

couleur, ne dépend que de l'épaisseur traversée et nullement de la direction des vibrations. Des plaques de même épaisseur, taillées en sens quelconque dans un même morceau d'un corps isotrope homogène et éclairées normalement, offriront toutes la même coloration.

**Polychroïsme.** — Il n'en saurait être de même pour les corps anisotropes. L'absorption y varie, pour une même épaisseur, avec la vitesse de propagation des vibrations, vitesse variable, comme on sait, suivant la direction. Ainsi les deux rayons, auxquels donne lieu la biréfringence, ne se propageant pas aussi vite l'un que l'autre, sont inégalement absorbés, et cette différence d'absorption change suivant le sens des vibrations. Pour chaque direction des rayons transmis, l'œil perçoit une couleur qui résulte de la combinaison des deux absorptions propres aux deux rayons réfractés. Il peut arriver que les teintes ainsi perçues diffèrent sensiblement les unes des autres. Tel est le cas de la cordiérite ou dichroïte, dont un cristal donné se montre d'un beau bleu dans un certain sens, d'un bleu pâle dans une autre direction perpendiculaire à la première et d'un gris jaunâtre dans une troisième direction, à angle droit sur les deux autres. Ce phénomène a reçu le nom de *dichroïsme*. Mais c'est en réalité un *polychroïsme*, car il y a autant de nuances que de directions de transmission. Seulement ces nuances, composées par la combinaison de deux absorptions, sont rarement assez différentes pour qu'on s'en aperçoive à l'œil nu. Pour les mettre en évidence, on se sert de l'appareil appelé *loupe dichroscopique*. Cet appareil isole, mais en les juxtaposant, les deux images d'une même ouverture, aperçues à travers un cristal biréfringent, et permet d'apprécier la plus petite différence dans leur coloration.

Il faut remarquer que le polychroïsme n'a rien de commun avec la *double coloration* que présentent certaines substances. Ainsi la fluorine est souvent verte par *réflexion* et bleue par *transmission*. On comprend la différence de ce fait avec le vrai polychroïsme, uniquement fondé sur ce que la différence d'absorption des deux rayons réfractés varie avec la direction qu'ils suivent.

## CHAPITRE DEUXIÈME

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DIVERSES. GROUPEMENTS  
CRISTALLINS. CRISTALLOGÉNIE

## § 1

ACTION DES PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES, DE LA CHALEUR  
ET DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES CRISTAUX.

**Cohésion, Clivage.** — De même que les propriétés optiques, toutes les propriétés physiques, quelle qu'en soit la nature, sont ordonnées, dans les cristaux, conformément au degré de symétrie. Seulement, il en est plusieurs dont la distribution est, si l'on peut s'exprimer ainsi, plus délicate que celle de l'élasticité optique et se représente par une surface plus compliquée qu'un ellipsoïde.

De ce nombre est la *cohésion*. Tandis qu'un cristal cubique offre les mêmes propriétés optiques suivant toutes les directions, la cohésion, évaluée par la résistance à la rupture, n'a pas partout la même valeur dans un cristal de ce système. Elle peut être double, pour la direction d'un axe ternaire, de ce qu'elle est pour celle des arêtes cubiques.

Les directions de moindre cohésion, dans un cristal, déterminent la production des plans de *clivage*, c'est-à-dire de ceux suivant lesquels s'opère la séparation des cristaux en lames planes, sous le choc ou sous l'effort d'un outil tranchant. Toujours ces directions sont coordonnées à la symétrie du cristal et, de plus, on remarque que leur distribution est, en général, la plus simple qu'on puisse imaginer. C'est ainsi, par exemple, que, dans les cristaux cubiques, le clivage *p* est de beaucoup le plus fréquent; ensuite vient *b<sup>1</sup>*; *a<sup>1</sup>* est sensiblement plus rare. On peut donc dire que ces cristaux présentent, pour la cohésion, le plus petit nombre de maxima et de minima que comporte leur degré de symétrie. Il en est de même, d'ailleurs, pour les autres

systèmes, où les combinaisons les plus simples sont aussi les plus fréquentes.

