

SOCIÉTÉ FRANÇAISE  
DE  
**MINÉRALOGIE**

EXTRAIT DU BULLETIN N° 3

DU  
TOME IX

SUR LES HYPOTHÈSES DIVERSES PROPOSÉES POUR EXPLIQUER  
LES ANOMALIES OPTIQUES DES CRISTAUX.

Par M. Et. MALLARD

*M*

PARIS  
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ  
A LA SORBONNE  
(LABORATOIRE DE MINÉRALOGIE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES)

1886



BULLETIN  
DE LA  
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE  
Fondée le 21 mars 1878

---

**Sur les hypothèses diverses proposées pour expliquer  
les anomalies optiques des cristaux.**

PAR M. ER. MALLARD.

La discussion qui s'est engagée sur la théorie que j'ai jadis proposée <sup>(1)</sup> pour expliquer les anomalies optiques, si fréquentes dans les cristaux, n'est point encore terminée. J'ai pensé qu'il ne serait point sans utilité pour la science, au risque de répéter trop souvent ce que j'ai déjà dit dans mes publications antérieures <sup>(2)</sup>, de rassembler et coordonner les arguments qui, à mon avis, démontrent l'exactitude de mes idées. Je serai heureux si mes savants contradicteurs veulent bien me faire l'honneur de me répondre en opposant des raisons précises à des arguments précis. L'accord se fera peut-être plus aisément lorsque le champ de la discussion se trouvera ainsi nettement délimité.

I. — RÉFUTATION DES OBJECTIONS FAITES A MA THÉORIE.

J'examinerai d'abord les objections qui ont été faites à ma théorie, à ce qu'on appelle mon hypothèse, bien que je proteste contre cette qualification.

La principale d'entre ces objections, celle qui revient à chaque instant, c'est que, pour les substances pseudo-

(1) *Ann. Mines*, 7, X, 1876.

(2) *Ann. Mines*, 7, X, 1876. — *Bull. Soc. Min.*, 1880-1882.

cubiques qui ont été plus particulièrement le sujet de la discussion, si les propriétés optiques n'ont pas la symétrie cubique, la forme extérieure possède du moins cette symétrie. Or, de quel droit, dit-on, entre ces phénomènes contradictoires, donne-t-on arbitrairement la préférence aux phénomènes optiques pour décider de la symétrie du cristal? Est-il donc permis, pour résoudre une antinomie, d'en supprimer l'un des termes? (1)

L'idée sur laquelle repose cette objection me semble absolument erronée.

En effet, lorsque nous affirmons, d'un corps cristallisé, qu'il est cubique, nous entendons implicitement par là que son édifice moléculaire possède quatre axes de symétrie ternaire, inclinés mutuellement comme les diagonales d'un cube; c'est-à-dire qu'après avoir fait tourner cet édifice de  $120^\circ$  autour d'un de ces axes, il doit nous être impossible de distinguer la première position de la seconde, même en nous supposant armés de moyens assez puissants pour pénétrer dans les arcanes les plus secrets de la constitution de la matière. Il résulte de là, d'une façon absolument nécessaire, que toutes les manifestations, de quelque nature qu'elles soient, de l'activité matérielle d'un semblable édifice doivent admettre la même symétrie autour de ces quatre axes. Si l'une quelconque de ces manifestations n'admet pas cette symétrie, l'édifice moléculaire ne peut pas être dit cubique, puisque le phénomène physique qui en résulte permet de distinguer l'une de l'autre les deux positions que prend successivement cet édifice par une rotation de  $120^\circ$  autour d'un axe ternaire.

Il est bien évident que telle est la seule définition possible d'un édifice moléculaire cubique, et d'après cette définition même, nous n'avons pas à choisir arbitrairement, pour appe-

(1) C. KLEIN. — *Min. Mitt.*, X. — *N. Jahrb.*, 1884, I, 240.

ler ou non un édifice donné du nom de cubique, entre les diverses manifestations de l'activité matérielle de cet édifice; c'est toujours celle qui présentera la moindre symétrie qui dira la vérité, car ce sera le réactif sensible qui aura décelé une dissymétrie que les autres manifestations physiques n'avaient pas réussi à mettre en évidence.

D'ailleurs, pour qu'un cristal ait une forme pseudo-cubique il suffit qu'il possède un réseau dont la maille soit un cube; et pour qu'il en soit ainsi, il suffit que les résultantes des actions qu'une molécule exerce sur les molécules voisines soient égales suivant trois directions rectangulaires. N'est-il pas évident que cette particularité peut être réalisée par des molécules qui ne sont pas constituées identiquement de la même façon suivant ces trois directions rectangulaires, d'où il résultera nécessairement que l'édifice moléculaire n'a point la symétrie cubique?

