séries cristallines les mêmes relations que celles des corps isomorphes ou dimorphes. La comparaison des séries d'un grand nombre de substances l'a conduit à des rapprochements intéressants. Il fait voir que les diverses séries des corps qui cristallisent dans les cinq derniers systèmes non-seulement peuvent être rattachées les unes aux autres, mais encore à la série régulière, celle du système cubique. Les séries sont analogues, quand leurs formes peuvent se définir par des axes dont les éléments de détermination soient presque les mêmes. Ces analogies sont indépendantes de la composition, en sorte qu'on peut rencontrer des formes très-voisines dans des substances dont la nature

<sup>1</sup> Imprimé à Paris, chez Grapelet, en mars 1852.

chimique est fort différente. Les résultats obtenus par M. Ladrey se résument pour lui dans la loi suivante : les séries cristallines de tous les corps, quelle que soit leur composition, sont très-voisines ; les unes sont régulières, les autres sont des altérations toujours très-faibles de la série régulière. Les conséquences que M. Ladrey a déduites de l'ensemble de ses observations confirment pleinement les résultats auxquels M. Delafosse était parvenu, de son côté, dans son Mémoire sur le plésiomorphisme des espèces minérales.

RAPPORTS ENTRE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET LA FORME MOLÉCULAIRE.

— En se fondant sur ce principe que dans les cristaux la symétrie de la forme extérieure doit être la même que celle de la forme moléculaire, plusieurs savants ont eu l'idée de rechercher la relation qu'on sent bien devoir exister entre cette dernière forme et la composition atomique de la substance, et ils ont essayé de construire géométriquement et mécaniquement la formule qui exprime cette composition, en groupant tous les atomes qu'elle donne sous la forme d'un polyèdre, à centre vide ou à noyau central, qu'on puisse regarder comme la forme représentative de la molécule. Ils ont admis que, dans la structure de ce polyèdre, des atomes de même espèce, ou des groupes d'atomes semblables, doivent toujours occuper des sommets identiques. La symétrie de la molécule étant celle qui caractérise le système cristallin et qui est connue d'avance, sa forme doit être une des formes mêmes de ce système : par conséquent, c'est parmi elles, et naturellement parmi les plus simples d'entre elles, qu'il faut la chercher. Tel est le raisonnement qui a guidé les savants dont nous parlons dans les essais qu'ils ont tentés, pour parvenir à grouper les atomes en molécules, en combinant et mettant d'accord entre elles les indications de la chimie et celles de la cristallographie. C'est ce qu'a fait M. A. Baudrimont, dans le premier volume de son *Traité de chimie*, publié en 1844 ; M. Laurent, dans son *Mémoire sur les types cristallins*, lu à l'Institut en 1845 ; et enfin M. Delafosse, dans un *Mémoire*

présenté par lui à l'Académie en 1848, et intitulé, *Sur une relation importante qui se manifeste en certains cas entre la composition chimique et la forme cristalline*<sup>1</sup>.

Ces diverses tentatives ont pu, dans quelques cas, fournir une solution acceptable du problème qu'il fallait résoudre; plusieurs des résultats ainsi obtenus présentaient même un assez haut degré de vraisemblance, mais ils n'offraient point de certitude absolue, parce qu'on aurait pu les remplacer par d'autres constructions moléculaires tout aussi satisfaisantes. Ce ne sont donc là que des solutions provisoires, de simples vues théoriques, dont on peut se contenter jusqu'au moment où l'on en découvrira de meilleures.

Ampère avait essayé de déterminer les proportions atomiques des combinaisons chimiques d'après certains polyèdres symétriques qu'il regardait comme les formes représentatives de leurs molécules. Mais, dans la construction de ces polyèdres moléculaires, il s'appuyait uniquement sur des considérations puisées dans la théorie des volumes et dans ses propres idées sur la constitution des gaz, et n'a eu aucun égard à la symétrie et à la forme particulière qu'affecte la combinaison quand elle cristallise. M. A. Gaudin s'est proposé de rechercher, comme lui, la forme des molécules chimiques d'après les seules données de la théorie des atomes et à l'aide de certaines idées qu'il s'était faites *a priori* sur la symétrie qui leur est propre. La théorie qu'il a créée ainsi, et à laquelle il a donné le nom de *morphogénie moléculaire*, est fondée sur plusieurs hypothèses et conduit à des conséquences qu'il est bien difficile d'accepter, parce qu'elles paraissent en opposition avec les principes et les faits généralement admis. La symétrie dont il parle n'a rien de commun avec celle dont il est question dans les précédentes recherches sur la forme des molécules : celle-ci est la symétrie même des cristaux, qui l'ont reçue des molécules par transmission; elle est donnée par la nature elle-même : on l'observe, on ne

<sup>1</sup> Ce Mémoire a été imprimé dans les Annales des mines (1<sup>er</sup> cahier de 1851), et dans le tome XIII du Recueil des Savants étrangers.



l'imagine pas. M. Gaudin construit ses molécules d'après des règles arbitraires, sans avoir égard à la forme qu'elles prendront en cristallisant, et il essaye ensuite de les accommoder aux exigences des faits cristallographiques. Nous ne dirons rien de plus sur ce travail, qui a occupé son estimable auteur pendant plus de trente années et qui, dans l'ensemble de ses parties, successivement publiées, attend encore la sanction du corps savant auquel il a été présenté.

ANALYSES DE MINÉRAUX. — On sait que l'établissement des espèces en minéralogie repose sur deux caractères essentiels, la composition chimique et la forme cristalline; un seul de ces caractères peut bien mettre sur la voie des réunions ou des séparations à opérer pour fixer convenablement les limites de ces espèces; mais les deux moyens de détermination ont besoin d'être, en définitive, contrôlés l'un par l'autre. Aussi, convaincus de cette vérité et voulant donner à leurs résultats un plus haut degré de certitude, les minéralogistes se sont-ils empressés de réclamer le concours de la chimie dans tous les cas où la composition des minéraux était encore inconnue ou incertaine. C'est ce qui est arrivé en France à l'un des plus habiles cristallographes de notre époque, M. Descloizeaux, qui, avant de se livrer avec ardeur aux importantes observations dont il a enrichi l'optique minéralogique, avait contribué déjà, par de nombreuses recherches cristallographiques, au perfectionnement de la science des minéraux. Dans le cours de ces recherches laborieuses, poursuivies avec persévérance pendant plus de vingt ans, il a été assez heureux pour rencontrer un collaborateur tel qu'il pouvait le désirer dans un savant d'un rare mérite, M. Damour, si avantageusement connu des chimistes et des minéralogistes par la précision de ses méthodes d'analyse et l'exactitude de ses déterminations, qui font autorité dans la chimie minérale. Cette association a porté ses fruits : on lui doit la détermination rigoureuse et complète d'un bon nombre d'espèces nouvelles, et un autre service non moins important qu'elle a rendu à la science a

été de ramener à d'anciennes espèces des variétés qu'on avait méconnues et qu'on avait cru pouvoir ériger en autant d'espèces particulières.

Les travaux scientifiques de M. Damour ont eu pour principal objet l'étude des minéraux considérés au point de vue chimique; cependant il n'a point négligé d'observer, avec tout le soin dont il est capable, les propriétés physiques importantes, telles que la densité, la dureté, le polychroïsme dans les substances biréfringentes; et les descriptions de minéraux qui accompagnent la plupart de ses analyses sont marquées au coin de la plus parfaite exactitude. Ces travaux, exécutés dans le cours de vingt-cinq années, sont publiés dans les divers recueils que nous avons eu l'occasion de citer si souvent; après avoir obtenu la haute approbation de l'Académie des sciences, ils ont valu à leur auteur le titre honorable de membre correspondant de cette Académie.