**Faces de glissement.** — En dehors des phénomènes de clivage, certains cristaux, soumis à des effets mécaniques, laissent apparaître, dans leur intérieur, des faces planes miroitantes, appelées faces de glissement. M. Reusch a montré qu'un cristal de spath d'Islande étant comprimé dans une direction perpendiculaire à l'une des faces du prisme  $d^1$ , on y voit naître des plans de glissement parallèles au rhomboëdre inverse  $b^1$ . De son côté, M. Baumhauer a fait l'expérience suivante : un prisme de clivage de calcite étant posé horizontalement sur l'une de ses arêtes, si,

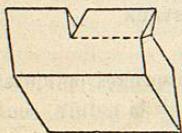


Fig. 151.

sur l'arête opposée, on appuie normalement la lame d'un canif, il vient un moment où le cristal cède comme une substance plastique; alors, toute la partie séparée par l'outil, intérieurement limitée par une face parallèle à  $b^1$ , s'incline en sens inverse de l'autre en produisant un angle rentrant (fig. 151), et cette portion possède désormais une orientation optique et cristallographique inverse de celle qui est demeurée fixe. Ainsi la pression a dû entraîner une rotation des molécules.

**Dureté.** — C'est aux mêmes lois qu'obéit la distribution de la dureté dans les cristaux.

Cette propriété est la résistance qu'un corps oppose à l'action d'un outil tendant à entamer sa surface. La dureté des cristaux peut être appréciée, tantôt avec une pointe d'acier trempé, tantôt avec une arête d'un cristal de dureté connue. On fait naître ainsi, à la surface des cristaux, des stries ou rayures, qui se produisent avec plus ou moins de facilité suivant les espèces. En tout cas, il faut toujours avoir soin d'opérer sur une face plane bien nette, de peur de prendre pour des rayures les traces qu'un outil peut laisser en désagrégeant des éléments cristallins mal unis entre eux, comme les parties d'un cristal fendillé, par exemple. De plus, il faut s'assurer que la rayure persiste après nettoyage de la face, car souvent des apparences de rayures sont dues à ce que l'outil est lui-même attaqué par le cristal, sur lequel il laisse une trace, comme celle qu'un marteau abandonne après le choc sur un bloc de grès dur.

La dureté des minéraux est un élément important de leur détermination spécifique. Il y a longtemps que Mohs a constitué une échelle de duretés, comprenant dix termes successifs, dont chacun raye celui qui le précède et est rayé par celui qui le suit. En voici l'énumération :

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1. Talc.               | 6. Orthose.            |
| 2. Gypse ou sel marin. | 7. Quartz.             |
| 3. Calcite.            | 8. Topaze ou émeraude. |
| 4. Fluorine.           | 9. Corindon.           |
| 5. Apatite.            | 10. Diamant.           |

Les deux premiers termes représentent des minéraux qui se rayent à l'ongle. Les numéros 3 à 5 sont rayés par une pointe d'acier. La dureté du numéro 6 surpasse un peu celle du verre à vitres. A partir de 7 les minéraux rayent nettement le verre. Lorsqu'un minéral est rayé par l'apatite, tandis qu'il raye la fluorine, on dit que sa dureté est égale à 4,5.

Bien entendu, l'échelle de Mohs n'est pas rigoureusement proportionnelle; il n'y a pas la même distance entre les différents termes et, en particulier, la différence de dureté est beaucoup plus grande entre 9 et 10 qu'entre 4 et 5. Néanmoins cette échelle suffit aux besoins des minéralogistes et tout essai de l'enrichir n'aurait pour résultat que d'en rendre l'emploi moins facile.

Quand on veut mesurer avec beaucoup d'exactitude l'effort nécessaire pour rayer une surface cristalline, on se sert d'instruments particuliers, appelés scléromètres.

L'emploi de ces instruments révèle un certain nombre de particularités, dont plusieurs montrent que la dureté est une propriété *sui generis*, qu'il ne faudrait nullement confondre avec la cohésion. C'est ainsi que la dureté ne varie, suivant les faces, que dans les cristaux susceptibles de se cliver et que toujours le *minimum de dureté se produit sur les faces de clivage*. De plus, sur certaines faces, par exemple sur les faces  $p$  des rhomboédres de calcite, la dureté est plus grande si l'on suit la diagonale culminante d'un angle  $a$  vers l'angle  $e$  opposé que si l'on marche en sens inverse.

On peut, par des expériences au scléromètre, construire les courbes de dureté qui conviennent, pour chaque espèce, à des faces cristallines déterminées. La figure 152 représente une telle

courbe pour la face  $p$  d'un cristal rhombique de barytine. On y voit quatre minima, correspondant aux rayons menés par le centre  $O$  parallèlement aux faces  $m$ , qui sont des faces de clivage.