Quant aux procédés que peut employer un édifice moléculaire pour se limiter extérieurement par un polyèdre plus symétrique qu'il ne l'est lui-même, l'observation des substances pseudo-hexagonales les avait fait connaître aux cristallographes bien longtemps avant mes propres recherches. J'ai eu seulement à montrer que les mêmes procédés de groupement sont mis en œuvre par les cristaux pseudo-cubiques.

Mais, a-t-on dit, les cristaux pseudo-hexagonaux, comme l'aragonite, s'ils s'approchent de la forme hexagonale par la valeur, voisine de  $120^\circ$ , de l'angle des faces  $m$  (110), en diffèrent toujours plus ou moins en réalité. D'autre part, s'ils sont souvent groupés de manière à donner une forme en apparence hexagonale, ils ne le sont cependant pas toujours. Les cristaux pseudo-cubiques, comme la boracite, doivent être au contraire considérés comme réellement cubiques, parce que les angles des faces sont exactement

ceux du système cubique et que de plus ces cristaux ne se trouvent jamais qu'à l'état de groupements.

Il est aisé de répondre à cette objection que beaucoup de substances réellement pseudo-hexagonales, comme la Withérite, l'Alstonite, le sulfate de potasse ne se trouvent qu'à l'état de groupements; que le sulfate de potasse s'approche extrêmement d'avoir un réseau exactement hexagonal, puisque l'angle des faces *m* ne diffère de  $120^\circ$  que de  $24'$ ; qu'enfin d'autre part des substances réellement pseudo-cubiques comme l'amphigène, ont un réseau qui diffère notablement, par la grandeur relative des paramètres, du réseau cubique.

L'analogie est donc complète entre les substances pseudo-hexagonales et les substances pseudo-cubiques.

Une autre objection formulée souvent c'est que, pour beaucoup de substances pseudo-cubiques, l'alun par exemple, on trouve des échantillons agissant sur la lumière polarisée, et d'autres qui, bien qu'ayant la même forme extérieure, sont sans action optique. Souvent aussi, dans le même cristal, se trouvent des parties actives et des parties inactives sur la lumière polarisée. J'ai déjà longuement discuté cette objection. La seule réponse exempte d'hypothèses qu'on y puisse faire, c'est que l'alun est dimorphe, l'une des formes étant hexagonale, l'autre cubique. Pour expliquer ce dimorphisme et le mélange des deux formes dans un même individu cristallin, j'ai proposé d'admettre que la forme cubique est produite par le croisement, d'ordre moléculaire ou à peu près, des quatre orientations possibles de la forme hexagonale. C'est là une hypothèse que je crois hautement vraisemblable, mais qui est indépendante de mon explication des phénomènes optiques anormaux. Je crois être en mesure, comme je vais essayer de le montrer plus loin, de démontrer rigoureusement l'ex-

actitude de cette explication. Je ne puis qu'appuyer l'hypothèse en question, absolument invérifiable en elle-même, sur l'analogie et sur la série des phénomènes.

On a aussi considéré comme contraire à ma théorie le fait que, dans certains cristaux pseudo-cubiques, les grenats et l'analcime par exemple, il y aurait un rapport étroit entre la forme extérieure du cristal et l'arrangement intérieur du groupement (1). Mais il est bien évident que, d'après les lois les plus constantes de la cristallographie on doit s'attendre à observer en effet une certaine influence de l'arrangement intérieur du groupement sur la forme extérieure. La cristallographie géométrique tout entière n'est même que l'étude des influences que l'arrangement intérieur d'une substance exerce sur sa forme extérieure. L'observation en question, en lui donnant même une précision et une netteté qu'elle est loin de posséder, n'est donc en aucune façon contraire à mes idées.

Je mentionnerai encore l'objection tirée du fait signalé par M. Brauns, que pour certaines substances susceptibles de mélanges isomorphes, les cristaux absolument purs n'agissent pas sur la lumière polarisée, tandis que ceux dans lesquels plusieurs substances isomorphes sont mélangées présentent une double réfraction manifeste. Je ne nie pas le fait, qui n'est certainement pas général. Je suis disposé à l'admettre dans un assez grand nombre de cas et pour le mettre d'accord avec ma théorie, il suffira d'admettre que le mélange des substances isomorphes influe sur la production des groupements cristallins.