Les analyses de minéraux que l'on doit à M. Damour étant au nombre d'environ cinquante, il nous serait impossible de les mentionner toutes. Plusieurs se rapportent à des espèces très-importantes, telles que l'eulase, la cymophane, la diopside, etc. ou à des minéraux entièrement nouveaux, comme la roméine, la faujasite, la brongniardite, la dufrénoysite, la descloizite, etc. Elles lui ont fait découvrir dans le règne minéral environ dix espèces parfaitement définies et tout à fait inconnues jusqu'alors, et reconnaître dans l'une d'elles, la roméine, une combinaison chimique dont on ne connaissait point encore d'exemple, savoir un antimonite de chaux. Elles l'ont conduit en même temps à répandre un nouveau jour sur la composition d'un grand nombre de minéraux, à rectifier ou à simplifier les formules admises avant lui, et par suite à opérer des réunions entre beaucoup d'espèces que les minéralogistes croyaient pouvoir séparer : telle est, entre autres, celle de l'orangite et de la thortite, qui a eu lieu après des recherches analytiques dont un autre résultat important a été de faire rayer de la liste des corps simples un métal que l'on avait admis comme nou-

veau. Enfin elles lui ont indiqué des réactions et des méthodes nouvelles d'analyse, et fourni des caractères nouveaux, propres à distinguer les espèces et à faciliter l'étude des substances minérales.

Dans le cours des recherches dont nous venons de parler, M. Damour a eu l'occasion de faire plusieurs découvertes intéressantes : celle de la tantalite et d'un hydrosilicate de zircon dans les environs de Limoges, celles de la présence du tantale dans un wolfram du même pays, du titane dans un péridot du Tyrol, du platine et de l'étain natif dans les sables aurifères de la Guyane, du diaspore dans les sables adamantifères du Brésil, de plusieurs espèces rares dans une roche des Pyrénées, où l'on était loin de soupçonner leur existence. Ayant examiné un grand nombre d'objets, fabriqués par les Chinois, il a été conduit à distinguer parmi les matières qu'on désigne sous le nom de *jades* deux espèces différentes : le jade blanc, qui est une simple variété de l'amphibole trémolite, et le jade vert, qui est une espèce du groupe des wernérites. En cherchant de même à reconnaître la nature des minéraux travaillés qu'on trouve souvent dans les tombeaux celtiques, il a découvert parmi ces substances une espèce nouvelle, la *callaïs*, qui est un phosphate d'alumine hydraté. Ajoutons encore que M. Damour a publié, en commun avec M. Henri Deville, un Mémoire sur la véritable nature des columbites et sur le *dianium*, qu'on prétendait faire passer pour un nouveau métal; les deux auteurs démontrent dans leur travail l'identité de l'acide dianique avec un des acides du niobium.

Après M. Damour, un des savants français qui ont le plus contribué à enrichir de bonnes analyses la minéralogie chimique est M. Delesse, ingénieur en chef des mines. Ses travaux en ce genre se rapportent, les uns à l'étude des minéraux simples, et le plus grand nombre à l'étude des roches; mais c'est par des recherches de minéralogie pure que M. Delesse a commencé sa carrière scientifique : elles ont eu spécialement pour objet l'examen de substances minérales dont la nature était encore incertaine, ou même tout à fait inconnue.

On doit à M. Delesse les premières analyses exactes de la sismondine et de la greenovite du Piémont, l'examen chimique d'un grand nombre de silicates anhydres, appartenant aux groupes des feldspaths, des micas et des pyroxènes, et la détermination précise d'un minéral micacé, provenant des roches schisteuses de la Bretagne, et dont il a fait une espèce particulière sous le nom de *damourite*. On lui doit aussi l'examen de plusieurs silicates hydratés, faisant partie du groupe des zéolithes, entre autres de la beaumontite et de la haydenite, et, principalement, d'un grand nombre d'hydrosilicates de magnésie, dont la composition était mal connue; de nombreux échantillons de talcs, de stéatites, de chlorites, etc. Dans tous les talcs qu'il a étudiés, il a constaté un fait important qu'on était loin de soupçonner, c'est la présence de quelques centièmes d'eau, qui se trouvent assez fortement retenus dans le minéral pour ne pouvoir s'en dégager complètement qu'à la température du rouge blanc. M. Delesse, par ses travaux d'analyse, a fait connaître encore la véritable composition du dipyre des Pyrénées, d'un péridot à base de fer d'Irlande, de la troostite des États-Unis, etc. et il a reconnu la présence de la krokidolite dans les Vosges.

M. Henri Sainte-Claire-Deville, à l'aide de procédés qui lui sont propres, a constaté la présence de quelques éléments très-rares dans des substances fort communes : du vanadium en quantité notable dans une matière argileuse du midi de la France, qui contient en outre une assez forte proportion d'acide titanique; du niobium et du vanadium dans la cryolithe du Groënland; du vanadium et du molybdène dans le rutile des environs de Limoges; du tellure dans la cécrite de Suède. Il a publié, en commun avec M. Damour, le travail sur les columbites et le dianium, dont nous avons déjà parlé; avec M. Debray, une méthode nouvelle d'analyse pour les minerais platinifères, que les deux auteurs ont appliquée à la détermination exacte de toutes les matières connues qui renferment du platine.

M. Charles Sainte-Claire-Deville, dans le cours de ses études

chimiques des roches volcaniques et d'origine éruptive, a été conduit à faire un grand nombre d'analyses des minéraux qui les composent, et il a eu la bonne fortune de constater le premier un fait important, savoir que l'oligoclase, dont l'existence n'avait été signalée que dans quelques granites de la Suède, pouvait être un des éléments constitutifs des roches volcaniques; il a montré que toutes les variétés de trachyte de l'île de Ténériffe étaient caractérisées par la présence de cette espèce feldspathique. Un autre fait du même genre, et tout aussi nouveau que le précédent, a été de même la conséquence des travaux analytiques auxquels s'est livré M. Charles Deville : c'est l'existence de l'anorthite, jouant aussi le rôle de feldspath dans une lave de l'île de Saint-Eustache. Jusque-là ce minéral n'avait été cité que comme un élément accidentel dans les roches de la Somma; on l'a retrouvé depuis dans les laves des volcans d'Islande. Un troisième fait, non moins remarquable, a été signalé par M. Deville, savoir : l'existence à la Guadeloupe d'une véritable roche trachytique à base de labrador, avec du quartz en excès en grains vitreux.

M. Charles Deville a publié dans les *Annales de chimie*, sous le titre d'*Études de lithologie*<sup>1</sup>, plusieurs Mémoires sur lesquels nous aurons occasion de revenir dans la suite de ce rapport, et qui comprennent un travail de savante critique, où il examine les diverses espèces de la famille des feldspaths, afin de reconnaître celles dont la détermination repose sur des bases solides. Ayant repris par l'analyse, dans les roches mêmes où elles avaient été signalées, les espèces qui lui paraissaient être douteuses, il a été amené par cette discussion à restreindre le nombre des véritables espèces feldspathiques, et à le limiter précisément à celui qu'il avait admis, dès 1845, dans deux notes présentées à l'Académie des sciences<sup>2</sup>. Un des résultats les plus importants de ce travail a

<sup>1</sup> *Annales de chimie et de physique*, rendus de l'Académie, etc. t. XIX, p. 46, 3<sup>e</sup> série, t. XL, p. 257.

<sup>2</sup> *Sur les feldspaths de Ténériffe* (*Comptes*

et t. XX, p. 179).

été la suppression de l'espèce que M. Abich avait établie sous le nom d'*andésine*, parce qu'il la considérait comme l'élément caractéristique des porphyres et trachytes des Andes; on prétendit plus tard l'avoir retrouvée dans les trachytes du Caucase et dans les syénites des Vosges. M. Charles Deville a démontré, par l'examen chimique de nombreux échantillons du porphyre de Marmato en Colombie, que l'élément feldspathique y est souvent altéré, comme il l'est dans les porphyres des Vosges et dans ceux de l'Estérel; ses analyses comparatives lui ont donné des proportions variables de silice, d'alumine, de soude et de chaux, suivant le degré d'altération du minéral; et quand les cristaux étaient brillants et paraissaient intacts, ils lui ont toujours offert la composition de l'oligoclase. M. Deville a tiré de ces recherches la conclusion que l'andésine n'existait pas comme espèce, et qu'elle n'est qu'une oligoclase altérée, un peu plus pauvre en silice et plus riche en chaux, imprégnée d'une petite quantité de carbonate calcaire, ce qui indique que l'altération a été produite par l'action de l'acide carbonique.