La figure 153 donne la courbe des duretés d'une face  $p$  d'un

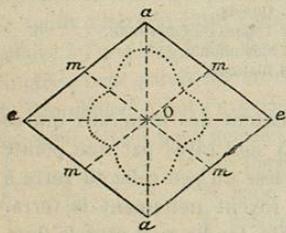


Fig. 152.

rhomboèdre de calcite. Enfin, dans la figure 154, on voit la répartition de la dureté sur une face cubique  $p$  d'un cristal de fluorine, substance dont les clivages sont parallèles aux faces de l'octaèdre  $a^4$ .

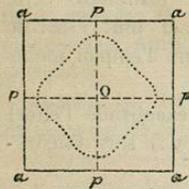


Fig. 154.

En raison des différences, parfois considérables, que présente la dureté suivant les faces d'un cristal clivable, c'est à la dureté moyenne que doit se rapporter le chiffre habituellement donné comme caractéristique de chaque espèce.

**Conductibilité calorifique.** — Les cristaux se comportent, pour la chaleur, exactement comme pour la lumière. C'est surtout dans l'étude de la conductibilité calorifique que se révèle cette analogie. Là se retrouve ce mode simple de distribution qui est exprimé par une surface ellipsoïdale.

Les variations de la conductibilité calorifique dans les cristaux peuvent être étudiées par une méthode dont le principe est dû à Sénarmont. On étale, sur la face à étudier, une couche mince de cire, et quand cette couche s'est consolidée, on chauffe un point déterminé de la surface à l'aide d'une pointe métallique. La cire fond tout autour du point chauffé, avec une vitesse d'autant plus grande que la chaleur se propage plus vite et, au bout d'un

temps donné, tous les points simultanément atteints par la fusion se trouvent distribués sur une courbe, dite *courbe thermique*. Si la chaleur se propageait également vite dans toutes les directions, cette courbe devrait être un cercle. Il en est ainsi pour tous les cristaux isotropes ainsi que pour les plaques normales à un axe principal. Dans tous les autres cas, la courbe thermique est une ellipse. Des dispositions ingénieuses ont été imaginées par M. Jannettaz, tant pour mesurer commodément le rapport des axes de l'ellipse thermique que pour soustraire la surface de la lame au rayonnement de la source de chaleur destinée à produire l'échauffement local.

**Variations des courbes thermiques.** — Les corps isotropes présentent la même conductibilité dans toutes les directions. Aussi les courbes thermiques y sont-elles toujours circulaires.

Dans les cristaux uniaxes, la direction de l'axe est celle du maximum ou du minimum de conductibilité. La courbe thermique n'est donc circulaire que pour les plaques normales à l'axe cristallographique principal. Pour toute autre direction, c'est une ellipse, dont l'un des axes est toujours compris dans la section principale de la plaque.

Enfin, dans les cristaux à deux axes, le maximum et le minimum de conductibilité se font sentir suivant deux directions rectangulaires, toujours liées aux éléments de symétrie du système.

On comprend que l'étude de la conductibilité puisse rendre de grands services, lorsque l'opacité d'une substance, d'ailleurs dépourvue de formes extérieures déterminables, empêche d'en faire l'examen optique. En pareil cas, la forme de la courbe thermique permet de reconnaître le système cristallin, et en mesurant, pour diverses plaques, la direction et la valeur relative des axes de conductibilité, on peut arriver à fixer les principaux éléments cristallographiques de la substance.

Les expériences de M. Jannettaz ont établi que la conductibilité thermique atteint son maximum suivant les plans de clivage.

**Dilatabilité.** — **Cristaux isotropes.** — On sait que les corps se dilatent, en général, lorsqu'on les chauffe, et l'on nomme *coefficient de dilatation linéaire*, en le désignant habituellement par  $\alpha$ , le rapport  $\frac{v-l}{l}$ , dans lequel  $l$  est la longueur d'une

tige du corps, déterminée à zéro, et  $l'$  la longueur de la même tige à 100 degrés.

Cela posé, dans les cristaux isotropes, le coefficient de dilatation a la même valeur quelle que soit la direction. Par suite, les trois axes quaternaires s'allongent, à toutes les températures, de la même quantité, leurs paramètres demeurent égaux entre eux.