Cette hypothèse n'est contraire à aucun des faits cristallographiques, bien peu nombreux d'ailleurs, que la

(1) C. KLEIN. — Optische Studien am Granat. — *Kön. Ges. der Wiss. zu Göttingen*, 1882.

A. BEN-SAUDE. — Ueber den Analcim. — *Inaug. diss.*

science a recueillis relativement aux causes qui influent sur la production des macles et par conséquent des groupements cristallins.

La théorie que j'ai proposée, loin d'être en opposition avec quelqu'une des données de la science cristallographique, est donc bien en plein accord avec toutes. Elle est appuyée par les analogies les plus étroites avec les faits les mieux établis. Elle donne enfin de toutes les observations, une explication complète et en quelque sorte mathématique.

D'ailleurs, dans un très grand nombre de cas au moins, elle est plus qu'une simple hypothèse, car elle n'est que la traduction rigoureuse et fidèle dans le langage cristallographique des faits observés.

Lorsqu'on constate, par exemple, que dans le grenat Ouvarowite, dans le grenat Pyrénéite<sup>(1)</sup> et dans la boracite, les diverses parties dont se compose le cristal ont toutes, et dans tous les échantillons, le même ellipsoïde optique, à trois axes inégaux, avec une dispersion cristalline caractéristique du symétrie rhombique, et que ces ellipsoïdes optiques, identiques entre eux, ne présentent, dans un même individu, que six orientations différentes correspondant aux six axes binaires du cube, on ne fait pas une hypothèse, on traduit simplement les faits dans un autre langage, en disant que ces substances sont rhombiques et que les cristaux sont formés par le groupement de six individus orientés suivant les six axes binaires du cube.

Les choses ne paraissent pas avoir, au premier abord, le même caractère d'évidence absolue, lorsque les diverses plages cristallines n'ont pas de propriétés optiques qu'on

(1) Les cristaux de grenat pyrénéite, que m'a signalés M. DES CLOIZEAUX, présentent, avec une rare perfection, le groupement que j'ai étudié pour la première fois dans la boracite. Chaque individu du groupement y est nettement délimité et ne pénètre jamais dans un individu voisin.

puisse faire dériver d'ellipsoïdes identiques. Mais dans ce cas cependant on peut donner à la théorie l'appui le plus solide en montrant que les variations de l'ellipsoïde optique d'une plage à l'autre se déduisent mathématiquement, en vertu des lois que j'ai établies, de la superposition, sui-

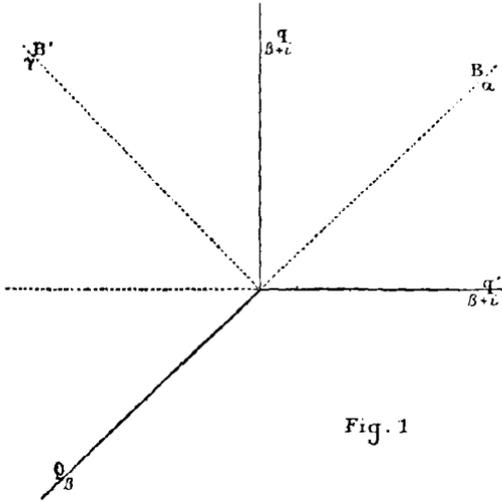


Fig. 1

vant une même direction de propagation lumineuse, d'un certain nombre des orientations propres au groupement considéré.

Dans la Pérowskite, par exemple, lorsqu'on peut isoler les plages d'orientation différente, on constate nettement que dans les cristaux de toutes les provenances, l'ellipsoïde optique possède, comme celui de la boracite, trois axes inégaux dont les deux extrêmes  $\alpha$  et  $\gamma$  coïncident avec deux axes binaires  $B, B'$  du cube (fig. 1), l'axe moyen coïncidant avec son axe quaternaire  $Q$ . Cet ellipsoïde a, dans le groupe-

cider successivement l'un des axes extrêmes  $\alpha$  avec chacun des six axes binaires du cube. L'angle vrai des axes optiques est voisin de  $90^\circ$ , ce qui fait que les axes optiques sont à peu près perpendiculaires aux faces du cube.

Mais les groupements de la Pérowskite sont bien plus intimes que ceux de la boracite et l'on trouve des cristaux qui, sur des faces du cube extrêmement maclées et striées, montrent, en lumière convergente, une bissectrice aiguë avec des axes optiques très rapprochés faisant entre eux un angle très variable d'une plage à une autre et situés dans des plans parallèles à l'un ou à l'autre des côtés du cube. La faible biréfringence, la variabilité de l'écartement des axes, ne laissent pas douter qu'on ait affaire à un phénomène dû au croisement d'orientations cristallines superposées.

