

Parfois même la macle se double (fig. 162), chacune des moitiés se prolongeant à travers l'autre.

Des hémitropies très caractéristiques s'observent dans les feldspaths tricliniques. La plus commune est la *macle dite de l'albite*.

Représentons (fig. 163) la coupe, par un plan normal à g^1 , d'un cristal triclinique réduit aux faces p et g^1 , lesquelles ne sont

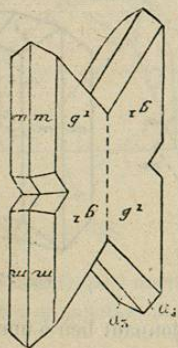


Fig. 162.

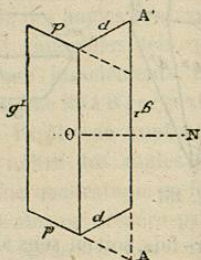


Fig. 163.

pas perpendiculaires l'une à l'autre. Coupons ce cristal, en son milieu, par un plan parallèle à g^1 et faisons tourner la moitié de droite de 180° autour de la ligne ON, normale à ce plan. Après la rotation, l'angle aigu A se sera transporté en A' et les faces p des deux moitiés formeront, d'un côté un angle rentrant, de l'autre un angle saillant.

Vu en perspective, un cristal d'albite (fig. 164), coupé en deux suivant la ligne ponctuée et soumis à l'hémitropie, offre après la rotation l'aspect de la figure 165. Les deux faces p forment en haut un angle rentrant d'environ 175° degrés, produisant, en raison de l'allongement habituel des cristaux suivant l'arête pg^1 , une *gouttière* caractéristique. D'un côté le cristal est terminé par deux faces m , tandis que, du côté opposé, il y a deux faces t en contact.

Très souvent la macle par hémitropie des feldspaths tricliniques s'opère entre individus extrêmement minces et se répète un grand nombre de fois. La juxtaposition de ces lamelles hémitropes fait naître, sur les faces p , des stries ou cannelures correspondant

aux angles alternativement saillants et rentrants, et ces stries

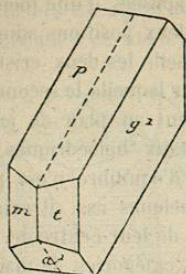


Fig. 164.

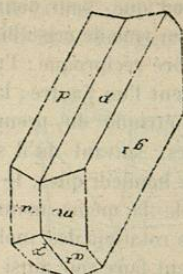


Fig. 165.

sont tout à fait caractéristiques des faces de clivage des feldspaths.

L'orientation cristallographique de deux lamelles contiguës étant différente, mais les lames ayant, de deux en deux, la même orientation, une plaque mince de feldspath hémitrope, examinée en lumière parallèle, se colore de deux teintes alternatives (fig. 166); les lamelles impaires s'éteignent toutes en même temps, pour une position donnée de la plaque relativement aux nicols croisés. Il en est de même des lamelles paires, et les directions d'extinction des deux séries, marquées sur la figure par des flèches, font des angles égaux avec la trace du plan de jonction.

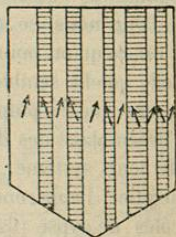


Fig. 166.

Toutes les macles qui viennent d'être énumérées sont des hémitropies normales; mais il y en a d'autres où la demi-rotation s'est accomplie autour d'un axe *situé dans le plan de jonction*. Telle est, par exemple, la macle de deux tétraèdres modifiés de cuivre gris (fig. 167). Les cristaux sont accolés suivant une face a^2 et l'un d'eux paraît avoir tourné, relativement à l'autre, de 180° autour d'un axe ternaire, contenu dans ce plan.

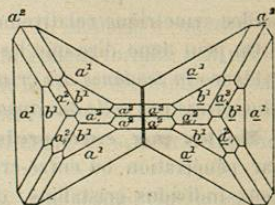


Fig. 167.