Toute face, définie par les longueurs  $\frac{1}{q}, \frac{1}{r}, \frac{1}{s}$ , qu'elle intercepte sur les trois axes quaternaires, sera, à 100 degrés, définie par les longueurs

$$\frac{1}{q}(1 + \alpha) \quad \frac{1}{r}(1 + \alpha) \quad \frac{1}{s}(1 + \alpha).$$

Ces trois quantités étant toujours proportionnelles aux trois premières, les longueurs relatives qui servent à définir la face ne varient pas, c'est-à-dire que les angles que fait cette face avec les faces du cube sont invariables, quelle que soit la température. Ainsi, non seulement les cristaux cubiques demeurent cubiques à toutes les températures, mais les angles mutuels de leurs faces n'éprouvent aucune altération.

**Cristaux anisotropes. Variabilité des angles dièdres.**

— Il n'en est pas de même pour les autres systèmes cristallins. En général, chaque direction possède son coefficient de dilatation spécial. Si une face intercepte sur les trois axes conjugués  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ , des longueurs égales à  $\frac{1}{q}a, \frac{1}{r}b, \frac{1}{s}c$ , quand la température est égale à zéro, ces longueurs deviendront, à 100 degrés,

$$\frac{1}{q}a(1 + \alpha) \quad \frac{1}{r}b(1 + \beta) \quad \frac{1}{s}c(1 + \gamma),$$

$\alpha, \beta, \gamma$  étant les coefficients linéaires relatifs à  $Ox, Oy, Oz$ , et  $a, b, c$ , les paramètres de ces axes. Donc il n'y aura plus à 100 degrés, entre les longueurs interceptées, les mêmes rapports qu'à zéro. La direction de la face aura dû changer relativement aux éléments de la forme fondamentale. Ainsi pour tous les cristaux non isotropes, *les angles mutuels des faces varient avec la température*. De la sorte, la loi de l'invariabilité des angles, découverte par Romé de l'Isle, n'est absolue que pour une température déterminée.

Hâtons-nous de dire que, dans la pratique, cette variation des angles dièdres est peu sensible et que, dans les limites des expériences usuelles, elle ne dépasse pas un nombre peu considérable de minutes. Ainsi, d'après Mitscherlich, une élévation de température de 100 degrés ne réduit que de 8 minutes l'angle dièdre des faces  $p$  d'un rhomboèdre de calcite.

**Permanence du parallélisme et du caractère général de la symétrie.** — Mais si les angles mutuels des faces sont ainsi susceptibles de varier, les couples de faces parallèles demeurent parallèles à toutes les températures et, de plus, la symétrie du système cristallin reste la même, du moins dans la majorité des cas. Le premier résultat est facile à concevoir; car les longueurs interceptées sur les axes conjugués par deux faces parallèles QRS, Q'R'S', étant proportionnelles entre elles, continueront à l'être après la dilatation. OQ sera devenu OQ(1 +  $\alpha$ ) et OQ' sera OQ'(1 +  $\alpha$ ). Le rapport  $\frac{OQ}{OQ'}$  sera donc le même qu'auparavant.

Quant à la symétrie du système, l'expérience prouve que les lignes cristallographiques équivalentes éprouvent un égal allongement. Ainsi, dans un cristal uniaxe, l'axe principal est une ligne de maximum ou de minimum de dilatabilité. Dans le premier cas, les directions normales à l'axe sont toutes des directions de minimum; dans le second cas, c'est l'inverse. Il suit de là qu'un cristal uniaxe demeure tel à toutes les températures.

Les cristaux biaxes ont trois directions principales de dilatabilité, rectangulaires entre elles. Si les axes d'élasticité optique sont les mêmes pour toutes les couleurs, on observe que les mêmes directions sont aussi celles des axes principaux de dilatabilité.

**Influence de la chaleur sur les propriétés optiques.** —

La chaleur, en modifiant les distances mutuelles des molécules, ne peut manquer d'influer sur la distribution de l'éther interposé. C'est ce que l'expérience confirme, en montrant que, dans les solides, l'indice de réfraction, c'est-à-dire la vitesse de propagation de la lumière, change avec la température.