Dans ses Études de lithologie, en s'occupant du second type des minéraux, qui selon lui composent essentiellement les roches volcaniques, le type pyroxénique, M. Charles Deville a été conduit à résoudre par leur examen analytique une des questions les plus délicates qu'on ait à résoudre en faisant l'histoire de ces espèces : c'est celle de la présence de l'alumine en quantité notable dans certaines variétés d'amphibole et de pyroxène, tandis que l'absence complète des sesquioxides dans toutes les autres indique suffisamment qu'ils sont étrangers à la véritable composition de ces matières. M. Deville est parvenu à simplifier la formule des variétés, qui semblent faire exception à la loi générale, à l'aide d'une remarque, qu'il a vérifiée avec le plus grand soin, tant sur les nombreuses analyses connues de ces substances, que sur des analyses nouvelles, qu'il a faites dans le but de la contrôler. Si dans une amphibole alumineuse on sépare, avec la totalité de l'alumine, la

proportion de protoxydes nécessaire pour former avec elle un minéral de la formule des spinelles, on trouve que dans le reste l'oxygène de la silice est sensiblement égal au double de celui des bases, c'est-à-dire que l'on retombe alors sur la formule des pyroxènes, que M. Deville regarde comme appartenant aux deux groupes d'espèces, lesquelles n'offriraient entre elles d'autre différence que celle d'un dimorphisme secondaire.

Dans une Thèse fort remarquable, présentée en 1854 à la Faculté des sciences de Paris par M. Lechartier, ancien élève de l'École normale, et préparateur de chimie à la même École, ce jeune savant a été conduit à des explications du même genre, pour rendre compte des variations que l'on observe dans les proportions des éléments, non-seulement des amphiboles et des pyroxènes, mais aussi des staurotides. Ces variations proviennent des impuretés de la substance cristalline, c'est-à-dire de son mélange avec des grains de substances étrangères. Si l'on prend toutes les précautions qu'il indique pour purifier ces matières, toutes les variétés de ces substances présentent alors la même densité, et contiennent la même quantité de silice. Des nombreuses analyses qu'il en a faites, l'auteur conclut que, dans les staurotides l'acide titanique existe d'une manière constante; et que, dans les amphiboles et les pyroxènes, les sesquioxydes, quand ils existent, sont bien dus à la présence d'une substance étrangère, comme l'avait reconnu M. Deville; mais, en ce qui concerne la nature des deux espèces, il arrive à une conséquence différente de celle que le savant académicien avait déduite de ses propres analyses: c'est que le pyroxène et l'amphibole n'ont pas la même composition chimique, et que, dans le premier, le rapport de l'oxygène de la silice à l'oxygène des bases est celui de 2 à 1, tandis que, dans l'amphibole, ce rapport est celui de 9 à 4.

C'est ici le lieu de signaler les importants services qu'a rendus à la science des minéraux un chimiste distingué, qui depuis plusieurs années s'est adonné spécialement à l'analyse des substances

nouvelles ou mal connues : nous voulons parler de M. F. Pisani, à qui l'on doit déjà une trentaine d'analyses fort exactes, et de descriptions très-bien faites, d'espèces ou de variétés qu'il a déterminées ou reconnues le premier. Les résultats de ces intéressantes recherches sont consignés dans les Comptes rendus de l'Académie des six dernières années. Nous ne pouvons mentionner ici que les principaux d'entre eux, et notamment ceux qui consistent dans des déterminations de substances nouvelles, ou des rectifications d'espèces imparfaitement connues.

Les espèces nouvelles, dont on lui doit la détermination, sont : la langite, nouveau minéral des Cornouailles d'un bleu verdâtre, qui est un sous-sulfate de cuivre hydraté, ne différant de la brochantite que par un équivalent d'eau en plus ; la devilline, minéral d'un bleu plus pâle, qui accompagne le précédent, et dont la composition est différente, en ce qu'il contient de la chaux et de l'oxyde de fer ; la chenevixite, autre minéral provenant du même pays, reconnu d'abord comme espèce nouvelle par M. Adam sur un échantillon de sa collection, et déterminé chimiquement par M. Pisani comme un arséniate hydraté de cuivre et de fer ; la kalicine, nouvelle espèce du Valais, qui est un bicarbonate de potasse hydraté, et qui a offert le premier exemple d'une pareille combinaison dans le règne minéral.

Parmi les espèces dont la détermination a été rectifiée ou complétée par M. Pisani, nous citerons le pollux de l'île d'Elbe, substance remarquable par la proportion considérable de cæsium qu'elle renferme ; M. Pisani, qui a fait la découverte de cet élément dans le pollux, a trouvé qu'il ne contenait pas moins de 34 p. o/o de l'oxyde de ce métal nouveau, qui jusque-là s'était montré si rare dans la nature. Nous citerons encore l'uranite d'Autun, que l'on avait regardée comme une isomorphe de la chalkolite des Cornouailles, mais qui en diffère par la forme comme par la composition : elle renferme 12 équivalents d'eau, tandis que la chalkolite n'en contient que 8. Enfin nous mentionnerons, parmi les espèces an-



ciennes, que M. Pisani a reconnues dans des échantillons venus de localités nouvelles, le grenat de l'île d'Elbe, sous forme octaédrique, variété des plus rares; la thulite du Piémont; la carphosidérite du Groënland; la dufrénite du Morbihan; la fibroferrite du département du Gard, etc.

M. Léwy, qui avait rapporté d'un voyage en Colombie de magnifiques échantillons de l'émeraude de Santa-Fé, a publié, après son retour en France, des Recherches sur les caractères physiques, le mode de formation et la composition de cette belle pierre. Au sortir de la mine, et tant qu'elle reste imprégnée de son eau de carrière, elle est très-fragile. Desséchée avec soin, elle dégage encore, mais seulement à la chaleur rouge, 2 p. o/o d'eau et d'une substance organique que M. Léwy croit être un carbure d'hydrogène. Enfin il résulte de ses analyses qu'elle contient de plus, accidentellement sans doute, une petite quantité de soude. On n'avait point encore signalé la présence dans l'émeraude de ces principes, qui semblent indiquer qu'elle a été formée, ou tout au moins modifiée après coup par une dissolution. M. Léwy a recours à l'intervention de la matière organique pour expliquer la coloration de l'émeraude verte, à l'exclusion de l'oxyde de chrome, dont la quantité est toujours infiniment petite, et nullement proportionnée à l'effet qu'on a coutume de lui attribuer<sup>1</sup>.

Il nous serait facile de citer encore d'autres résultats d'une assez grande importance, dont la science minérale est redevable aux recherches analytiques de plusieurs chimistes bien connus; bornons-nous à rappeler ici les noms de MM. Malaguti, Fournet, Nicklès, Terreil, Mène, etc.

<sup>1</sup> *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVI, p. 561.

## MINÉRALOGIE PROPREMENT DITE,

## PARTIES DESCRIPTIVE ET SYSTÉMATIQUE.

DÉTERMINATIONS DES CARACTÈRES CRISTALLOGRAPHIQUES ET PHYSIQUES. — Les premières recherches du savant minéralogiste que nous avons cité si souvent dans ce rapport, M. Descloizeaux, ont eu pour objet la détermination des caractères géométriques et physiques d'un grand nombre d'espèces minérales, pour la plupart entièrement nouvelles ou qui étaient encore imparfaitement connues. Dans ce genre de travail, auquel il s'est livré avec persévérance durant plus de vingt années, M. Descloizeaux s'est acquis promptement la réputation d'un observateur habile et consciencieux, par la précision de ses mesures et par l'exactitude de ses résultats, confirmés depuis par ceux des cristallographes ou des chimistes qui ont étudié après lui les mêmes substances. Nous avons eu déjà l'occasion de signaler les heureux effets de l'association de ses recherches cristallographiques avec les recherches analytiques de M. Damour; elle a eu pour conséquence la publication d'une suite de Mémoires importants, qui sont venus successivement combler de nombreuses lacunes dans la science.