Le phénomène est en effet très simplement expliqué en remarquant que si l'on considère l'axe quaternaire  $q$  qui bissecte les axes binaires  $B, B'$  (*fig. 1*), le rayon de l'ellipsoïde optique (1) qui coïncide avec  $q$ , a pour grandeur  $\beta + i$ ,  $i$  étant une quantité assez petite, positive ou négative, qui serait nulle si l'angle des axes optiques était rigoureusement égal à  $90^\circ$ . Le rayon correspondant à l'autre axe quaternaire  $q'$  situé dans le plan  $BB'$  est aussi égal à  $\beta + i$ .

Nous aurons une seconde orientation possible de l'ellipsoïde en le faisant tourner de  $90^\circ$  autour de  $q$ , ce qui amène  $q$  en coïncidence avec  $Q$  et *vice versa*.

La superposition de ces deux orientations, supposées d'égale épaisseur, donnerait, comme ellipsoïde composant, un ellipsoïde de révolution dont l'axe serait  $\beta + i$ , et dont le rayon équatorial serait  $\beta + \frac{i}{2}$ . L'ellipsoïde serait positif ou négatif suivant le signe de  $i$ . Si les orientations ne se

(1) Je désigne par ce nom l'ellipsoïde inverse ou des indices.

superposent pas en égale épaisseur, l'ellipsoïde résultant sera à trois axes inégaux. L'axe dirigé suivant  $q$  aura pour valeur  $\beta + i$ , les axes dirigés suivant  $Q$  et  $q'$  auront respectivement pour valeurs  $\beta + i \frac{m}{m+n}$  et  $\beta + i \frac{n}{m+n}$ ,  $m$  et  $n$  étant deux nombres proportionnels à la somme des épaisseurs respectives de chacune des orientations superposées. L'axe  $q$ , perpendiculaire à la face du cube sera donc toujours une bissectrice ; l'angle des axes optiques autour de cette bissectrice sera d'autant plus petit que  $m$  et  $n$  approcheront davantage d'être égaux entre eux. La bissectrice sera positive ou négative suivant le signe de  $i$ . Le plan des axes sera dirigé suivant  $qQ$  ou suivant  $qq'$ , c'est-à-dire parallèlement aux arêtes du cube (1). C'est précisément ce que l'on observe, et comme d'ailleurs, d'après M. Klein, la bissectrice est négative, on doit en conclure que  $i$  est négatif, c'est-à-dire que la bissectrice aiguë de la Pérowskite est positive.

Prenons encore une autre substance contestée, l'analcime. J'ai montré que tous les échantillons naturels, si l'on néglige une faible dislocation des anneaux, peuvent être considérés comme formés par la pénétration de trois cristaux uniaxes ayant respectivement pour axes les trois axes quaternaires du cube. Si l'on fait entrer en ligne de compte la dislocation des anneaux qui se rencontre d'ailleurs dans presque toutes les substances prétendues uniaxes, j'ai montré que les phénomènes, beaucoup plus complexes, s'expliquent encore aisément en considérant chaque cristal uniaxe comme formé par le groupement plus ou moins intime des quatre orientations que l'on obtient en faisant

(1) On pourrait aussi avoir deux croisements autour de  $Q$ , qui donneraient une bissectrice aiguë dirigée suivant  $Q$ , mais avec des plans d'axes optiques dirigés suivant les diagonales du carré et non suivant les côtés.

tourner de  $90^\circ$  autour de l'axe quaternaire un ellipsoïde optique à trois axes inégaux (4). Ces faits ont été constatés par tous les observateurs. La constance des propriétés optiques et de leur mode de variation permet-elle le plus léger doute sur l'exactitude des conclusions ?

En résumé, la théorie que j'ai proposée il y a dix ans est pleinement d'accord avec toutes les données et toutes les analogies cristallographiques. Dans un grand nombre de cas, c'est-à-dire toutes les fois que les groupements trop multipliés ne s'opposent pas aux observations précises, cette théorie n'est que la traduction rigoureuse des phénomènes cristallographiques et optiques, dont elle donne la loi rigoureuse et mathématique, permettant même d'en prévoir les variations possibles. Je crois donc pouvoir dire que cette théorie n'est pas une simple hypothèse et qu'elle a la valeur d'une loi physique rigoureusement constatée.