Explication des macles. — M. Mallard a donné une théorie,

très satisfaisante et très complète, des macles par accolement. Il a fait voir que, pour deux parties juxtaposées d'une même substance en voie de cristallisation, il y a deux positions admissibles d'équilibre réciproque : l'une, pour laquelle les deux cristaux se prolongent l'un l'autre; la seconde, pour laquelle le second cristal est symétrique du premier relativement au plan de jonction. D'ailleurs, suivant qu'il s'agit de cristaux holoédriques ou de cristaux hémihédriques, le second mode d'équilibre n'est pas satisfait de la même manière. Dans quelques cas, il exige une certaine rotation des molécules autour de leur centre de gravité et on peut faire voir ainsi qu'il y a trois catégories de macles : la première, qui s'exprime géométriquement par une *hémitropie normale*; la seconde, pour laquelle il y a encore *hémitropie*, c'est-à-dire rotation de 180 degrés, mais autour d'un axe *parallèle* au plan de jonction; enfin la troisième, où la rotation qui rend compte de l'accolement ne peut plus être de 180 degrés.

Pour nous, ce qu'il importe surtout de mettre en évidence, c'est ce qu'on pourrait appeler la *raison philosophique* des macles, telle qu'elle semble résulter de l'observation. En effet, on remarquera que la plupart des macles ont pour effet de donner, à l'assemblage des deux cristaux, une symétrie supérieure à celle de leur système. Ainsi le scalénoèdre de la calcite (fig. 157) acquiert l'apparence d'un isocéloèdre. De même, les cristaux accolés de gypse (fig. 161) ont conquis, par leur juxtaposition, un plan de symétrie d'ensemble, qui est h^1 et, quand la macle se double (fig. 162), on peut dire que le cristal complexe est en possession de trois plans de symétrie, savoir h^1 , g^1 , et le plan normal aux arêtes prismatiques. Enfin le fait est frappant pour les cristaux tricliniques, où la macle de l'albite (fig. 165) produit un édifice symétrique relativement au plan de jonction g^1 .

On peut donc dire que les macles par juxtaposition mettent en évidence la *tendance des cristaux vers la réalisation d'une symétrie plus élevée que celle qui appartient à leur système réticulaire*.

Macles par entre-croisement. — Dans les groupements par pénétration ou entre-croisement, la surface qui sépare les deux individus cristallins, d'orientation différente, cesse d'être plane. A ce mode de groupement appartiennent : la *macle de la croix de fer* (fig. 168) des cristaux de pyrite; la macle en croix de deux tétraèdres (fig. 169), soit de cuivre gris, soit de diamant;

la *macle cruciforme* ou *croisette* (fig. 170) de la staurotide, etc.

Ces divers exemples mettent bien sur la voie de l'explication qui convient à ce mode de groupement. Dans la figure 168, les

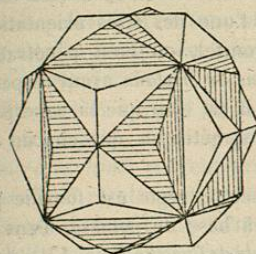


Fig. 168.

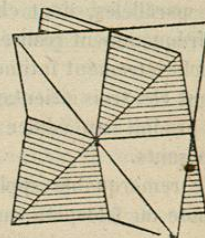


Fig. 169.

deux orientations qui conviennent au dodécaèdre pentagonal, suivant qu'il dérive de la demi-forme directe ou de la demi-forme inverse, sont simultanément réalisées, en sorte que la partie commune aux deux cristaux, croisés à angle droit, est le tétrahexaèdre complet. De même, dans la figure 168, deux tétraèdres croisés à 90° reproduisent, par leur partie commune, l'octaèdre complet. Enfin, dans la staurotide (fig. 70), s'il ne paraît pas y avoir acquisition d'un degré supérieur de symétrie, il y a du moins formation d'une figure plus satisfaisante à ce point de vue.