Le nombre des espèces que M. Descloizeaux a soumises ainsi pour la première fois à un examen approfondi, au point de vue cristallographique et physique, est de plus de soixante. La première moitié de ce nombre se rapporte aux déterminations d'espèces nouvelles et aux réunions ou séparations d'anciennes espèces qu'il a opérées seul ou avec la collaboration si éclairée et si active de M. Damour. La seconde moitié comprend toutes les rectifications ou révisions de déterminations anciennes qu'il a jugé convenable d'entreprendre. La plupart de ces recherches ont été l'objet de notices très-intéressantes, publiées de 1845 à 1866, et qui se trouvent répandues dans les Annales des mines, les Annales de chimie et de physique et les Comptes rendus de l'Académie des sciences. Un grand

nombre d'observations de l'auteur, restées longtemps inédites, sont en outre consignées dans le 1<sup>er</sup> volume de son Manuel de minéralogie, ouvrage d'une grande importance, qui a paru en 1862, et sur lequel nous aurons occasion de revenir, parce qu'il mérite une mention toute spéciale. Nous ne parlerons ici que pour mémoire des nombreuses notes détachées, dans lesquelles il a donné la description de formes nouvelles ou de particularités curieuses de cristallisation qu'il a découvertes dans le cours de ses investigations.

On doit à M. Dufrénoy plusieurs déterminations relatives à des minéraux nouvellement découverts, entre autres celle de la forme primitive de la roméine<sup>1</sup>, espèce remarquable établie par M. Dammour d'après la composition qu'il lui avait reconnue par l'analyse. On lui doit la description de la greenovite<sup>2</sup>, qu'il avait d'abord prise pour une espèce nouvelle, mais que les analyses de M. Delesse et les recherches cristallographiques de M. Descloizeaux ont fait rentrer dans celle du sphène, comme simple variété manganésifère; celle de la villarsite<sup>3</sup>, qui est un silicate de magnésie hydraté très-voisin du péridot; enfin celle de l'arsénio-sidérite<sup>4</sup>, nouvel arséniate de fer et de chaux, de la mine de manganèse de Romanèche, près Mâcon. Le même savant a encore publié une note sur le diaspore d'Éphèse, en Asie-Mineure<sup>5</sup>; il décrit avec soin ses cristaux et les compare à ceux de la Hongrie et du Saint-Gothard.

M. de Senarmont a fait connaître une nouvelle espèce d'oxyde antimonique, qu'il a décrite sous le nom d'antimoine oxydé octaédrique, parce qu'elle diffère de l'antimoine oxydé ordinaire par sa forme cristalline, qui est l'octaèdre régulier<sup>6</sup>. La plupart des miné-

<sup>1</sup> *Annales des mines*, 3<sup>e</sup> série, t. XX, 1841.

<sup>2</sup> *Annales des mines*, 2<sup>e</sup> série, t. XXVII, 1840.

<sup>3</sup> *Annales des mines*, 4<sup>e</sup> série, t. I, 1842.

<sup>4</sup> *Annales des mines*, 4<sup>e</sup> série, t. II, 1842.

<sup>5</sup> *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXI, 1850, p. 185.

<sup>6</sup> *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXII, 1851.

ralogistes la désignent aujourd'hui sous la dénomination de *senar-montite*; elle vient de la mine de Mimine, près de Sanza, dans la province de Constantine en Algérie. Sa composition, d'après l'analyse de M. Rivot, est absolument la même que celle du sesquioxyde antimonique, qui cristallise en prismes orthorhombiques. Ce fait a de l'importance, parce qu'il prouve que l'isomorphisme bien connu de l'antimoine et de l'arsenic se continue jusque dans les combinaisons de ces deux métaux, et qu'il nous révèle en outre l'existence dans leurs sesquioxydes d'un nouveau cas d'isodimorphisme.

M. Daubrée a signalé la présence du zircon, de l'axinite et de la datolithe dans les roches des Vosges, et il a fait connaître un nouveau gisement de berthiërite dans cette chaîne de montagnes. Il a reconnu dans les dépôts minéraux, qui proviennent des sources thermales de Plombières, la formation contemporaine de diverses zéolithes (la chabasie, l'apophyllite, l'harmotome, etc.), et celle du spath fluor. Plusieurs savants, M. Nicklès entre autres, avaient déjà constaté que les sources de cette contrée contiennent des fluorures et déposent encore de nos jours de la fluorine.

CLASSIFICATIONS MINÉRALOGIQUES. — Il y a dans ce qu'on peut appeler la philosophie de la science des minéraux deux questions principales, dont la solution est de la plus haute importance : l'une concerne les règles de la spécification des minéraux, et l'autre celle de la classification des espèces. Sur le premier point on est généralement d'accord depuis la publication du grand ouvrage dans lequel Haüy a posé les bases de la science; jusque-là la minéralogie n'avait eu aucun principe pour diriger sa marche : Haüy eut le mérite de donner la première définition précise de l'espèce, et de déterminer les caractères propres à établir l'identité du minéral. Selon lui, l'espèce minérale est la collection de tous les individus qui ont même composition chimique et même forme cristalline, ou, en d'autres termes, qui ont mêmes molécules chimiques et en même temps mêmes molécules physiques et mêmes particules

cristallines. Elle a donc un double caractère, un caractère chimique et un caractère physique ou cristallographique. Cette manière de voir a été généralement adoptée par les minéralogistes français ou étrangers qui sont venus après lui. Mais pour ce qui est de la classification des espèces, la même unité de vues est loin de se rencontrer parmi eux, et ne se retrouve même pas chez ceux qui appartiennent à l'école française, ainsi qu'on le verra par les détails dans lesquels nous allons entrer.

On sait que l'abbé Haüy avait cru devoir adopter pour la formation de genres à la fois chimiques et minéralogiques le groupement des espèces par les bases, ou, pour parler d'une manière plus générale, par les principes électro-positifs. Après lui, Beudant s'appuyant sur la découverte récente de l'isomorphisme, avait, dans la première édition de son *Traité de minéralogie* (en 1824) donné la préférence à la méthode inverse, c'est-à-dire au groupement par les acides ou les principes électro-négatifs; et dans une discussion approfondie il avait fait valoir si bien les avantages de cette nouvelle classification, qu'il eut le bonheur de rallier à son opinion Berzélius et G. Rose, et de leur faire abandonner le groupement par les bases. Après avoir montré que les réunions d'espèces établies d'après l'isomorphisme, sont les plus naturelles de toutes celles qu'on peut former en minéralogie, il faisait voir que la classification par les acides permet de conserver dans leur intégrité le plus grand nombre de ces groupes; tandis que le classement inverse séparerait ces espèces isomorphes et les disperserait dans toutes les parties de la méthode. Plus tard (en 1841), dans son *Cours élémentaire de minéralogie*, il a été plus loin encore dans cette voie<sup>1</sup>, et après avoir fait remarquer que les espèces isomorphes ne résultent pas seulement du remplacement d'une base par une autre, mais aussi de la substitution d'un principe électro-négatif à un autre principe électro-négatif, il montra tout l'avantage qu'il y aurait à placer

<sup>1</sup> Beudant, *Cours élémentaire de minéralogie*, p. 120; Paris, V. Masson, 1841.

les genres isomorphes les uns auprès des autres, et à les fondre même en un genre composé auquel on pourrait donner le nom de tribu. Ce mode particulier de groupement a été réalisé depuis par MM. G. Rose et Dana.

