

LES
FONDATEURS

DE LA
MINÉRALOGIE

PAR
A. F. RENARD

Extrait de la *REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES*, avril 1896.

LOUVAIN
IMPRIMERIE POLLEUNIS & CEUTERICK
30, RUE DES ORPHELINS, 30.

Même maison à Bruxelles, 37, rue des Ursulines.

—
1896

LES FONDATEURS

DE LA

MINÉRALOGIE ⁽¹⁾

Les progrès de la minéralogie sont le résultat de divers modes d'investigation appliqués à l'étude du monde inorganique. Dès le début de la phase scientifique de cette branche de nos connaissances se manifestent trois tendances, nettement caractérisées chacune par leurs méthodes propres de recherche. L'une d'elles poursuit l'étude des *caractères géométriques* et *physiques* des minéraux, qu'elle envisage dans leurs rapports avec les sciences mathématiques. L'autre s'attache à la description des espèces par la méthode propre de l'histoire naturelle comme on la comprenait autrefois, et qui consiste surtout à faire connaître les *caractères externes* tombant directement sous les sens et qu'on peut déterminer presque sans le secours d'appareils. Une autre enfin s'attache spécialement à faire connaître les *caractères chimiques*. C'est par l'action tantôt isolée, tantôt combinée de ces divers modes d'étude que fut édifiée cette science qui comprend dans sa sphère tout un règne de la nature.

Le coup d'œil que nous allons jeter sur l'histoire de la

(1) Conférence faite à la Société scientifique de Bruxelles, dans l'assemblée générale du jeudi 30 janvier 1896.

minéralogie nous permettra d'apprécier l'influence qu'exercèrent les chefs des diverses écoles dont on vient de caractériser les tendances. Nous ne nous attarderons pas à relever les erreurs qui ont entravé les progrès, nous ne nous attacherons pas à l'examen critique des idées spéculatives qui, durant de longs siècles, ont prévalu sur les méthodes scientifiques vraies, nous ferons plutôt ressortir les découvertes saillantes, nous n'enregistrerons que les grands faits de l'histoire de la minéralogie.

La minéralogie, envisagée comme science, n'a pas de lointaines origines ; elle dut nécessairement attendre pour prendre son essor que les sciences physico-chimiques fussent assez avancées pour lui prêter leur appui. C'est vers le milieu du xvii^e siècle qu'on peut placer ses débuts, et c'est dans la dernière moitié du xviii^e que ses lois fondamentales furent découvertes. Nous n'avons donc pas à nous arrêter à exposer les notions plus ou moins exactes que laissent entrevoir les écrits des anciens : ce qui contribua, bien plus que leurs théories sur l'origine et les vertus des minéraux, à pousser la science dans sa vraie voie, ce sont les observations des mineurs qui, pour être toutes pratiques, n'en ont pas moins aidé dans une large mesure à fixer l'attention sur le monde minéral, sur la nature des espèces, sur leurs associations et leur répartition. Il n'est pas même jusqu'au nom de notre science qui ne rappelle cette origine modeste : le mot minéralogie en effet vient de *mina* (filon exploité), et c'est dans l'ouvrage célèbre d'Agricola (1494-1555) *De natura fossilium*, 1546, où sont renseignées toutes les connaissances acquises jusqu'à cette époque par l'exploitation minière de la Saxe, qu'on trouve exprimé, mieux qu'on ne l'avait jamais fait, un ensemble d'indications sur la forme externe, le clivage, la dureté, le poids et l'éclat des minéraux. Dès lors l'élan était donné à la minéralogie descriptive.

C'est plus d'un siècle après les travaux d'Agricola que vient se placer une des premières et des plus importantes

découvertes en cristallographie physique ; elle est due au médecin danois Érasme Bartholin (1625-1698). Dans son ouvrage *Experimenta crystalli disdiaclastici islandici*, 1670, il signale la double réfraction du spath calcaire, reconnaît le solide de clivage de ce minéral, détermine la valeur des angles plans de la face du rhomboèdre, et par le calcul trouve comme angle des arêtes culminantes $103^{\circ}40'$. Il montre en outre que le spath devient électrique par le frottement et qu'il fait effervescence aux acides. Dès 1661, Bartholin avait publié son travail *De figura nivis*, dans lequel il défendait l'idée de Descartes d'après laquelle les cristaux étoilés de neige sont formés par six bulles d'eau congelée, disposées symétriquement par rapport à une bulle centrale.

Bientôt après Chr. Huygens (1629-1695) étudie la marche des rayons réfractés dans la calcite et découvre la construction géométrique déterminant leur trajectoire pour une incidence donnée. Il trouve que l'angle du rhomboèdre de la calcite est de 105° , et il cherche à donner une interprétation du clivage en s'appuyant sur la structure moléculaire des cristaux. Robert Boyle (1627-1691), s'attachant à déterminer la densité des espèces minérales, arrive par ces recherches à une conclusion importante au sujet de la nature du quartz. Par des pesées dans l'air et dans l'eau, il montre que la densité de ce minéral est de $2 \frac{2}{3}$, et ce résultat branle d'une manière définitive l'idée enracinée depuis l'antiquité que le cristal de roche (κρύσταλλος des anciens, eau congelée) n'était autre chose que de l'eau congelée qui avait été soumise à un froid long et excessif : car, fait-il observer, le cristal de roche ne peut être de la glace, celle-ci étant plus légère que l'eau, et ce minéral se trouve à Madagascar et dans d'autres régions de la zone torride.