On remarquera d'ailleurs, que pour arriver à cette conclusion, je n'ai pas eu besoin de faire appel aux faits nombreux, encore inconnus au moment de la publication de mon mémoire de 1876, qui sont venus donner à mes idées la confirmation la plus éclatante. Je veux parler du fait découvert par moi, que la boracite est rhombique au-dessous de  $265^\circ$ , et cubique au-dessus, ainsi que du fait analogue que j'ai signalé pour le sulfate de potasse.

## II. — RÉFUTATION DES DIVERSES HYPOTHÈSES PROPOSÉES.

Après avoir rappelé sommairement les bases, à mon avis inébranlables, sur lesquelles je m'appuie pour affirmer

(4) Cet ellipsoïde doit appartenir à un cristal clinorhombique et non rhombique, comme je l'ai dit à tort dans mon mémoire (*Ann. Min.*, X, 1876, page 60.) Un cristal rhombique ne donnerait que deux orientations et non quatre autour de l'axe quaternaire. Je profite de l'occasion pour signaler une autre erreur commise dans la *fig. 29, pl. 11*, du même mémoire, où les divisions des secteurs du triangle doivent passer par les sommets du triangle et non par les milieux des côtés.

l'exactitude de mes conclusions, je vais discuter les hypothèses qui ont été imaginées dans le but de donner des anomalies optiques une explication qui permette de conserver aux substances anormales pseudo-cubiques la symétrie cubique qu'on leur attribuait avant mes observations.

Je ferai d'abord remarquer qu'aucune de ces hypothèses n'explique ce qu'il y a de plus saillant dans le phénomène considéré, à savoir la constance des propriétés optiques d'une même substance, qui ne varient point d'un échantillon à un autre ou du moins ne varient que suivant certaines lois précises et que j'ai formulées avec rigueur.

Les hypothèses dont nous avons à nous occuper ne se proposent, en effet, que d'assigner une cause possible à la production de la biréfringence dans un édifice cristallin dont la symétrie est essentiellement cubique. Aucune ne peut expliquer pourquoi tous les cristaux d'alun actif, par exemple, sont formés par l'association de quatre cristaux uniaxes groupés suivant les quatre axes ternaires du cube; pourquoi tous les cristaux de grenat Ouvarowite et de grenat Pyrénéite sont formés par le groupement de six cristaux rhombiques assemblés suivant les six axes binaires du cube, etc., etc.

Je suis donc en droit de dire que ces hypothèses sont toutes impuissantes à donner des faits une véritable et complète explication.

Quant à la cause assignée à la biréfringence des cristaux cubiques, mes contradicteurs croient la trouver dans l'existence présumée de tensions intérieures dans la masse cristalline, tensions auxquelles on assigne d'ailleurs des origines diverses. Je ne rappellerai pas ici les motifs sur lesquels s'est fondé M. Bertrand (1) pour nier que de semblables tensions intérieures, analogues à celles qui existent

(1) *Bull. Soc. min.* 1882. P. 5.

dans le verre trempé, se rencontrent dans les cristaux anomaux. Je me contenterai d'appeler l'attention de mes savants contradicteurs sur une réfutation que je crois péremptoire de l'existence de ces tensions. Je l'ai déjà exposée dans un mémoire ancien (1), sans qu'il y ait été jusqu'ici fait aucune réponse. Je souhaiterais vivement, en la rappelant ici, être cette fois plus heureux.

Lorsqu'on imagine des tensions intérieures pour expliquer la biréfringence d'un cristal unique, on suppose que, si l'on isolait une portion quelconque de la masse cristalline, l'état d'équilibre particulier où elle se trouve dans l'intérieur du cristal ne pourrait être maintenu qu'en exerçant sur sa surface des pressions de grandeur et de direction convenables. C'est la grandeur et la direction de ces pressions qui produit et règle la biréfringence. Or, si nous reportons la portion cristalline que nous venons d'isoler par la pensée, à la position qu'elle occupe dans le cristal, ce seront les portions voisines qui viendront exercer les pressions nécessaires pour le maintien de l'équilibre.

La loi de l'action et de la réaction exige donc que deux portions du cristal séparées par un plan soient, en un point donné de ce plan, soumises à des pressions rigoureusement égales entre elles. Dans un corps, où la biréfringence est due à des tensions intérieures, un plan idéal ne peut donc pas séparer, comme il arrive au contraire dans les macles cristallines, deux plages de propriétés optiques essentiellement différentes; puisque, les pressions réglant les propriétés optiques et réciproquement, il faudrait admettre qu'en un point du plan de séparation la pression exercée sur une plage ne fût pas égale et contraire à la pression exercée sur l'autre.