Dans son Tableau de la distribution méthodique des espèces minérales, publié en 1833<sup>1</sup>, Alexandre Brongniart avait, à l'exemple de Beudant, pris l'acide ou l'élément électro-négatif comme principe commun dans la classification des pierres et des sels alcalins ou terreux; mais il n'avait pas cru devoir s'astreindre à suivre une règle unique pour la formation des genres, et il avait adopté le groupement par les bases pour la classe des métaux et des minerais métallifères. Sa méthode offrait donc un caractère mixte, l'auteur ayant voulu qu'elle réunit au moins en partie les avantages qui sont attachés aux deux classifications inverses dont nous venons de parler. Le groupement par les bases, qui lui semblait détruire toutes les analogies, quand on l'applique aux pierres et aux sels, lui paraissait au contraire fort naturel pour les composés dans lesquels les métaux jouaient le rôle d'éléments caractéristiques.

M. Dufrénoy, qui a succédé à Alexandre Brongniart dans la chaire de minéralogie du Muséum d'histoire naturelle, a publié en 1845, dans le second volume de son *Traité de minéralogie*<sup>2</sup>, une nouvelle classification, qui diffère notablement de celle de son honorable prédécesseur. Il partage son opinion en ce point, qu'il ne croit pas nécessaire qu'une classification soit basée dans toutes ses parties sur un même caractère. Comme lui, il admet le groupement par les bases pour la classe des métaux, mais il s'éloigne de Beudant et de Brongniart en ce qu'il a cru devoir l'appliquer aussi aux combinaisons acidifères. Seulement, à l'exemple de Haüy, il met ensemble tous les silicates, et, à la suite de ceux-ci, tous les aluminates. Ce changement apporté à la méthode de Brongniart

<sup>1</sup> Al. Brongniart, *Tableau de la distribution des espèces minérales*, in-8° de 46 p. Librairie Roret.

<sup>2</sup> A. Dufrénoy, *Traité de minéralogie*, t. II, p. 24; Paris, 1845, chez la veuve Dalmont.

et ce retour plus complet à l'ancienne méthode de Haüy ne nous paraissent pas heureux; ils ont l'inconvénient de détruire toutes les associations naturelles d'espèces que la découverte de l'isomorphisme a permis de former, qu'elle a rendues nécessaires, et que les classifications de Beudant et de Brongniart laissaient subsister en totalité ou en partie. On peut encore regretter de voir dans celle de Dufrénoy la classe des métaux venir s'intercaler entre celle des terres et celle des silicates ou des pierres, et celle-ci former une séparation entre la classe des métaux et la classe des combustibles.

M. Adam, qui a formé à Paris une collection minéralogique des plus précieuses, bien connue de tous ceux qui cultivent la science, et où se trouvent représentés tous les minéraux qui ont reçu un nom particulier, s'est constamment occupé du soin d'établir entre leurs espèces un ordre méthodique et en même temps naturel. Frappé surtout des difficultés que l'on éprouve pour donner à celles qui composent la grande famille des silicates une disposition qui permette d'assigner à chacune une place fixe dans la série, il avait, dès 1845, rangé les silicates de sa collection dans un ordre rationnel, qui offre la plus grande analogie avec celui que M. Rammelsberg a adopté quelques années plus tard. Une note, présentée par lui à l'Académie des sciences en 1847, contenait le prodrome de cette remarquable classification, et depuis, un Extrait détaillé de son Tableau minéralogique des silicates a été inséré dans le tome IV du Traité de minéralogie de Dufrénoy (2<sup>e</sup> édition). Les silicates y sont partagés en trois divisions, selon que leurs bases se composent de sesquioxides, de monoxydes ou des deux sortes d'oxydes à la fois; chaque division en outre se subdivise en deux sections: les anhydres et les hydratés. Les espèces sont classées d'après les rapports entre les quantités d'oxygène des diverses sortes de bases et de l'acide, conformément à la loi de Berzélius, celle de la base dans les deux premières divisions étant prise pour unité, et dans la troisième, celle des sesquioxides. La quantité d'oxygène de la

silice vient ensuite, et sa proportion, relativement à celle des bases, détermine l'ordre dans chaque série. Ce mode de classement a le grand avantage d'assigner à chaque espèce une place qui n'est plus arbitraire.

M. Leymerie, professeur à la faculté des sciences de Toulouse, a exposé en 1853, dans le Bulletin de la Société géologique de France<sup>1</sup>, le plan d'une méthode minéralogique qu'il appelle *Wernérienne* ou *éclectique*, et qu'il a appliquée plus tard à la description des espèces minérales dans un ouvrage important qu'il a publié sous le titre de *Cours de minéralogie*, et sur lequel nous aurons bientôt occasion de revenir. M. Leymerie a pris pour base de sa classification l'ancienne méthode de Werner, mais il l'a modifiée de manière à tenir compte des progrès accomplis dans les diverses parties de la science depuis l'époque de ce célèbre minéralogiste, ayant surtout pour but d'établir une véritable alliance entre le principe fondamental de l'école de Werner et celui de l'école cristallographique française. Il donne à cette méthode le nom d'*éclectique*, parce qu'il se sert à peu près de tous les caractères pour fonder les classes, les familles et les genres, changeant de point de vue suivant la nature des minéraux à classer, et plaçant au second rang, dans une partie de la méthode, un caractère qui figurait au premier dans une autre. Cet éclectisme toutefois ne peut s'entendre que dans un sens restreint, l'auteur n'admettant comme caractères minéralogiques, après la connaissance de la substance, qu'il se contente d'emprunter à la chimie, que les caractères qui dérivent des propriétés naturelles, lesquelles se distinguent en essentielles (forme, densité, dureté) et en secondaires (caractères extérieurs proprement dits). Les autres caractères que peuvent fournir les sciences physiques et chimiques, et dont les minéralogistes modernes font un emploi si fréquent, ne sont cités par lui qu'en passant pour ainsi dire et à titre de simples renseignements. Dans sa

<sup>1</sup> *Bulletin de la société géologique*, t. X (2<sup>e</sup> série), p. 107.



manière de voir, le rôle du minéralogiste doit se borner à celui de naturaliste pur, sans empiéter sur ceux du chimiste et du physicien. Il a pour moyen principal d'investigation l'*observation*, et pour instruments ordinaires les *sens*. C'est, comme on le voit, au point de vue de Werner qu'il entend revenir.

M. Leymerie partage les minéraux proprement dits en quatre classes qui correspondent assez bien à celles de Werner et des anciens minéralogistes : les sels et les haloïdes, les pierres, les minéralisateurs et les métaux. Dans la classe des sels, les genres sont fondés sur la composition chimique considérée d'une manière générale : on y voit rapprochées les espèces isomorphes de même acide, comme dans la classification de Beudant; seulement celles qui sont à bases métalliques sont séparées de celles qui sont à bases alcalines ou terreuses. Dans la classe des métaux, les espèces sont groupées en genres, d'après les principes électro-positifs, comme dans les classifications de Haüy, Brongniart et Dufrénoy. Dans celle des pierres, les familles sont établies d'après d'autres caractères, et reproduisent les groupes bien connus des gemmes, des feldspaths, des zéolithes, des minéraux micacés, amphiboliens, talqueux, etc.