C'est sur ce minéral, qu'on considérait comme le *cristal* par excellence, que vont porter les investigations du savant danois N. Steno (1638-1687). Ce grand naturaliste, auquel

on doit des observations capitales sur les phénomènes géologiques, qui en font un des fondateurs de cette science, ne s'illustra pas moins par ses découvertes en minéralogie. Dans ses études sur le cristal de roche, Steno décrit les combinaisons ordinaires de ce minéral cristallisé en pyramide hexagonale avec ou sans les faces prismatiques. Ses recherches sont consignées dans son livre célèbre *De solido intra solidum contento dissertatio prodromus* (1669). A l'aide de sections taillées perpendiculairement et parallèlement aux faces des prismes hexagonaux, il fit voir que les angles formés par les faces du prisme et celles de la pyramide restent constants malgré les variations que peut subir la dimension des faces considérées. Il montra que le cristal s'accroît par couches superposées, que c'est surtout sur les faces des pyramides que se fait le dépôt de la couche cristalline, il observa que les faces prismatiques sont striées parallèlement à leurs arêtes de combinaison avec la pyramide. Steno reconnaît que cette superposition de matière cristalline sur le noyau a une épaisseur qui reste la même pour toute la surface d'une même facette, mais que cette addition de matière ne se fait pas d'une manière uniforme sur toutes les faces du cristal. Il peut arriver ainsi que l'axe de la pyramide ne coïncide pas avec celui du prisme, comme il peut se faire aussi que certaines faces de la pyramide soient inégales entre elles, que la forme des triangles et des rectangles soit souvent modifiée et qu'il s'ajoute plus d'angles solides que la forme cristalline normale ne le réclame. Ce savant établit donc pour le quartz une loi fondamentale de la cristallographie qui sera généralisée plus tard : il prouve que, malgré toutes les variations dans la dimension et la forme des facettes, les angles dièdres restent constants pour ce minéral.

Les creux et les aspérités des faces du cristal de roche, leur disposition en gradins, les inclusions de gaz et de liquides, les différences dans la transparence reçoivent de Steno une interprétation rationnelle, et sont rapportés aux

causes qui président à la formation même du minéral cristallisé. Ni le refroidissement, dit-il, ni l'action du feu ne peuvent être invoqués comme cause de la formation des cristaux de quartz ; ils n'ont pas été créés au commencement des choses, mais ils pourraient encore se former aujourd'hui, et comme ils ont cristallisé d'un fluide, il suffirait qu'on connût ce fluide pour pouvoir le dissoudre à nouveau. Ce dissolvant était pour le quartz ce que l'eau-mère est pour les sels qui s'y déposent, et il interprète les cristaux constitués par des couches incolores et des couches d'améthyste comme étant formés de la même manière que des cristaux d'alun à couches diversement colorées.

Telles sont quelques-unes des conclusions auxquelles l'étude des cristaux de quartz avait conduit Steno. Aucune d'entre elles ne fut ébranlée dans la suite ; elles servirent de point de départ aux conclusions plus générales qui furent développées un siècle plus tard ; on peut dire que l'ensemble de ses observations sur la cristallisation du quartz offre une importance capitale et dépasse en portée toutes celles qu'on avait faites avant lui sur les minéraux cristallisés.

Près de vingt ans après l'apparition de la dissertation de Steno, Domenico Gulielmi (1655-1710) publiait en 1688, sur la forme cristalline des sels artificiels, des considérations analogues à celles émises par le savant danois sur le cristal de roche. Il envisage les cristaux comme composés d'un agrégat de particules infinitésimales indivisibles, qui ont une forme cristalline semblable à celle du cristal qu'elles constituent. C'est en quelque sorte le germe de la théorie d'Haüy, qui deviendra la base de la cristallographie rationnelle. Gulielmi admet que chaque sel possède sa forme déterminée et invariable, que le salpêtre n'affecte jamais la forme de l'octaèdre ni celle du cube, que l'alun ne cristallise jamais en parallépipèdes ni en prismes, etc. Il reconnaît donc une forme cristalline propre pour chacun

de ces corps. Il est vrai qu'il ne tient pas exactement compte des formes secondaires, sinon il aurait reconnu comment les faces du cube et de l'octaèdre peuvent s'observer à l'alun et au sel gemme comme faces de combinaison ; mais la notion de la forme géométrique caractéristique avec angles constants revêtue par l'espèce minérale ressort déjà de ces études.

Les observations sur les cristaux artificiels, qui firent surtout l'objet des recherches de Gulielmi, avaient donc mis en évidence que des substances dissoutes peuvent cristalliser en reprenant la forme solide, et que les minéraux cristallisés s'étaient, de même, formés par dépôt d'une solution. On arriva ainsi à admettre comme une loi générale de la nature que les particules d'une substance, rendues mobiles par la liquéfaction, peuvent s'orienter, et que, lorsque le fluide qui les a dissoutes disparaît, elles se groupent en édifices réguliers, en solides terminés par des faces planes. On avait reconnu que la forme de ces solides dépend de la nature de la substance, mais on constatait en même temps que cette dépendance ne se traduisait pas toujours par des cristaux de forme identique, que bien souvent, au contraire, une même substance offrait des cristaux dont les formes étaient différentes d'aspect, dont les facettes n'étaient plus les mêmes ni pour le nombre ni pour la position. Nous verrons bientôt l'interprétation qu'on sut donner de ces apparentes anomalies.

Ces travaux, comme ceux de Linné, dont nous allons parler, se rattachent à la tendance cristallographique. Quoique les considérations géométriques soient encore très élémentaires, on peut dire cependant que c'est aux méthodes mathématiques que s'arrêtaient surtout les savants de cette époque se livrant à l'étude des minéraux. Linné (1707-1778), qui avait divisé le monde inorganique en *Petrae* (roches), *Minerae* (minéraux), *Fossilis* (fossiles), fut conduit à prendre la forme cristalline comme base

d'une classification du règne minéral. Frappé par la similitude des formes qu'affectent certains minéraux, et envisageant les sels comme les générateurs de la cristallisation, il admit que l'union de tel sel avec telle espèce de pierre donnait à celle-ci la propriété de cristalliser sous la forme particulière au sel, qui était pour lui comme le principe fécondant des cristaux. C'est ainsi que Linné considérait le diamant comme une espèce d'alun, parce qu'il cristallisait comme ce sel, et dans sa nomenclature il était désigné comme *Alumen adamas*, alun-diamant. Au fond, l'idée de Linné est empruntée au règne organique ; il transportait au règne minéral le système sexuel dont il avait tiré un parti si ingénieux pour la botanique. Ce que nous venons de dire de son système minéralogique montre à l'évidence qu'il ne repose sur rien de fondé. Mais, quoi qu'il en soit, on doit admirer l'activité de ce grand naturaliste, qui s'est efforcé de classer et de grouper les faits du monde minéral, si éloigné du monde organique dans l'étude duquel il s'était surtout illustré.