Cette variation respecte, en général, les conditions ordinaires de la symétrie. Ainsi un cristal isotrope demeure isotrope à toutes les températures. De même, un cristal uniaxe demeure uniaxe; mais les deux indices, ordinaire et extraordinaire, ne subissent pas toujours des variations proportionnelles. En pareil cas, il peut

arriver qu'un cristal, très peu biréfringent à la température ordinaire, ne présente plus, une fois chauffé, aucune différence entre l'indice ordinaire et l'autre. Dès lors, à la température correspondante, il sera devenu isotrope, mais *seulement pour une radiation déterminée*.

Dans les cristaux biaxes, les trois indices principaux éprouvant, avec la température, des modifications inégales, il en doit résulter des variations dans l'angle des axes optiques, lié à la valeur des élasticités optiques principales. Les importantes recherches de M. des Cloizeaux ont montré que ce changement était très diversement marqué suivant les substances; pour le plus grand nombre, la température de l'ébullition de l'eau ne produit qu'une altération de quelques degrés dans l'angle des axes. Le gypse est beaucoup plus sensible: bien au-dessous de cent degrés, l'angle de ses axes devient nul. Le cristal est alors uniaxe, mais seulement pour une radiation déterminée. Au delà de ce point, l'ancien indice minimum devient supérieur à l'indice moyen et le plan des axes optiques s'ouvre dans une direction rectangulaire avec celle où il était précédemment contenu.

La variation produite par la chaleur dans l'angle des axes est tantôt momentanée, tantôt permanente. Ainsi, les cristaux de feldspath orthose, chauffés au rouge sombre, éprouvent une altération définitive, ce qui ne les empêche pas de conserver, dans leur nouvel état, une certaine faculté de variation temporaire.

**Pyroélectricité.** — L'électricité peut se développer dans les cristaux, comme dans tous les corps, par le frottement. Mais ce qui présente surtout de l'intérêt, en raison de sa liaison avec le degré de symétrie, c'est le phénomène connu sous le nom de *pyroélectricité*. On appelle ainsi la propriété que possèdent certains cristaux de développer, aux deux extrémités, pendant qu'on les chauffe, des électricités contraires, dont la distribution devient exactement inverse pendant que les cristaux se refroidissent, et qui disparaissent quand la température est devenue constante. G. Rose a nommé pôles *analogues* ceux qui sont positifs par échauffement et pôles *antilogues* les autres.

Tous les cristaux qui offrent le phénomène de l'hémimorphisme, c'est-à-dire dans lesquels un même axe est terminé par des pointements dissemblables, sont pyroélectriques suivant cet axe. Tel est le cas de la tourmaline, de la calamine et de la topaze. Pour

cette dernière substance, la pyroélectricité ne se manifeste que sur les cristaux vraiment hémimorphes. Sur ceux où, sans doute par suite de macles, les deux extrémités de l'axe ne diffèrent pas, ces extrémités deviennent l'une et l'autre positives; en brisant un de ces cristaux suivant la base, qui est une face de clivage, celle-ci s'électrise négativement, tandis que le pointement est positif.

Du reste, la pyroélectricité, qui témoigne d'une polarité électrique et par conséquent d'une dyssymétrie des molécules suivant certaines directions, doit se produire suivant toutes les lignes cristallographiques où cette dyssymétrie est mise en évidence par la différence des facettes.

Ainsi les expériences de M. Friedel ont montré que le quartz peut développer une pyroélectricité en rapport avec l'hémiedrie qui le caractérise. Les diagonales de base du prisme  $e^2$ , aboutissant chacune à deux arêtes verticales, dont l'une porte les faces rhombes et plagiédres, tandis que l'autre en est dépourvue, sont des axes de pyroélectricité. Les arêtes latérales du prisme  $e^2$  sont alternativement positives et négatives par échauffement, négatives et positives par refroidissement. Les arêtes positives par échauffement sont celles qui portent les faces rhombes et plagiédres; elles deviennent négatives par refroidissement. La même propriété s'observe dans les cristaux de blende suivant les axes ternaires, ce qui se comprend aisément, la blende étant tétraédrique.

Pour mettre la pyroélectricité du quartz en évidence, il ne faut pas prendre des cristaux naturels, auquel cas les trois axes d'hémimorphisme, c'est-à-dire les trois diagonales du prisme  $e^2$ , se neutraliseraient réciproquement. Il faut tailler des baguettes parallèles à ces diagonales ou, mieux encore, des lames normales aux axes d'hémimorphisme.