L'habile professeur, en créant cette méthode, s'était proposé de conduire ses élèves, par des voies très-simples, à une connaissance générale des minéraux, en leur donnant en même temps les moyens de les reconnaître promptement par l'observation. Il a atteint ce but par la publication de son Cours de minéralogie, qui a déjà rendu et rendra certainement encore de grands services à l'enseignement de la science. Mais ce résultat incontestable ne doit pas faire oublier un autre but plus élevé, auquel tendent tous les naturalistes de nos jours, y compris ceux-là même qui sont sortis de l'école de Werner : c'est de fonder une méthode aussi naturelle que possible, qui ne soit plus exclusive comme toutes les anciennes classifications, mais soit l'expression la plus exacte et la plus complète de tous les rapports résultant de la comparai-

son des minéraux entre eux. C'est ainsi qu'à côté du système de Linné, si simple et si commode pour ceux qui commencent l'étude de la botanique, cette science offre présentement aux personnes désireuses de l'approfondir une méthode qu'on peut dire naturelle, non pas qu'elle le soit complètement, mais parce qu'elle tend de plus en plus à le devenir, à mesure que la science se perfectionne. On a pu distinguer dans le passé plusieurs écoles de minéralogistes, d'après le choix qu'ils avaient cru pouvoir faire de telle ou telle classe de caractères pour établir leurs principes de classification, en excluant tous les autres, ou du moins en ne leur faisant jouer qu'un rôle tout à fait secondaire. La minéralogie s'est donc signalée d'abord par la diversité de ses points de vue et de ses moyens d'étude, et dans chacune de ses phases elle s'est montrée éminemment exclusive; mais aujourd'hui elle nous offre un caractère opposé, elle tend évidemment partout à devenir éclectique. Empruntant à chacune des écoles antérieures ce qui lui appartient en propre, ne négligeant aucun moyen d'investigation lorsqu'il peut être utile, elle multiplie autant que possible ses procédés, au lieu de chercher à les restreindre; et, loin de repousser les secours que lui offrent la chimie et la physique, elle fait appel à tous les savants qui pourraient lui ouvrir encore de nouvelles voies de recherche, persuadée que les diverses sciences doivent se prêter un mutuel appui, et que leurs résultats ne peuvent que gagner en certitude en se contrôlant les uns par les autres. Ce contrôle si précieux a lieu en vertu du principe de la corrélation des caractères, qui correspond dans les minéraux à celui de l'harmonie des caractères chez les êtres vivants.

Dès 1846, M. Delafosse avait proposé, dans le Dictionnaire universel d'histoire naturelle<sup>1</sup>, une nouvelle classification des minéraux, qu'il a développée depuis, et appliquée à l'ensemble des espèces connues dans son Nouveau Cours de minéralogie, publié

<sup>1</sup> T. VIII, art. *Minéralogie*.

en 1860. Cette classification est fondée principalement sur les rapports plus ou moins généraux de la composition chimique et de la forme cristalline; mais l'auteur a eu aussi égard, dans certaines parties de la méthode, aux caractères spécifiques secondaires de la densité et de la dureté, ainsi qu'aux différences d'aspect qui proviennent de la transparence, de l'éclat et de la couleur. On peut aussi, à juste titre, donner à cette méthode le nom d'*éclectique*, non-seulement parce que l'auteur a recours, ainsi qu'on vient de le dire, aux différents ordres de caractères, mais parce qu'il s'est particulièrement attaché à conserver les rapprochements et les groupes qui lui ont paru les plus naturels dans les classifications antérieures, après avoir fait de celles-ci une étude sérieuse et comparative.

En examinant la question relative à la formation des genres et autres divisions supérieures de la méthode, M. Delafosse fait cette remarque, que les espèces minérales ayant deux caractères fondamentaux, l'un chimique et l'autre cristallographique, il en résulte la possibilité d'établir deux et même trois sortes de genres, selon que pour les former on réunira les espèces qui auront de l'analogie sous le rapport de la composition seulement, ou bien sous celui de la cristallisation, ou enfin sous les deux rapports à la fois. Ces trois genres même peuvent exister ensemble, sous la condition de se subordonner entre eux et de se distinguer par des noms différents, tels que ceux d'*ordres*, de *tribus*, et de *genres* proprement dits : ce seront alors comme autant de degrés par lesquels on descendra de la classe ou division la plus élevée, pour se rapprocher progressivement de l'espèce, comme cela se pratique dans les autres parties de l'histoire naturelle.

Un premier genre peut être formé par le rapprochement des espèces qui ont un principe chimique commun, soit la base, soit l'acide ou principe électro-négatif : c'est le genre chimique. Un autre se formera par le rapprochement des espèces qui cristallisent dans le même système : c'est le genre cristallographique. Le genre

chimique se fonde sur une certaine analogie de composition ; le genre cristallographique, sur une certaine ressemblance générale de forme. Mais il est clair qu'on peut encore établir un troisième genre, en réunissant les espèces qui ont entre elles une double analogie de composition et de forme, c'est-à-dire les espèces isomorphes : c'est le genre physico-chimique ou genre minéralogique proprement dit, le plus prochain relativement à l'espèce, et partant le plus naturel. Les genres chimique et cristallographique doivent être subordonnés l'un à l'autre. M. Delafosse prouve que cette subordination doit être telle que le genre chimique domine le genre cristallographique. Les genres chimiques peuvent être établis de deux manières, ou par les bases ou par les acides. L'auteur montre que, dans l'état actuel de la science, le groupement par les acides est préférable, parce qu'il laisse subsister la plupart des groupes qu'indique l'isomorphisme, et que ces groupes sont ce qu'il y a de plus naturel en minéralogie.

En continuant de prendre pour guide l'isomorphisme, on rapproche les genres dont les principes électro-négatifs sont isomorphes, et l'on peut même les fondre en un genre composé, comme Beudant l'avait proposé, et comme l'ont fait les premiers MM. G. Rose et Dana. Ce mode de groupement permet de rapprocher et d'entremêler les espèces de bases différentes qui sont isomorphes par leurs principes électro-négatifs. On voit donc que, dans la classification dont il s'agit, les divisions se fondent sur les ressemblances les plus essentielles, et, comme nous l'avons dit, sur les rapports plus ou moins généraux de la composition et de la forme ; et le problème qui consiste à déterminer une espèce s'y trouve ramené, comme dans la méthode zoologique, à une suite de problèmes ayant pour objet de trouver successivement ses caractères de classe, d'ordre, de tribu, de genre et enfin d'espèce, ce qui nous apprend à connaître le corps, non-seulement en lui-même, mais dans ses rapports avec une foule d'autres.

Dans son Manuel de minéralogie, dont le premier volume a

paru en 1862, M. Descloizeaux a adopté une classification fondée, comme celle de Beudant, sur la réunion en familles des genres qui ont entre eux le plus d'analogie. Ces familles sont décrites d'après le rang que leur type occupe dans la classification de Berzélius. Dans la grande famille des silicates, les espèces sont rangées d'après les rapports qui existent entre les quantités d'oxygène de leurs éléments, comme dans le Tableau minéralogique de M. Adam; mais celles qui offrent entre elles de grandes analogies physiques et chimiques ont été réunies en groupes, tels que ceux des grenats, des feldspaths, des zéolithes, des amphiboles, etc. groupes que l'on retrouve dans la plupart des classifications modernes.

Après les classifications qui se rapportent aux espèces minérales proprement dites, nous mentionnerons ici celles qui sont relatives à leurs éléments chimiques, à cause de l'influence qu'elles ne peuvent manquer d'avoir sur le perfectionnement des premières. On se rappelle les essais de ce genre que l'on doit à Ampère et à Berzélius et qui ont servi de base à plusieurs des méthodes dont nous avons parlé. M. de Chancourtois, professeur à l'École impériale des Mines de Paris, est l'auteur d'un classement naturel des corps simples ou radicaux par un moyen graphique, classement qu'il appelle *vis tellurique*, en raison de la disposition générale sur des hélices de tous ceux qui composent chaque groupe de corps analogues. Cette classification hélicoïdale repose sur les propriétés des radicaux simples évaluées numériquement et condensées pour ainsi dire en des nombres caractéristiques<sup>1</sup>. La disposition de ces radicaux sur la vis résulte de longueurs proportionnelles à ces nombres, mesurées sur chacune des hélices correspondant à un groupe naturel.