Il était impossible du reste, à cette époque, qu'on établît un système des minéraux : on ne connaissait qu'un nombre très restreint d'espèces, et leur composition n'était pas dévoilée, car la chimie, qui devait jouer un rôle important dans la classification, n'était guère plus avancée que la cristallographie. Les idées des alchimistes régnaient encore, les méthodes analytiques étaient plus qu'imparfaites, elles se limitaient à un petit nombre de réactions dues surtout à Boyle, et l'on s'appliquait tout au plus à faire des essais approximatifs de minerais. Mais la tendance chimique ne tarda pas à se prononcer, et ses méthodes d'investigation donnèrent un nouvel élan à l'étude des sciences minérales. C'est un peu plus tard en effet que les chimistes suédois, dont l'influence fut si considérable sur les progrès de la minéralogie, se signalent par leurs découvertes. Dès 1747, Wallerius publie son

système des minéraux, dans lequel les caractères chimiques sont mis en relief, et Axel von Cronstedt (1722-1765) consigne dès 1758 les premiers résultats scientifiques obtenus à l'aide du chalumeau. A partir de ce moment, ce précieux instrument fut appelé à jouer le grand rôle dans la détermination des espèces minérales. Cronstedt établit un système chimique dans lequel chaque classe et chaque ordre sont précédés des caractères qui dépendent de la composition. Son traité de minéralogie est un livre pratique qui contribua beaucoup à promouvoir l'étude de notre science. Mais malgré qu'on doive à Wallerius et à Cronstedt les travaux les plus importants qu'on eût fait jusqu'alors sur la détermination des minéraux par les méthodes chimiques, ils n'ont pas apprécié à leur juste valeur les caractères cristallographiques. Ils les négligèrent à tel point que Cronstedt, l'un des meilleurs esprits du temps, absorbé par les considérations chimiques, envisage les angles et les faces de certaines substances cristallisées comme n'étant soumis à aucune loi.

Ce que nous venons de dire ne s'applique pas cependant aux travaux d'un autre savant suédois, Torbern Bergmann (1735-1784). Dans son mémoire sur le spath calcaire, qui parut en 1773, il montra que la forme externe était reliée par des rapports intimes avec la forme interne ou solide de clivage. Bergmann, ne s'arrêtant pas à la constatation des faits qu'il observe, cherche à pénétrer la constitution intime de la matière cristallisée, et il arrive ainsi à la conclusion que les formes cristallographiques, revêtues par une espèce minérale, résultent de la superposition de plans autour d'une même forme primitive (*forma primitiva*) que lui donnait le solide de clivage. Il ne poussa pas plus loin ; il ne s'occupa pas de la forme de la molécule cristalline, ni des lois qui régissent la variation des lamelles décroissantes. Nous verrons bientôt quel parti Haüy sut tirer d'observations semblables en

les généralisant et déduisant d'elles les principes scientifiques de la cristallographie.

Les travaux de Bergmann dans le domaine de la chimie minérale ont à leur tour une grande portée. Il constate le premier que la température s'abaisse lorsque les sels se dissolvent ; que, lors de la cristallisation, de la chaleur se dégage ; que des cristaux peuvent se produire de solution aqueuse, d'un magma igné et par sublimation. Il tient compte de la dureté et du poids spécifique dans la détermination des espèces. Il enseigne le mode d'attaque des silicates insolubles à l'aide des alcalis ; il introduit dans la chimie analytique la méthode qui consiste à déterminer un élément, non en l'isolant, mais dans une de ses combinaisons bien connues et qui se forme le plus facilement. Les recherches de Bergmann portent le cachet d'un esprit scientifique vrai, se rattachent à la tendance géométrique, physique et chimique, qui domine à l'heure qu'il est les sciences minérales. Elles tranchent à cet égard sur celles de ses devanciers, dont les observations ne portaient que sur un côté de la science ; elles tranchent en particulier sur celles de Werner, le plus illustre représentant de la méthode de l'histoire naturelle appliquée à la minéralogie.

Le mémoire de Bergmann sur le spath calcaire venait de paraître lorsque Werner (1750-1817) publia, en 1774, son travail sur les caractères externes des minéraux (*Von den äusserlichen Kennzeichen der Fossilien*). Cette œuvre présente les qualités remarquables qui ont caractérisé l'enseignement de cet homme célèbre : netteté dans l'expression, sagacité dans la perception des propriétés distinctives, logique dans l'exposition. Les propriétés distinctives des minéraux sont groupées en quatre subdivisions : les caractères externes, internes, physiques et empiriques. C'est aux caractères externes, à ceux pour la recherche desquels nos sens suffisent, que Werner attribue le rôle principal dans la détermination des miné-