L'observation vérifie d'ailleurs pleinement cette déduc-

(1) *Bull. Soc. min.* 1880.

tion évidente, car elle montre que, dans les verres trempés par exemple, il y a toujours passage graduel entre les ellipsoïdes optiques propres à chacun des points de la masse.

Si donc, comme cela se présente à peu près dans tous les cristaux dits optiquement anomaux, on trouve des plages de propriétés optiques différentes, séparées les unes des autres brusquement et sans transition par des surfaces nettes, on peut affirmer que la double réfraction n'est pas due à des tensions intérieures, à quelque cause d'ailleurs que ces tensions soient rattachées.

Ainsi non seulement les tensions intérieures n'expliquent pas les phénomènes, mais encore ceux-ci démontrent de la manière la plus incontestable que ces tensions intérieures n'existent pas.

Nous allons maintenant examiner, quoique cela puisse paraître presque superflu, la question de savoir si les tensions intérieures qu'on imagine sont possibles et peuvent être rapportées à des causes admissibles.

L'observation nous montre des corps colloïdaux, tels que le verre, la gélatine, se constituant dans un état d'équilibre spécial, qu'on appelle la trempe, produit par une solidification ou un refroidissement brusque marchant de la surface vers le centre. La trempe engendre dans la masse des tensions intérieures spéciales, variant d'une manière continue, qui produisent une biréfringence souvent très vive. Mais jusqu'ici on n'a pas réussi à communiquer à un cristal par un refroidissement brusque ces phénomènes de trempe qu'on produit si aisément dans le verre. Dans ces conditions les cristaux se brisent, ils se maclent; ils ne se trempent pas. La trempe paraît donc jusqu'ici, dans l'état actuel de nos connaissances, un phénomène absolument spécial aux corps colloïdes et qui ne peut se produire dans les cris-

taux où la position des centres de gravité moléculaires est en effet réglée par des lois précises. C'est donc une hypothèse pure, invraisemblable d'ailleurs et contraire à tous les faits connus, que d'imaginer dans un corps cristallisé un équilibre anomal analogue à celui qu'on observe dans les corps colloïdes trempés (1).

Quelle cause probable d'ailleurs pourrait-on assigner à cette trempe cristalline, en admettant qu'elle pût exister?

Les uns font dériver les tensions intérieures des actions d'intensité maxima qui seraient dirigées, dans un cristal cubique, suivant les axes de symétrie qui se croisent au centre, oubliant que les axes d'un cristal ne sont pas des droites de position fixe, mais de simples directions, et qu'en un point quelconque d'un cristal cubique se croisent les directions de tous les axes de symétrie du cube.

M. C. Klein a supposé pour la boracite que le cristal commence par la formation de parois cristallines limitant des espèces de cellules que la matière cristalline vient remplir ensuite. L'action de ces parois est supposée, sans qu'on en voie bien la raison, exercer sur cette matière cristalline des actions qui produisent des tensions intérieures.

Plus tard, après avoir étudié les propriétés optiques des grenats, et confirmé, en les étudiant, mes propres observations, M. C. Klein crut pouvoir établir qu'il y avait toujours une relation entre la forme extérieure et les propriétés optiques intérieures. Cette relation, d'ailleurs très peu

(1) Il serait à la rigueur possible que des liquides ou des gaz enfermés dans des cavités cristallines sous de fortes pressions, pussent exercer sur les parois de ces cavités intérieures, des pressions capables d'engendrer une certaine biréfringence. Les phénomènes de cette nature se constateraient bien aisément, car la biréfringence serait égale tout autour de la cavité, irait en s'atténuant graduellement à mesure qu'on s'éloignerait de celle-ci. Les directions d'extinction variables en chaque point convergeraient vers le centre de la cavité. Les phénomènes observés dans les substances anormales n'ont aucune analogie avec ceux-là. Je dois d'ailleurs faire remarquer que Klocke a observé qu'autour d'inclusions liquides enfermées dans l'alun ne se produisait aucun phénomène spécial de biréfringence. (*N. Jahrb.* 1880. I.)