L'apparition de ce travail en 1862 a donné lieu à M. Charles Sainte-Claire-Deville de rappeler et de développer de nouveau un

<sup>1</sup> *Mémoire sur un classement naturel des corps simples*, par M. de Chancourtois (Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. LIV, p. 757).

système de classification des corps simples qui offre quelque ressemblance avec celui de M. de Chancourtois, et qu'il avait soumis à l'Académie, en 1855, sous le titre de *Tableau de la répartition des corps simples dans les substances naturelles*<sup>1</sup>. On voit par le nouvel exposé qu'il en donne<sup>2</sup> que son point de départ est tout autre que celui de M. de Chancourtois; au lieu de procéder par analyse, en déduisant les conséquences d'une caractéristique qui résume tous les faits connus, il a recherché, en comparant entre elles toutes les substances minérales, quelles étaient leurs analogies et leurs différences au point de vue des éléments chimiques qui les constituent, et c'est par un procédé synthétique qu'il a obtenu le groupement que l'on retrouve reproduit et développé dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LIV, pages 785 et suivantes.

MONOGRAPHIES. — Sous ce titre, nous réunissons les divers travaux qui ont eu particulièrement pour objet le classement d'une famille importante ou la description de quelque grande espèce. A cette catégorie se rapporte une classification des feldspaths et des minéraux analogues, dont M. Charles Deville a donné une première esquisse, en 1845, dans les *Comptes rendus de l'Académie*<sup>3</sup>, et qu'il a développée plus tard dans un des *Mémoires* publiés par lui sous le titre d'*Études de lithologie*<sup>4</sup>. Dans ce travail M. Charles Deville propose d'adjoindre aux feldspaths proprement dits des espèces qui ont avec eux une certaine analogie de composition, pour en former une famille à laquelle il donne le nom de *type feldspathique*. Il subdivise ensuite le groupe total ainsi formé en deux sous-groupes très-naturels, d'après les relations des quantités d'oxygène dans les trois oxydes dont se composent les espèces. Ces sous-groupes sont ceux des feldspathides et des amphigénides. Il fait voir en outre que toutes les espèces hydratées, que l'on dé-

<sup>1</sup> *Comptes rendus, etc.* séance du 22 janvier 1855.

<sup>2</sup> *Comptes rendus* de 1862, t. LIV, p. 782.

<sup>3</sup> *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XX, p. 179.

<sup>4</sup> Voyez *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, t. XL, p. 257.

signe communément sous le nom de *zéolithes*, peuvent être représentées par un feldspathide ou un amphigénide, plus un certain nombre d'équivalents d'eau.

C'est ici le cas de signaler d'une façon toute particulière un beau Mémoire de M. Descloizeaux, d'une étendue et d'une importance considérables, dont un des minéraux les plus communs (le *quartz* ou cristal de roche) lui a fourni le sujet, Mémoire qui est bien certainement l'étude monographique la plus complète qu'on ait encore accomplie sur une espèce minérale, et qui est regardé par tous les cristallographes étrangers comme un des travaux les plus remarquables dont la minéralogie s'est enrichie depuis longtemps. Sans doute on connaissait déjà les particularités les plus curieuses de l'histoire cristallographique et physique du quartz : Haüy avait signalé à l'attention des minéralogistes la dissymétrie de quelques-unes de ses formes les plus habituelles; Weiss, la marche singulière que suit le développement de ses zones principales; G. Rose, les macles ou groupements par entrecroisement, qui, sous une enveloppe commune, reproduisent si fréquemment la forme des individus réunis. M. Descloizeaux a fait voir que l'étude de cette espèce était loin d'être épuisée. Sa cristallisation, que tout le monde regardait comme très-simple, parce qu'on la jugeait telle d'après la forme dominante, en faisant abstraction des petites facettes qui la modifient et qui y jouent toujours un rôle secondaire, est au contraire une des plus compliquées que l'on connaisse, si l'on tient compte avec M. Descloizeaux de ces facettes subordonnées. Ce savant a remarqué qu'aux variétés provenant de chacune des localités importantes appartiennent des modifications particulières et caractéristiques; leur détermination, faite avec le plus grand soin, l'a conduit à ajouter un grand nombre de formes nouvelles à celles qu'on connaissait déjà, à porter par exemple de seize à soixante le nombre des rhomboèdres, de douze à quarante-huit celui des plagièdres, ces formes dissymétriques dont l'existence est liée à celle du pouvoir rotatoire dans les cristaux de quartz. Le total des mo-

difications ou formes différentes de cette espèce est aujourd'hui de cent soixante-sept, nombre dont n'approche pas même celui des formes du calcaire quand on réduit la série cristalline de cette substance à ses formes élémentaires.

Dans la seconde partie de ce Mémoire, M. Descloizeaux s'occupe de la structure intérieure des cristaux de quartz; il fait voir que cette structure est souvent très-compiquée, et qu'elle rentre dans la catégorie de celles qui se composent de pièces de rapport, si intimement unies entre elles, que les particularités de leur agencement ne se peuvent découvrir sans le secours de la lumière polarisée. Par une heureuse application de la photographie aux objets éclairés par la lumière électrique, il est parvenu à fixer les images des phénomènes curieux qu'il a observés dans une série de figures qui révèlent un grand nombre de faits et de détails importants. Sur le rapport de M. de Senarmont, ce Mémoire a été inséré dans le Recueil des Savants étrangers<sup>1</sup>.

OUVRAGES GÉNÉRAUX. — Parmi les ouvrages d'un caractère général, qui ont paru dans la période de temps, où doit se renfermer notre rapport, nous croyons devoir citer la minéralogie de Beudant, formant la première partie de son Cours élémentaire d'histoire naturelle, et qu'il a publiée en un volume in-12, en 1841. Il ne faut pas confondre cet ouvrage, rédigé de façon qu'il soit entièrement conforme aux programmes d'enseignement de nos lycées, avec le Traité de minéralogie, en deux volumes in-8°, que le même savant a fait paraître de 1830 à 1832. Nous ne le mentionnons ici qu'à cause de la nouvelle application que l'auteur y fait du principe de l'isomorphisme, pour établir, au-dessus des genres chimiques formés par des bases isomorphes, des tribus minéralogiques, comprenant tous ceux de ces genres, qui sont isomorphes entre eux par les principes électro-négatifs. Ce mode de groupement, suivi par plusieurs minéralogistes de nos jours,

<sup>1</sup> Voir le tome XV des *Mémoires des savants étrangers*. Le rapport de M. Senarmont se trouve aux *Comptes rendus de l'Académie*, t. XL, 1855.



comme il a été dit précédemment, réunit la totalité des espèces, qu'on peut dire isomorphes, même celles qui n'auraient entre elles aucun élément commun, mais qui en auraient d'analogues par leur rôle chimique. Ce qui établit en effet la ressemblance des composés, c'est bien moins la nature particulière des composants que le rôle qu'ils jouent dans la combinaison. C'est donc le fait de l'isomorphisme, c'est-à-dire de la plus grande ressemblance possible entre les espèces, qui doit être notre principal guide dans la formation des genres et des ordres minéralogiques.

M. Dufrénoy a publié, de 1844 à 1847, un *Traité de minéralogie* en quatre volumes, dans lequel cet illustre savant a développé ses idées sur une science qu'il avait longtemps professée. Haüy avait fondé la détermination rigoureuse des espèces sur les deux caractères essentiels de la composition chimique et de la forme cristalline; mais il avait trop négligé les caractères extérieurs des minéraux, qu'il rejetait au second ou même au troisième rang. D'un autre côté, Werner avait essayé de mettre ces caractères extérieurs en rapport avec la nature de la substance, mais il n'avait tiré qu'un très-faible parti des caractères cristallographiques, encore peu connus de son temps. M. Dufrénoy a voulu tenir la balance égale entre les principes des deux écoles, afin de conserver à la minéralogie le cachet de science naturelle que Werner a voulu lui donner.