raux. Pour ce savant, l'attirail du minéralogiste est des plus simples : tous ses instruments consistent en un couteau, un briquet, une lime, un fer aimanté, une loupe, un flacon d'acide, et si l'on ajoute à tout cela, dit-il, un chalumeau, on est pourvu à l'excès. Les propriétés de la couleur, de l'éclat, de la cassure, de la rayure, de la dureté, etc., sont mises en relief d'une manière remarquable, ainsi que les caractères organoleptiques; tout cela est tracé de main de maître. Mais on n'en peut dire autant de la cristallographie de Werner; elle manque d'exactitude. Il admet sept formes fondamentales : le cube, l'icosaèdre régulier, le dodécaèdre régulier, le parallépipède, le prisme, la table, la lentille. C'est de ces formes qu'il fait dépendre toutes celles que présentent les cristaux des diverses espèces. Quand on se rappelle que l'icosaèdre régulier n'existe pas en minéralogie, non plus que le dodécaèdre régulier, qu'une seule espèce minérale, la calcite, présente jusqu'à cinq des formes fondamentales de Werner, il est inutile d'insister pour montrer les imperfections de ce système cristallographique. Mais par la nomenclature que sut créer le géologue de Freiberg, et en séparant la minéralogie de la géologie, comme il le fit dès ses leçons de 1780, il donna à notre science un champ d'action plus nettement limité et une existence propre ; par son enseignement fécond, par les hommes éminents qu'il groupait autour de sa chaire et qui s'illustrèrent dans l'étude des sciences minérales, il rendit à ces dernières d'inoubliables services.

Au moment où Werner donnait cette impulsion à l'étude des minéraux, et qu'il personnifiait en quelque sorte dans son enseignement la tendance à traiter la minéralogie comme science naturelle, l'école française, dont nous allons signaler la grande influence sur les progrès de cette branche de nos connaissances, suivant une autre voie, aborde d'une manière remarquable l'étude des caractères géométriques.

C'est à Romé de l'Isle (1736-1790) qu'on doit d'avoir ramené la cristallographie à des principes plus exacts : il groupa les cristaux de même nature, choisit pour chaque espèce minérale une forme simple, par des troncutures diverses il en déduisit les autres formes, montra les relations qui unissent toutes celles d'un même groupe. C'est dans son *Essai de cristallographie*, 1772, et dans sa *Cristallographie ou description des formes propres à toutes les espèces minérales*, que sont exposées ses vues. Pour de l'Isle, chaque cristal de la même substance peut être dérivé d'une forme fondamentale qu'il appelle *forme primitive*, dont les angles sont caractéristiques et propres à la substance elle-même. Les formes secondaires sont produites par des modifications sur les arêtes ou les angles solides de cette forme primitive, mais ces modifications sont telles qu'elles s'opèrent en même temps et de la même manière sur tous les angles et les arêtes de la même espèce, c'est-à-dire sur tous les éléments de la forme fondamentale qui sont géométriquement semblables. Ces faces secondaires avaient été déjà observées, mais on les avait envisagées comme étant plus ou moins accidentelles.

Pour établir sa théorie, de l'Isle détermina la forme primitive des substances cristallisées qu'il connaissait, et il trouva dans sa collection de cristaux, la plus belle qui existait alors, les éléments de son travail. Afin de s'aider dans ces recherches, il fit construire par Lermina et Carangeot des modèles en argile des formes qu'il étudiait. Carangeot, voulant atteindre toute l'exactitude possible dans la confection de ces solides géométriques qu'il ne parvenait pas à réussir sans les soumettre à des mesures angulaires, imagina, au cours de son travail, le goniomètre d'application. Ainsi fut mis entre les mains du savant français un instrument, très simple il est vrai, mais suffisamment précis pour lui permettre d'établir, par des déterminations faciles à faire avec cet appareil, la loi que Steno avait découverte au cristal de roche, mais qui

n'avait pas reçu toute sa généralisation. Parcourant toutes les modifications qu'un cristal peut subir par troncature et surtroncature de ses angles solides et de ses arêtes, de l'Isle arrive à la conclusion « qu'au milieu des variations sans nombre dont la forme primitive d'un sel ou d'un cristal quelconque est susceptible, il est une chose qui ne varie pas et qui reste constamment la même dans chaque espèce : c'est l'angle d'incidence ou l'inclinaison respective des faces entre elles ».

Après avoir constaté à l'aide du goniomètre que les angles des faces semblables de la forme primitive sont constants et caractéristiques pour la substance dont il s'agit, il fut conduit à admettre six formes primitives principales, qui soumises à des modifications symétriques donnent naissance à un grand nombre de formes secondaires. Les solides primitifs de de l'Isle sont : le tétraèdre, le cube, l'octaèdre, le rhomboèdre, l'octaèdre à base rhombe, la double pyramide hexagonale. Nous ne poursuivrons pas dans le détail les modifications systématiques auxquelles il soumettait chacune de ces formes fondamentales pour en dériver les solides secondaires ; bornons-nous à indiquer quelques-unes des conclusions principales que de l'Isle fait découler de ses observations. Toute bipyramide peut être accompagnée des faces du prisme, et inversement tout prisme bipyramidé peut se présenter sans les faces du prisme. Un cristal avec faces de prisme, portant des faces de pyramide à une extrémité, serait terminé à l'autre par les mêmes faces si elle avait pu se développer librement. Ainsi, l'existence d'une de ces pyramides nous permet de conclure à l'existence de l'autre. C'est ainsi que de l'Isle arrive à formuler la *loi du parallélisme des faces*. Un cristal présentant des angles rentrants est formé par deux ou plusieurs individus groupés simplement, ou bien la moitié d'un des cristaux à angle rentrant peut être envisagée comme ayant tourné de 180° , l'autre moitié restant fixe. Il exprime donc nettement la

notion de la *macle*, et il en donne un grand nombre d'exemples : c'est ainsi qu'il figure celles du gypse, de l'harmotome, de la staurotide, du feldspath, du spinelle, de la pyrite et de la cassitérite. Il reconnaît les pseudo-morphoses, car il interprète le quartz cubique comme remplissage de vides laissés par la pyrite, la galène ou la fluorine.