précise, n'est nullement en opposition avec ma théorie, comme je l'ai indiqué plus haut; mais elle se retrouve, quoique avec un caractère de netteté tout autre, dans les corps colloïdes trempés. M. C. Klein fut alors conduit à admettre pour les tensions intérieures une cause analogue à celle de la trempe, c'est-à-dire une *solidification* marchant de la surface vers le centre. Voici comment il s'explique sur ce sujet : « Par l'acte de la cristallisation, dans un court instant après la solidification, il se produit une contraction de la masse; et la forme même du corps considéré exerce sur cette contraction une influence qui, sur une surface donnée, suivant la forme qui la limite, suivant la pression qui s'exerce sur elle, suivant la température et la concentration variable de la dissolution, produira des effets différents et qui ne resteront les mêmes que lorsque les conditions resteront les mêmes. La structure moléculaire correspondant au système régulier ne pourra pas subsister sous l'influence de ces facteurs de perturbation. »

Je ne suis pas très certain de bien saisir la pensée de M. Klein; il me semble cependant que si l'on admettait des actions de la nature de celles qu'il imagine, mais dont la définition physique m'échappe, tous les cristaux sans exception devraient être trempés.

M. Brauns a supposé, dans un travail que j'ai déjà discuté à un autre point de vue, que les tensions intérieures pouvaient être produites par les actions qu'exercent les unes sur les autres des molécules différentes, mais isomorphes, se mélangeant dans un même cristal. De semblables actions sont absolument hypothétiques et, si elles existaient, il nous serait tout à fait impossible de dire quels phénomènes elles produiraient. L'existence de ces actions n'est-elle pas d'ailleurs suffisamment contredite par l'exem-

ple de substances qui, formées de mélanges isomorphes, ne montrent aucune trace de phénomènes optiques anormaux.

Tout nous conduit donc à rejeter absolument l'hypothèse des tensions intérieures cristallines, qui sont impuissantes à expliquer les faits, dont la non-existence dans les cristaux est, dans beaucoup de cas, péremptoirement démontrée et auxquelles il paraît impossible d'assigner une cause vraisemblable.

*Idées nouvelles émises par MM. Klein et Rosenbusch.* — Je terminerai en disant quelques mots des idées qui ont été émises dans ces derniers temps sur le sujet qui nous occupe, par deux savants éminents, MM. C. Klein et Rosenbusch.

A la suite de mes observations touchant l'action que la chaleur exerce sur la boracite, M. C. Klein fut conduit à modifier assez profondément les idées qu'il avait auparavant émises sur le même sujet.

« Il se produit, dit-il (dans la boracite), à l'origine un édifice de forme cubique avec un arrangement correspondant des molécules. Cet arrangement ne persiste pas lorsque la température s'abaisse; la position des centres de gravité change alors et devient rhombique.

» Cette vue n'est plus aussi différente qu'autrefois de celle de Mallard, mais elle s'en distingue toujours en cela qu'elle considère l'état actuel de la boracite comme une espèce de paramorphose, tandis que Mallard le considère comme normal et originaire. »

En d'autres termes, M. Klein persiste à considérer comme cristallographiquement impossible qu'une substance rhombique puisse, en cristallisant et grâce à un groupement approprié, prendre une forme extérieure cubique. Il est donc amené à supposer qu'un cristal de boracite a été formé par un édifice cristallin réellement cubique. Ce ne serait que

plus tard, secondairement, par une sorte de paramorphose et parce que l'édifice cubique ne peut subsister à une température inférieure à celle de la formation du cristal, que cet édifice deviendrait rhombique en gardant la forme cubique qui ne convient plus à son nouvel état. Les cristaux de boracite seraient donc *primitivement* cubiques et *secondairement* rhombiques. Partant de là, M. C. Klein voit même dans les propriétés thermiques de la boracite la condamnation de mes propres idées : « L'hypothèse de Mallard au sujet des cristaux anomaux, dont les propriétés optiques s'expliquent en grande partie comme pour la boracite, et non pas en les considérant comme formés originairement de parties de symétrie inférieure, est, à ce qu'il me semble, réfutée par sa propre découverte du dimorphisme de la boracite. »

Je ne crois pas que mon savant contradicteur puisse considérer lui-même son idée comme autre chose qu'une hypothèse, car nous ne savons ni l'un ni l'autre dans quelles conditions et à quelle température a cristallisé la boracite, quoiqu'il paraisse difficile d'admettre que la boracite ait cristallisé au milieu du gypse à une température supérieure à 265°. La prétendue impossibilité cristallographique qui est le seul appui de l'hypothèse fort invraisemblable de M. C. Klein est d'ailleurs admise, mais non démontrée. L'exemple du sulfate de potasse qui prend sous nos yeux une forme hexagonale avec un édifice rhombique, suffirait au besoin à montrer, comme l'a déjà dit M. Baumhauer (*Groth's Zeitschrift*), que cette impossibilité n'existe pas.