**Thermoélectricité.** — Il est une autre propriété électrique que manifestent certains cristaux. On sait que quand deux morceaux de métaux différents, tels que l'antimoine et le bismuth, sont mis en contact et réunis, d'autre part, à l'aide d'un fil conducteur, si l'on chauffe le point de contact, il se développe un courant électrique. Cette propriété est connue sous le nom de *thermoélectricité*. Le courant se dirigeant, à partir du contact, de l'antimoine vers le bismuth, on dit que le premier métal est, au point de vue thermoélectrique, positif à l'égard du second. L'ob-

servation montre que l'antimoine est positif et le bismuth négatif pour tous les corps simples métalliques. Or la pyrite de fer  $\text{FeS}_2$  se comporte de telle façon que certains cristaux sont positifs, même pour l'antimoine, et certains autres négatifs, même pour le bismuth. Il en résulte que deux cristaux de signe contraire, mis en contact et chauffés, développent un courant thermoélectrique plus intense que celui qui va de l'antimoine au bismuth. Très souvent, sur un même cristal, on trouve des parties positives et des parties négatives. M. Curie a constaté que les dodécaèdres pentagonaux de pyrite étaient positifs quand leurs faces portaient des stries parallèles aux arêtes cubiques, tandis qu'ils étaient négatifs si les stries étaient perpendiculaires à ces arêtes.

## § 2

## GROUPEMENTS CRISTALLINS

**Idee générale des groupements cristallins.** — D'après la définition que nous avons donnée des corps cristallisés, chacun d'eux doit être formé de molécules identiques, orientées de la même manière et disposées sur les nœuds d'un assemblage parallélépipédique.

Mais cette identité absolue de composition et d'orientation, qui constitue ce qu'on pourrait appeler *l'état de perfection* des substances cristallines, n'est pas toujours réalisée. Tantôt l'observation et, en particulier, les expériences d'optique, montrent qu'un cristal, en apparence simple, est formé de parties différemment orientées, de telle sorte qu'une même plaque mince peut se diviser en *plages* distinctes, dont les phénomènes chromatiques font ressortir l'inégale orientation. Tantôt c'est la chimie qui reconnaît, dans une même espèce minérale cristallisée, une variabilité de composition telle, que, pour demeurer d'accord avec les données fondamentales de la science, il faut admettre que, dans le minerai, certaines substances peuvent se remplacer les unes les autres en *toutes proportions*.

Les groupements, soit de cristaux, soit de particules cristallines, loin d'être arbitraires, obéissent à des lois bien déterminées. Ce résultat ne doit pas étonner; car si l'on comprend que

toutes les parties d'un liquide en voie de cristallisation ne soient pas dans des conditions identiques, du moins on se rend compte que deux portions immédiatement voisines doivent exercer l'une sur l'autre une influence susceptible d'établir, entre les assemblages réticulaires, une certaine dépendance.

L'observation montre qu'il y a lieu de distinguer plusieurs sortes de groupements cristallins : 1° *les groupements par accollement* de deux ou plusieurs cristaux (*jumeaux* ou *zwillinge* des Allemands); 2° *les groupements par pénétration* ou *entre-croisement* de portions cristallines plus ou moins enchevêtrées; 3° *les groupements isomorphes*, où l'association se fait entre substances non identiques et comporte une substitution de molécule à molécule, ou tout au moins une juxtaposition de très petites particules de nature distincte.

**Groupements par juxtaposition d'individus.** — Les groupements par juxtaposition d'individus cristallins distincts se révèlent, au premier coup d'œil, par les *angles rentrants* auxquels donne lieu l'accolement. On leur a depuis longtemps appliqué la dénomination générique de *macles*.

Dans les macles, on remarque, le plus souvent, que *deux individus s'accolent suivant un plan, qui est une face commune à tous les deux et, de plus, ordinairement, une face de notation simple*.

En outre, l'observation montre, en général, que la situation mutuelle de deux individus, se touchant par une face plane, peut être *géométriquement* définie, si l'on imagine que l'un d'eux, primitivement situé dans le prolongement exact de l'autre, ait exécuté une rotation de 180 degrés autour d'un certain axe. Une telle demi-rotation porte le nom d'*hémitropie* et se trouve complètement définie, si l'on indique à la fois la notation du *plan de jonction* et la direction de l'*axe d'hémitropie*.

Le plus souvent l'axe de rotation est normal à la face de jonction.