L'œuvre de de l'Isle comprend, outre les principes de cristallographie sur lesquels on vient d'insister, la description des espèces, les figures des formes cristallisées, la mesure de leurs principaux angles ; et, pour nous servir des expressions même d'Haüy, sa cristallographie est le fruit d'un travail immense par son étendue, presque entièrement neuf par son objet, et très précieux par son utilité.

Il importe de signaler que toutes les méthodes dont il fut question jusqu'ici sont presque exclusivement descriptives, que toutes les recherches minéralogiques se réduisent à l'observation de l'aspect extérieur des cristaux sans qu'elles établissent des rapports avec la structure interne, sans relier l'ensemble des faits connus par une conception sur l'édifice moléculaire des cristaux. C'est à Haüy que revient l'honneur d'avoir abordé avec succès ce côté élevé des sciences minérales ; mais avant de résumer ses vues, arrêtons-nous pour faire ressortir le concours précieux qu'à cette époque les chimistes ont apporté aux progrès de la minéralogie.

Nous avons dit plus haut qu'on doit à Cronstedt les premières indications scientifiques sur la manière de se servir du chalumeau. A l'époque où nous sommes arrivé, cet instrument était d'un usage constant chez les minéralogistes, et l'on peut avancer que l'application qu'on fit dès lors du chalumeau pour caractériser les espèces eut pour la chimie minérale une portée semblable à celle du goniomètre pour la minéralogie physique. Pour ne citer que les découvertes saillantes de cette période en chimie

minérale, bornons-nous à signaler celles de Klaproth qui, de 1789 à 1803, reconnaît l'urane, la zirconne, le titane, le cérium et caractérise le tellure, celles de Scheele qui, de 1771 à 1781, découvre coup sur coup l'acide wolframique, l'acide molybdique, le manganèse, le chlore, la baryte, l'acide fluorhydrique. Les méthodes d'analyse quantitative, telles qu'elles avaient été préconisées par Bergmann, furent bientôt perfectionnées par des chimistes habiles, à la tête desquels on doit citer Klaproth, Kirwan et Vauquelin. Les travaux de ces maîtres des sciences chimiques contribuèrent dans une large mesure à établir la notion de l'espèce et à préciser les caractères diagnostiques des substances minérales.

Mais au point de vue de notre science, toutes ces recherches s'effacent devant celles d'Haüy, qui viennent en quelque sorte couronner l'édifice élevé durant cette première période de l'histoire de la minéralogie scientifique, et qui se termine vers la fin du XVIII^e siècle. L'œuvre de cet illustre savant dépasse, tant par la portée des déductions que par la profondeur des observations, toutes les découvertes que nous avons signalées jusqu'ici.

L'abbé René-Just Haüy naquit en 1743 à St-Just dans l'Oise, il mourut à Paris en 1822. Ses premiers travaux sur la structure du grenat et du calcaire parurent dans le *Journal de Physique*, en 1782; son mémoire, *Essai d'une théorie de la structure des cristaux*, date de 1784; il publia en 1782 son *Exposition de la théorie de la structure des cristaux*. Son célèbre *Traité de minéralogie* parut dans sa première édition en 1801.

Pour de l'Isle, le choix de la forme primitive, dont il faut dériver toutes celles qu'affecte une espèce minérale, était en quelque sorte arbitraire, car on pouvait prendre comme solide fondamental presque chacune des formes dérivées d'une série, la soumettre à toutes les troncatures systématiques et en obtenir ainsi tous les solides dérivés. Mais on pouvait soulever une objection plus grave : c'est

qu'il avait choisi le cube et l'octaèdre comme formes primitives distinctes, alors qu'ils ne sont en réalité que des termes d'une même série, et qu'on peut les faire dériver l'un de l'autre par des modifications identiques portant sur les mêmes angles. On se refusait à admettre cette science, surtout les naturalistes du temps, qui s'insurgeaient contre la méthode comme la trouvant déjà trop mathématique pour se plier aux faits de la nature. Les découvertes d'Haüy vinrent donner une notion plus exacte de la forme primitive et en rapport avec les résultats de l'observation.

Il est presque inutile de rappeler, tant les faits sont connus, comment Haüy fut amené à ses grandes découvertes. Ayant détaché d'un groupe de calcite un cristal prismatique, ce prisme vint à se briser de façon à montrer sur sa cassure des faces non moins lisses que celles du dehors et qui présentaient l'aspect d'un cristal nouveau tout différent du prisme par sa forme. Le savant français ignorait alors les observations de Bergmann, rappelées plus haut, et qui portaient sur le solide de clivage du même minéral. Haüy étudia les faces nouvelles qu'il obtient en clivant l'échantillon, et découvre qu'elles sont les mêmes que dans le rhomboèdre du spath d'Islande. Il poursuit ses expériences, et de tous les cristaux de calcite il fait sortir toujours le même solide de clivage, quelle que soit la forme externe du solide qu'il clive. Envisageant ce noyau comme forme primitive, il en fait dériver toutes les formes cristallines observées à la calcite.

Haüy constate ensuite l'existence d'un solide de clivage pour un grand nombre d'autres espèces minérales, et il conclut que le noyau obtenu en clivant un minéral est la forme primitive propre de l'espèce. Le choix de cette forme est donc indiqué par la nature ; il n'est plus arbitraire. Les solides de clivage d'un grand nombre de minéraux sur lesquels portèrent ses expériences lui permirent de reconnaître comme formes primitives : le cube, l'octaèdre

régulier, le tétraèdre, le rhombododécaèdre, le rhomboèdre aigu et obtus, l'octaèdre à base rectangulaire ou rhombique, les prismes droits, dans lesquels les arêtes latérales sont perpendiculaires au plan des bases, les prismes obliques, dans lesquels ces mêmes arêtes sont obliques sur le plan des bases, enfin le prisme hexagonal régulier et la double pyramide hexagonale. Soumettant ces solides aux modifications qu'on obtient par les troncutures, les biseaux et les pointements, il en fait dériver toutes les formes secondaires. Il constate que, dans la nature, les modifications sont soumises à des lois dont la première est la *loi de symétrie*, d'après laquelle les modifications se répètent de la même manière et produisent le même effet sur toutes les parties extérieures identiques.