J'ajouterai encore qu'il ne suffit pas, pour expliquer les faits, d'admettre qu'à une certaine température la boracite passe de la symétrie cubique à la symétrie rhombique en gardant sa forme extérieure. Il faut encore expliquer le rapport étroit qui existe entre l'orientation des axes cris-

tallographiques du cristal rhombique et celle des axes du cristal cubique. Il est extrêmement remarquable, en effet, et j'appelle sur ce point toute l'attention de mon savant contradicteur, que le cristal rhombique n'a que six orientations différentes, réglées par les six directions des axes binaires du cube. Comment ce fait, qui est capital dans la question, peut-il s'expliquer avec la paramorphose de M. Klein ?

M. Rosenbusch paraît avoir été frappé surtout du désaccord qui existe entre les divers observateurs au sujet du genre réel de symétrie que les propriétés optiques de l'amphigène doivent faire attribuer à ce minéral. D'après les propriétés cristallographiques, M. Vom Rath avait fait l'amphigène quadratique; d'après les mêmes propriétés, je l'avais fait rhombique pseudo-quadratique, tout en ajoutant que les propriétés optiques ne paraissaient pas compatibles avec une symétrie plus élevée que la symétrie clinorhombique. MM. Fouqué et Michel Lévy déduisirent de mes propres observations optiques que la symétrie devait être anorthique. Enfin, après une étude très approfondie, au cours de laquelle il découvrit que l'amphigène comme la boracite devient cubique à une température élevée, M. Klein admet que l'amphigène, à la température ordinaire, est rhombique à la fois optiquement et géométriquement, tout en admettant que cette symétrie rhombique est, comme pour la boracite, secondaire et due à une sorte de paramorphose.

M. Rosenbusch, s'appuyant sur le peu de netteté des cristaux d'amphigène, les considère, à la température ordinaire, comme n'étant pas, à proprement parler, des cristaux, mais comme se trouvant dans un certain état de tension produit par le passage de l'état cubique originaire à un état cristallin stable encore inconnu. D'après lui cette

idée serait appuyée par l'observation suivante, curieuse en elle-même.

M. Rosenbusch vise avec un microscope une face d'un cristal d'amphigène vivement éclairée; il porte le cristal à une température à laquelle il est cubique, suivant les observations de M. Klein, et, grâce à la lumière réfléchie par la face du cristal, il constate que pendant le refroidissement il se produit des macles sur cette face. Ces macles sont parallèles aux plans  $b^1$  (110) du cristal cubique.

« Il me paraît, dit M. Rosenbusch, résulter de ces faits que la production des lamelles suivant (110) est causée par le mouvement des molécules cristallines suivant les plans rhombododécaédriques considérés comme plans de glissement. Ce mouvement engendre des tensions qui résultent du passage, devenu nécessaire à basse température, de l'amphigène à un nouvel arrangement moléculaire encore inconnu. »

Il me semble que les choses sont beaucoup plus simples.

L'amphigène se comporte exactement comme la boracite, sauf la température plus élevée du point de changement de symétrie cristalline. L'amphigène est, comme la boracite, cubique à haute température, rhombique à basse température. Pendant le refroidissement, il se produit dans les deux substances des macles régulières. La production de lamelles hémitropes paraît seulement plus facile et plus abondante dans l'amphigène, ce qui empêche d'étudier commodément les propriétés optiques. Quant à l'hypothèse que la production de macles artificielles engendre des tensions irrégulières, elle est catégoriquement démentie par ce qui se passe lorsque de semblables macles se produisent, soit sous l'influence d'une pression extérieure comme dans la calcite, soit sous l'influence d'un refroidissement brusque comme dans la boracite.

Il n'est donc aucunement besoin d'imaginer pour l'amphigène, un état cristallin inconnu qui ne se manifesterait qu'à très basse température, tandis qu'à la température ordinaire la substance se trouverait dans un certain état impossible à définir avec précision.

En résumé, je crois pouvoir dire que la théorie développée par moi il y a dix ans, pour expliquer les prétendues anomalies optiques de cristaux et que j'avais appuyée sur des faits nombreux, a reçu, de la discussion à laquelle elle a donné naissance et de travaux nombreux qu'elle a provoqués, une décisive confirmation.



---

PARIS, IMPRIMERIE CHAIX (S.-O.). — 0336-6.

---