M. Dufrénoy accorde à la chimie une part très-grande dans la classification, ainsi qu'on l'a pu voir dans ce que nous avons dit précédemment de sa méthode; mais il pense que pour la description et la reconnaissance des minéraux il faut avant tout employer les caractères extérieurs, et ne recourir aux caractères chimiques que quand les premiers se montrent insuffisants. C'est dans cet esprit qu'est rédigé le traité dont nous parlons, ouvrage important que l'on consultera toujours avec fruit pour la description détaillée des espèces, et surtout pour ce qui concerne le mode de formation des minéraux, leurs gisements et manières d'être, et les diverses

applications qu'on a faites d'une partie d'entre eux aux besoins et aux usages de la société. L'ouvrage a été imprimé avec luxe, et il contient un grand nombre de figures habilement dessinées, dont les unes sont insérées dans le texte, et les autres réunies sous forme d'atlas. Une seconde édition, revue et considérablement augmentée, a paru par volumes successifs de 1855 à 1859.

M. Leymerie, professeur à la faculté des sciences de Toulouse, est l'auteur d'un Cours de minéralogie en deux volumes, dont le premier a paru en 1857, et le second en 1859<sup>1</sup>. Nous avons eu déjà l'occasion de parler de cet important ouvrage, à propos de la classification que l'habile professeur y développe, et qu'il nomme *méthode éclectique* ou *Wernérienne*. En se plaçant à son point de vue, on ne peut désirer une exposition des principes de la science plus nette, plus rigoureuse, et en même temps plus savante, un plan mieux conçu et plus consciencieusement exécuté. Aussi la première édition du Cours de minéralogie a-t-elle obtenu un grand succès; la seconde est en ce moment sous presse, et déjà même on annonce l'apparition de son premier volume. Cette deuxième édition ne peut manquer d'être accueillie avec la même faveur que la première, et l'ouvrage de M. Leymerie est appelé à rendre de nouveaux services à l'enseignement d'une science dont l'étude est beaucoup trop négligée dans notre pays. Rappelons ici le but particulier que l'auteur s'était proposé en composant cet ouvrage. Voulant lutter contre ce qu'il appelle l'empiétement de la chimie et de la physique sur le domaine de la minéralogie, il a cherché à ramener cette science au point de vue de l'histoire naturelle, et à lui restituer un caractère plus simple et plus pratique, qui soit propre à rendre son étude plus facile, plus agréable, et, en même temps, plus directement utile, sans trop sacrifier de ce que l'on peut appeler son côté vraiment scientifique. Ce but, l'auteur l'a atteint, ou du moins s'en est approché autant qu'il est possible.

<sup>1</sup> A Paris, chez Victor Masson, libraire, place de l'École-de-Médecine, et à Toulouse, chez Édouard Privat, rue des Tourneurs.

Un point suivant lui fondamental, et sur lequel il a insisté tout particulièrement, c'est la distinction qu'on doit faire entre le *minéral* et la *substance*. Celle-ci n'est que la matière avec laquelle la nature fait le minéral, et celui-là, avec ses principaux attributs et ses caractères essentiels ou secondaires, est le résultat de la mise en œuvre de la première. Les principaux attributs sont la substance chimique et la forme cristalline; après eux les caractères les plus importants sont la densité, la dureté et la réfraction.

Un autre traité de minéralogie, composé sur un plan tout différent de celui dont nous venons de parler, et cependant à un point de vue qu'on peut dire aussi éclectique, puisque l'auteur a pris en considération tous les moyens d'étudier les minéraux, à quelque science qu'ils appartiennent, est celui que M. Delafosse a publié en trois volumes, de 1858 à 1862, sous le titre de *Nouveau Cours de minéralogie*<sup>1</sup>. Cet ouvrage est le résumé des leçons que l'auteur a faites pendant un grand nombre d'années, soit comme maître de conférences à l'École normale, soit comme professeur à la Sorbonne ou au Muséum d'histoire naturelle. Le premier volume renferme toutes les généralités relatives aux caractères spécifiques, étudiés surtout dans les variétés cristallines, qui nous offrent le minéral dans son plus grand état de perfection; ce sont en effet ces variétés qui forment le véritable type minéralogique de chaque substance, et c'est sur elles que repose principalement la détermination rigoureuse des espèces. Ce sont elles aussi qui manifestent le mieux les relations existantes entre les différents caractères géométriques, physiques et chimiques, relations qui rappellent la subordination qu'on observe entre ceux des divers organes chez les animaux et les plantes. M. Delafosse s'est attaché surtout à faire ressortir ces rapports, et la partie du volume qui les comprend tous pourrait être considérée comme for-

<sup>1</sup> Paris, Roret, libraire, rue Haute-feuille. Ce traité constitue un ouvrage distinct, bien qu'il fasse partie des *Suites*

à *Buffon*, publiées par la même maison de librairie.

mant une sorte de *Cristallographie comparée*. Ces rapports rendent possible le contrôle des différents caractères les uns par les autres, et c'est là ce qui justifie l'emploi que le plus grand nombre des minéralogistes de l'époque actuelle ont cru devoir faire de plusieurs moyens de détermination inconnus à leurs devanciers. Lors même qu'on les regarderait comme superflus dans le plus grand nombre des cas, comme les caractères essentiels qu'on leur préfère ne se prêtent pas toujours à une détermination rigoureuse, il serait bon dans ces cas douteux de pouvoir recourir à des caractères auxiliaires, capables de suppléer à l'insuffisance des premiers, et c'est ce que l'on fait, au moins provisoirement, jusqu'au moment où les caractères minéralogiques proprement dits auront pu être formulés plus nettement.

Une bonne portion du second volume contient tout ce qui a rapport à la partie systématique, ou à ce qu'on appelle ordinairement la *taxonomie*, et, de plus, tout ce qui concerne le gisement des minéraux, leurs manières d'être dans la nature, leurs modes de formation naturelle et aussi ceux de leur reproduction artificielle. Le reste de ce volume et le troisième tout entier se rapportent à la description, c'est-à-dire à l'histoire proprement dite des espèces du règne minéral. Nous avons dit, dans une autre partie de ce rapport, quels sont les principes admis par l'auteur dans sa classification et toute l'importance du rôle qu'il fait jouer à l'isomorphisme dans ses diverses parties.

Dans l'exposé que nous avons fait des nombreux travaux cristallographiques et physiques de M. Descloizeaux, nous avons annoncé comme le couronnement de son œuvre un ouvrage important, qui contiendra le résumé de tous ses travaux et de plusieurs autres encore inédits. Le premier volume de cet ouvrage a paru sous le titre de *Manuel de minéralogie*. Ce livre, fruit d'un labour incessant de près de sept années, a produit une grande sensation dans le monde savant; il doit être en ce moment entre les mains de tous les minéralogistes et physiciens, à qui il offre

une accumulation véritablement étonnante de matériaux précieux, pour la plupart originaux. Non-seulement cet ouvrage est un des plus importants dont la science minéralogique s'est enrichie depuis l'époque de Haüy, mais on peut dire encore qu'aucun autre de ce genre n'a jamais offert une aussi grande masse d'observations appartenant en propre à son auteur. Abandonnant les routes ordinaires, M. Descloizeaux a su donner à son livre une forme entièrement neuve; la partie cristallographique y est traitée avec un soin tout particulier. Nous en donnerons comme preuve la résolution qu'il avait prise, et qu'il a parfaitement exécutée, de refaire tous les calculs d'angles relatifs aux formes de chaque espèce, afin d'éviter ces discordances choquantes que l'on rencontre trop souvent dans les ouvrages ordinaires, où l'on se borne à rapporter les valeurs d'angles fournies par différents observateurs, sans se soucier nullement de les mettre en rapport avec les données fondamentales.

Nous terminons ici le compte que nous avons à rendre des recherches concernant la minéralogie proprement dite qui ont été entreprises en France depuis une vingtaine d'années. Nous pensons n'avoir omis aucune de celles qui doivent laisser des traces dans la science par le perfectionnement qu'elles auront amené dans quelques-unes de ses parties. En parcourant l'ensemble de ces travaux, d'une nature si variée, et dont l'importance est généralement reconnue et appréciée à l'étranger, on pourra juger combien est grande la part qui revient à la France dans les progrès de tous genres dont la minéralogie est redevable aux savants de notre époque.

FIN.