L'existence de cette loi avait été implicitement reconnue par de l'Isle; mais il n'avait vu que le fait, la raison du phénomène lui avait échappé. Nous allons voir comment Haüy arriva à établir les relations mathématiques qui unissent les faces secondaires à la forme primitive et donnent aux premières une direction déterminée. Cette découverte se rattache à sa théorie de la structure des cristaux, elle est le développement logique des études auxquelles il s'était livré sur le clivage.

Nous avons dit qu'en provoquant le clivage d'un grand nombre de minéraux, il avait obtenu des solides polyédriques comme ceux que lui avaient donnés les cristaux de calcite; il avait constaté qu'aussi loin qu'était poussée la division mécanique, ce noyau restait le même, revêtant avec une constance absolue la forme polyédrique du solide de clivage. Puisque l'expérience, poursuivie jusqu'aux limites extrêmes de la division mécanique, donne toujours le noyau géométrique caractéristique de l'espèce, il en conclut que l'élément insécable revêt lui aussi le même caractère géométrique qu'on voit à l'œil nu dans le solide de clivage. Cet élément insécable est la *molécule intégrante* d'Haüy, et il admet que c'est par le groupe-

ment régulier, par l'orientation de ces molécules polyédriques, de même dimension et infiniment petites, qu'est construit l'édifice cristallin; elles forment dans le cristal par leur juxtaposition des files ou rangées rectilignes.

Si nous nous reportons à ce que nous avons dit plus haut en rappelant les expériences d'Haüy sur le clivage de la calcite, on remarquera qu'on arrive à dégager d'une forme secondaire le noyau de clivage ou forme primitive en enlevant successivement des lames du minéral; on peut donc envisager la forme primitive comme déduite de la forme secondaire par l'enlèvement successif de lames; cette forme secondaire est comme édifiée sur la forme primitive par la superposition sur toutes ses faces de lames graduellement décroissantes en étendue, soit de tous les côtés à la fois, soit seulement dans certaines parties. Cet illustre savant chercha à trouver la loi à laquelle obéissent ces *décroissements*, et il put démontrer qu'ils s'opèrent par des soustractions régulières d'une ou de plusieurs rangées de molécules intégrantes parallèles à certaines directions des lames.

Si la conception théorique d'Haüy est vraie, les faces secondaires n'ont donc pas une position arbitraire comme le supposait encore de l'Isle, mais cette direction des facettes est celle qui répond à la soustraction d'un certain nombre de rangées de molécules intégrantes, rangées dont l'épaisseur est mesurée par un multiple d'une de ces molécules. Et de fait, il prouva, en soumettant au goniomètre un nombre considérable de cristaux, que l'inclinaison des faces secondaires sur les faces du solide primitif est telle que le réclame sa théorie, que le nombre de rangées à soustraire au noyau est simple et rationnel et qu'il dépasse rarement le nombre de six.

C'est ainsi qu'il arriva à formuler la *loi des décroissements*, principe de tous les calculs cristallographiques, qui trace les directions que peuvent prendre les facettes secondaires et restreint dans une large mesure les modi-

fications symétriques. Cette loi est généralement désignée aujourd'hui sous le nom de *loi des paramètres*, et en introduisant comme on le fait maintenant la notion des *axes cristallographiques* dont nous allons parler à l'instant, on peut la formuler de la manière suivante : Toutes les modifications susceptibles de se produire sur les arêtes et les angles d'un polyèdre cristallin donné, étant suffisamment prolongées, coupent les paramètres de ce polyèdre à partir du centre dans un rapport rationnel généralement assez simple.

Dès ce moment la cristallographie, la branche la plus importante de la minéralogie, est fondée : elle se présente comme une science immuable quant à ses principes ; sa forme seule sera susceptible d'être modifiée. Il est inutile d'insister sur le parti qu'Haüy sut tirer du caractère cristallographique pour la détermination des espèces minérales et l'influence qu'exercèrent ses découvertes sur la minéralogie descriptive, qui se transforma en ses mains. Il avait ouvert la voie aux recherches vraiment scientifiques de la minéralogie, presque tous ses progrès futurs découleront de l'application rationnelle des principes qu'il a établis et se rattacheront aux lois qu'il a découvertes.

Mais les conceptions théoriques de ce savant sur la forme polyédrique primitive, choisie comme point de départ de l'édifice cristallin, ne furent pas sans soulever des objections. D'abord certains minéraux n'ont pas de clivages distincts, d'autres en ont un ou deux seulement ; or, il en faut trois au moins pour limiter un solide. On attribuait à ces minéraux un solide primitif arbitraire, et rien ne commandait de le choisir comme forme primitive. Une autre objection consistait à dire que, si l'on prend comme point de départ les solides de clivage, certaines molécules intégrantes qui en résultent ne peuvent se ranger sans vides : tels sont l'octaèdre et le tétraèdre ; en effet, les molécules qui ont cette forme doivent par la cristallisation se réunir symétriquement, c'est-à-dire de

manière que les parties semblables de toutes les molécules soient semblablement dirigées. Si l'on cherche à remplir cette condition avec des octaèdres ou des tétraèdres, on doit les disposer de manière à ce qu'ils se touchent par leurs arêtes, et l'édifice moléculaire n'aura aucune stabilité. Une objection plus sérieuse encore est celle qu'on formulait en disant que les lois de symétrie et des décroissances rationnelles trouvaient leur interprétation en prenant comme point de départ, non le solide de clivage, mais toute autre forme de la série cristalline à laquelle appartenait le solide de clivage ou la forme primitive.