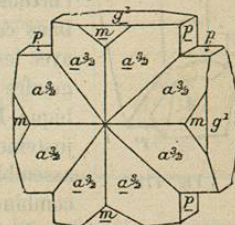


Fig. 170.

Cristaux à symétrie-limite. — M. Mallard a montré que tous les groupements par pénétration étaient formés, soit par des cristaux hémihédriques qui combinent les deux orientations admissibles, soit par des cristaux à *symétrie-limite*, c'est-à-dire très voisins, par leurs paramètres, d'un degré de symétrie supérieur à celui de leur système.

Supposons un cristal rhombique dans lequel l'angle mm soit très voisin de 120°. En conservant à l'axe vertical sa direction, on pourra donner au système réticulaire trois positions, dans lesquelles l'un des axes horizontaux tournera successivement de

120°. Tandis que, dans le cas d'une symétrie hexagonale parfaite, les trois positions du réseau seraient identiques, ici elles seront simplement très peu différentes les unes des autres. Il pourra donc y avoir, ou bien accollement de trois cristaux à axes verticaux parallèles, dont chacun aura l'une des trois orientations (cas fréquemment réalisé dans l'aragonite), ou bien pénétration et enchevêtrement intimes de *portions de cristaux* ayant respectivement ces trois orientations, dont il est clair que la superposition produit un édifice total plus symétrique que chacun des composants.

Une remarquable application de cette règle est fournie par l'orthose ou feldspath monoclinique à base de potasse. Dans ce qu'on appelle la *macle de Carlsbad* (fig. 171), deux cristaux, ayant leurs plans de symétrie parallèles, tournent leurs bases en sens inverse, comme si l'un d'eux, d'abord orienté comme l'autre, avait tourné de 180° autour de l'arête prismatique *mm*. Or M. Mallard a montré que le réseau plan de l'orthose, dans le plan *g¹*, est presque rhombique. Dans ce cas, la combinaison de l'orthodiagonale avec les deux axes quasi-binaires du plan *g¹* engendre un assemblage à symétrie-limite rhombique. En tournant autour de l'arête *mm*, qui est justement l'un des deux axes quasi-binaires, cet assemblage prend une seconde position qui, combinée avec la première, fait naître un édifice

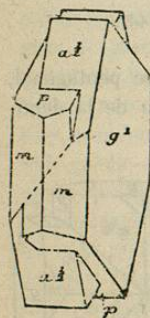


Fig. 171.

moins éloigné de la symétrie rhombique parfaite.

De la même façon, M. Mallard a montré que la macle de la staurotite résultait de ce que l'assemblage de la substance est pseudo-cubique, de telle sorte que l'axe horizontal, autour duquel a lieu la rotation, est *pseudo-quaternaire*.

§ 3

ISOMORPHISME. POLYMORPHISME

Notion de l'isomorphisme. — Le fait que des portions diversement orientées ou des molécules de formes non identiques

peuvent coexister dans un cristal, sans troubler sa forme extérieure, prouve que, dans la construction des édifices cristallins, l'*identité absolue* des matériaux n'est pas une condition rigoureuse. Cette tolérance, si l'on peut s'exprimer ainsi, s'étend, jusqu'à un certain point, à la nature chimique des molécules. C'est ce que prouvent les phénomènes habituellement rangés sous la désignation d'*isomorphisme*.

Mitscherlich a appelé de ce nom la propriété en vertu de laquelle des substances, de *composition chimique semblable et de même forme cristalline*, peuvent cristalliser ensemble en *toutes proportions*. De là résultent des *mélanges isomorphes*.

La quasi-identité de forme des corps chimiquement analogues est mise en évidence par de nombreux faits.