**Macles des systèmes cubique, quadratique et rhomboédrique.** — Les exemples d'hémitropies abondent dans la nature.

Dans le système cubique, les plus fréquentes sont celles qui s'accomplissent par rotation autour d'un axe ternaire, normal à  $a^4$ . De ce nombre est la macle de deux octaèdres, réalisée dans les spinelles (fig. 155). L'octaèdre ayant été coupé par un plan

MNP, parallèle à ABC, c'est-à-dire à l'un de ses systèmes de faces, la rotation a eu lieu autour de l'axe ternaire normal à ABC, et comme un déplacement angulaire de 120 degrés procurerait simplement la substitution des sommets, il suffit, pour donner lieu à la macle, de faire tourner la partie mobile de 60 degrés, ce qui amène A en A', B en B', C en C'. De cette manière, les triangles, tels que AMN, isolés par la section, viennent faire face, par des angles rentrants, aux triangles immobiles tels que SNP, tandis que les éléments trapézoïdaux, comme MNA'B', se juxtaposent suivant l'arête de rupture MN en faisant naître des angles saillants.

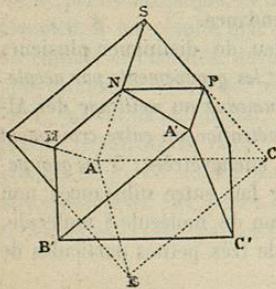


Fig. 135.

Les hémitropies normales du système quadratique se font avec une face de jonction parallèle à une proto- ou deutéro-pyramide.

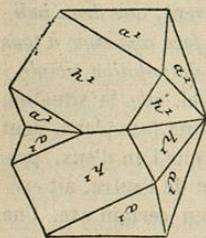


Fig. 136.

La figure 156 représente deux individus de cassitérite ou étain oxydé, maclés suivant une face parallèle à  $b^1$ . La rencontre des pyramides  $a^1$ , sur la gauche du dessin, donne lieu à un angle rentrant particulier, formé de quatre facettes triangulaires, qui porte le nom de *bec d'étain* et qu'on appelle quelquefois aussi macle *en visière*, à cause de son analogie avec la visière d'un casque.

Les macles rhomboédriques les plus habituelles, avec axe d'hémitropie normal, se font autour de l'axe ternaire; dès lors, une rotation de 60 degrés est suffisante. Appliquée au scalénoèdre (fig. 157), cette hémitropie fait naître un isocéloèdre, avec trois *becs* ou angles rentrants, c'est-à-dire un solide pourvu d'un plan de symétrie normal à l'axe ternaire, qui ferait défaut au scalénoèdre, sans la macle.

Dans le système rhombique, une macle très connue est celle de l'aragonite, où le plan de jonction est l'une des faces du protoprisme. Concevons (fig. 158) la section droite d'un cristal

allongé suivant  $g^1$  et couronné par un brachydôme  $e^1$ . Soit AB le plan de jonction, parallèle à l'une des faces  $m$ . Après la rotation, les deux individus forment, suivant l'arête projetée en A, un angle rentrant (fig. 159). Assez souvent cette macle se répète

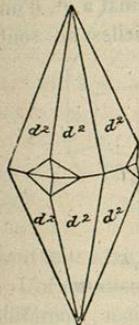


Fig. 157.

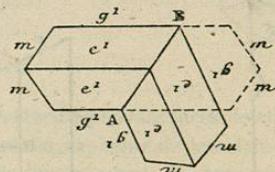


Fig. 158.



Fig. 159.

plusieurs fois, soit en sens alternatifs, en donnant lieu à une sorte d'escalier, soit dans le même sens, en faisant naître une espèce de polyèdre annulaire, où tous les angles rentrants sont tournés du même côté.

#### Macles des systèmes monoclinique et triclinique. —

Comme exemple d'hémitropie du système monoclinique, nous ci-

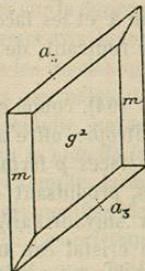


Fig. 160.

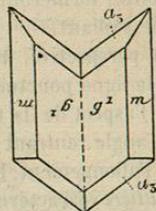


Fig. 161.

terons le gypse. Un cristal simple (fig. 160), offrant les faces  $m$ ,  $g^1$  et  $a_3$ , est coupé en deux parties par un plan parallèle à  $h^1$ . L'une des moitiés du cristal tourne de  $180^\circ$  autour de la normale à  $h^1$  et vient se placer en regard de la précédente (fig. 161).