Plus tard ces objections seront levées, lorsqu'on substituera dans la conception d'Haüy l'idée de centres de forces sans forme définie, et qu'on mettra ainsi en rapport avec les progrès de la physique moléculaire les idées géniales du législateur de la minéralogie. Mais au commencement de ce siècle, les objections qu'on soulevait conservaient toute leur portée. C'est alors que Ch. S. Weiss (1780-1856), ancien élève de Werner, qui avait suivi les leçons d'Haüy dont il avait traduit le traité de physique et de minéralogie, entreprit de donner une autre forme aux conceptions du savant français. Dans un premier travail, Weiss avait montré que non seulement des directions de clivage étaient parallèles aux faces du solide primitif, mais que le clivage, voilé il est vrai, pouvait se produire suivant des facettes secondaires. Cette objection, ajoutée aux précédentes que nous venons de rappeler, le conduisirent à créer pour l'étude des cristaux un système dans lequel il faisait abstraction de toute hypothèse sur la constitution moléculaire des minéraux cristallisés. Le système cristallographique de Weiss, exposé dans son mémoire *De indagando formarum crystallinarum caractere geometrico principali*, 1809, est purement géométrique. Il introduit la notion des *axes cristallographiques*, et fait voir que les faces du cube, de l'octaèdre régulier, du rhombododécaèdre peuvent se rap-

porter à un système d'axes coordonnés égaux en longueur et se coupant sous des angles droits. Pour la pyramide et le prisme à base carrée, les trois axes sont à angles droits, mais deux de ces lignes seulement sont égales entre elles; pour le rhomboèdre, le prisme hexagonal régulier et la pyramide hexagonale, trois axes sont égaux, situés dans un même plan, également inclinés les uns sur les autres, et le quatrième axe est perpendiculaire sur les trois premiers; pour une pyramide ou un prisme à base rhombe, les trois axes sont perpendiculaires mais de longueur inégale. Weiss montra en outre qu'en prenant sur les axes des longueurs égales à 2, 3, 4, etc. fois la longueur prise comme unité et faisant passer par ces points déterminés des faces cristallines, on obtenait toutes les formes secondaires dont Haüy avait démontré l'existence.

En 1820, Mohs (1774-1839), un des plus brillants élèves de Werner, établit quatre *systèmes cristallins* qui répondent exactement aux subdivisions de Weiss qu'on vient d'indiquer.

Une conception purement géométrique s'est donc substituée aux idées d'Haüy sur la structure des cristaux; mais il est à peine besoin d'ajouter que les lois fondamentales, la rationalité des axes et la constance des angles conservent toute leur valeur. Une nouvelle notion s'introduit vers cette époque: c'est la notion de l'*hémiedrie*. De l'Isle et Haüy avaient envisagé le tétraèdre comme forme primitive; Weiss et Mohs le considèrent comme un octaèdre dont la moitié des faces alternes auraient été éliminées; ils désignent l'octaèdre comme forme holoédrique, le tétraèdre comme hémiedre.

En 1822, Mohs, appliquant le goniomètre à réflexion découvert par Wollaston en 1809 et secondé dans ses observations par Haidinger, arriva par des mesures angulaires plus exactes à affirmer l'existence de deux systèmes de cristallisation qu'on n'avait pas encore signalés jus-

qu'alors. Il constata que certains polyèdres cristallins n'avaient pas les trois axes rectangulaires : une série présentait, en effet, deux axes obliques et le troisième perpendiculaire sur les deux autres, et une troisième série avait les trois axes obliques les uns sur les autres. Placés à la suite des quatre systèmes antérieurement établis, ils constituent le cinquième et le sixième système cristallographique de Mohs. Ces dernières recherches achevèrent de constituer définitivement les systèmes cristallographiques. On doit, en outre, à Mohs d'avoir contribué dans une large mesure à la diffusion de la science minéralogique. Élève de Werner, il mit en première ligne les caractères externes comme l'avait fait son maître ; cependant, comme on vient de le voir, il donna plus de portée que celui-ci à l'étude des propriétés géométriques. Il rendit de réels services en introduisant son échelle de dureté qui a conservé toute son importance pour la détermination des espèces. Fidèle aux traditions de l'École de Freiberg, il en suit la tendance un peu exclusive en établissant son système des minéraux : il ne tient pas compte des caractères chimiques, il s'appuie surtout dans la détermination de l'espèce sur la forme cristalline, le clivage, la dureté, le poids spécifique. Mais ce système tout artificiel et compliqué était condamné à être bientôt abandonné.

La découverte de la polarisation de la lumière trouva bientôt de remarquables applications en minéralogie. En 1819, Brewster (1781-1865) montra que la subdivision en systèmes obtenus par la considération des rapports géométriques pouvait être confirmée par l'étude des propriétés optiques des corps cristallisés. Ce physicien établit, en effet, que tous les corps dont le solide de clivage est un cube, un octaèdre régulier, un tétraèdre ou un rhombodécaèdre, sont sans action sur la lumière polarisée ; que tous ceux dont le solide de clivage est un rhomboèdre, un prisme hexagonal, une pyramide hexagonale, un octaèdre ou un prisme à base carrée ne possèdent qu'un *axe optique* ;

que tous les cristaux dont le solide de clivage est différent de ceux signalés plus haut sont à *deux axes optiques*.

Ce n'est qu'un peu plus tard, en 1833, que de nouvelles recherches sur l'optique des cristaux firent voir que les deux systèmes à axes obliques étaient fondés comme les quatre premiers sur des propriétés spéciales de la structure interne. On montra, en effet, que les solides à deux axes optiques peuvent se subdiviser en trois groupes répondant aux trois derniers systèmes cristallographiques : dans le premier groupe, les bissectrices de l'angle formé par les axes optiques et une troisième ligne normale au plan qui renferme les axes se confondent, quant à la direction, avec les axes cristallographiques (iv^e système) ; pour ceux du second groupe, ces deux bissectrices ne coïncident plus avec les axes cristallographiques (v^e système), et dans le dernier système, les bissectrices et la normale ne coïncident pas avec les axes géométriques du cristal (vi^e système).

Les découvertes qu'on vient de rappeler sont l'une des plus belles conquêtes obtenues par l'application des méthodes géométriques et physiques en minéralogie. Elles seront le point de départ d'études fructueuses qui enrichiront tout à la fois le domaine de cette science et celui de la physique.

Pendant que se développaient ainsi les connaissances relatives à la cristallographie physique et géométrique, et que la minéralogie purement descriptive, quoique toujours trop confinée dans l'étude des caractères externes, faisait faire des progrès incontestables à notre science, la tendance chimique, subissant une vigoureuse impulsion sous l'influence des grands chimistes de l'époque, aidait à combler les lacunes que laissaient exister les méthodes que nous venons de voir appliquer aux recherches minéralogiques, et apportait des données nouvelles sur la composition des minéraux : ces données vont permettre, en faisant entrer en ligne de compte les affinités chimiques, de mieux grou-

per les espèces et d'établir sur ses vraies bases la minéralogie systématique.

Nous avons dit plus haut comment les chimistes suédois avaient largement contribué par leur concours aux progrès des sciences minérales. C'est encore un savant suédois qui joue le rôle principal dans la phase à laquelle nous sommes arrivé. Des observations exactes avaient montré que les éléments se combinent en proportions déterminées ; Berzelius (1779-1848) introduit alors pour chaque corps simple un symbole, qui permet d'exprimer la constitution d'un minéral par une formule. En 1815, il fit connaître son système chimique des minéraux basé sur le principe électro-chimique. Mais le premier essai de classification dut être bientôt modifié, lorsque Mitscherlich vint montrer, par la découverte de l'isomorphisme, que des éléments très différents au point de vue électro-chimique peuvent se remplacer mutuellement sans que les caractères physiques des mélanges soient modifiés d'une manière appréciable à la vue. Sans nier l'importance des découvertes de Berzelius, auquel on doit la connaissance exacte de la composition de tant des minéraux, il n'est pas douteux que la tendance qu'il représentait ne conduisait à rien moins qu'à l'absorption de la minéralogie dans la chimie. C'est ce qu'il exprime du reste d'une manière très nette dans son *Nouveau système de minéralogie* (1819). « La minéralogie considérée en elle-même, écrit-il, n'est qu'une partie de la chimie. Elle ne peut avoir d'autre base scientifique que la base chimique ; toute autre lui est étrangère, lorsqu'on l'envisage comme science ; et si, jusqu'à ce moment, il n'en a pas été certainement ainsi, il faut l'attribuer, d'un côté, au long retard du perfectionnement de la chimie, et de l'autre, à ce que ceux qui ont inventé les systèmes minéralogiques n'avaient pas pénétré avec la même ardeur et la même perspicacité dans le système chimique. »

Ce furent les découvertes d'un autre chimiste, celles de Mitscherlich, qui vinrent démontrer bientôt combien les

idées trop exclusives de Berzelius étaient peu fondées, et prouver comment il est indispensable, tout en tenant un juste compte de la constitution chimique, de faire une large part aux propriétés physiques.

Dès 1815, Fuchs avait signalé que certains éléments pouvaient en remplacer d'autres dans une combinaison ; en 1818, Mitscherlich montra par la découverte de l'*isomorphisme*, qui est comme une généralisation des observations de Fuchs, comment des cristaux peuvent avoir une composition chimique différente et pourtant offrir au point de vue de la forme et des caractères généraux tant d'analogies qu'on peut à peine les envisager comme appartenant à des espèces différentes. Cette découverte prouvait que, sans qu'il y ait identité absolue de matière, il y a cependant identité dans le groupement des atomes, et qu'une loi préside au remplacement des membres de ces groupes. Elle faisait comprendre d'une manière plus large ce qu'on doit entendre par la composition chimique d'un minéral, et ébranlait dans ses fondements le système électrochimique.

Haüy avait déjà reconnu que la calcite et l'aragonite, quoique de même composition, possèdent des formes primitives différentes. Mitscherlich fit voir en 1822 que le soufre cristallisé par fusion et refroidissement se transforme en prismes du système monoclinique, et celui qui cristallise d'une solution concentrée de sulfure de carbone donne des pyramides parfaitement caractérisées du système rhombique. Il avait donc établi le *dimorphisme*, et cette propriété de certains corps fournissait un nouvel argument contre les exagérations de l'école chimique. Ces deux belles découvertes vinrent faire la part légitime aux rivalités qui se traduisaient dans les diverses tendances en minéralogie, et montrer que si la composition doit servir de base à la classification, la forme cristalline et les propriétés physiques sont des éléments dont la considération donne à la minéra-

logie son caractère propre et lui assigne un rang dans les sciences naturelles.

On peut dire que dès ce moment les bases de la minéralogie sont jetées, que les grandes lignes de l'édifice scientifique sont tracées ; son achèvement sera dû à l'action des diverses écoles dont nous venons d'entrevoir les tendances et les résultats fondamentaux ; mais dès ce moment aussi la division du travail se fait sentir, et il serait difficile, sinon impossible, de résumer en un ensemble les découvertes variées qui se sont succédé depuis dans les diverses branches de la minéralogie (1).

(1) Ce coup d'œil sur l'histoire de la minéralogie doit servir d'introduction au *Traité de minéralogie*, en ce moment sous presse, que je publie avec la collaboration de M. le Dr Stöber, répétiteur à l'université de Gand. Dans cet ouvrage, qui comprend la matière des leçons de minéralogie données aux élèves des Écoles spéciales annexées à cette université, nous nous sommes efforcés de tracer un aperçu de l'état actuel de cette science.