Ainsi il existe une série de carbonates, répondant à la formule RCO_3 , qui tous cristallisent en prismes rhombiques, d'angles presque identiques et possédant à peu près les mêmes clivages. Le tableau suivant les fait connaître :

ESPÈCES.	COMPOSITION.	ANGLE <i>mm</i> .
Aragonite.....	Ca CO ₃ .	116° 10'
Strontianite.....	Sr CO ₃ .	117° 19'
Cérusite.....	Pb CO ₃ .	117° 14'
Withérite.....	Ba CO ₃ .	117° 48'

Une série encore plus riche est celle des carbonates rhomboédriques. Ils ont la même formule chimique générale que les précédents, mais cristallisent en rhomboèdres, dont les angles sont compris entre 105° et 108°. Ce sont :

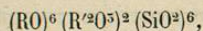
ESPÈCES.	COMPOSITION.	ANGLE <i>pp</i> .
Calcite.....	Ca CO ₃ .	105° 5'
Dolomie.....	Ca Mg CO ₃ .	106° 45'
Diagénite.....	Mn CO ₃ .	106° 51'
Sidérose.....	Fe CO ₃ .	107°
Giobertite.....	Mg CO ₃ .	107° 20'
Smithsonite.....	Zn CO ₃ .	107° 40'

De même, la série des *spinelles*, de formule générale RR^2O_4 , est remarquable par sa cristallisation en octaèdres. Cette série comprend le spinelle proprement dit $MgAl_2O_4$, la chromite $FeCr_2O_4$, la magnétite ou fer oxydulé $FeFe_2O_4$, etc.

Mélanges isomorphes. — Le choix du mode de cristallisation d'un corps étant déterminé par la forme et la symétrie de sa molécule, on conçoit que deux corps de même forme puissent se remplacer mutuellement en toutes proportions et donner des *mélanges isomorphes*.

Par exemple, en mélangeant des dissolutions des trois sulfates de magnésie, de manganèse et de zinc, on obtient des cristaux complexes où ces trois éléments peuvent figurer dans des rapports très variables. Les carbonates rhomboédriques s'unissent en toutes proportions, donnant naissance à des calcites ou dolomies *ferrifères*, dites aussi *spaths brunissants*. L'angle des rhomboèdres résultants, toujours compris entre 105 et 107 degrés, est d'autant plus voisin de ce dernier nombre que la quantité de fer est plus considérable.

Enfin les grenats sont des silicates dont la formule générale est toujours



mais où R peut être représenté aussi bien par Ca que par Fe ou Mn, tandis que R' admet la substitution de Fe à Al ou à Cr.

Néanmoins, si les mélanges isomorphes semblent théoriquement possibles, en toutes proportions, entre corps de formes extrêmement voisines, en pratique, il y a généralement certaines combinaisons plus stables et, par suite, plus souvent réalisées que d'autres.

En tout cas, ce qui caractérise essentiellement les mélanges isomorphes, par opposition aux combinaisons proprement dites, c'est que leurs propriétés physiques sont assez exactement représentées par une sorte de moyenne arithmétique des propriétés de chacun des éléments (en tenant compte, bien entendu, de leurs proportions relatives).

Ajoutons que la notion de l'isomorphisme est en réalité plus complexe et que la faculté de cristalliser ensemble peut appartenir à des corps qui, au premier aspect, semblent très différents par leurs formes. Mais dans ce cas, comme l'a montré M. Mallard,

il s'agit de *formes-limites* et, par une modification convenable des éléments cristallographiques, on arrive à faire rentrer, dans la même catégorie, ces cristaux susceptibles de se mélanger en toutes proportions.

Polymorphisme. — L'isomorphisme a une contre-partie : c'est le *dimorphisme* ou *polymorphisme*. On appelle ainsi la propriété que possèdent certains corps, chimiquement bien définis, d'offrir plusieurs formes cristallines incompatibles entre elles ; soit qu'elles appartiennent à des systèmes différents ; soit que, présentant le même genre de symétrie, elles impliquent des rapports paramétriques qui ne peuvent pas être ramenés les uns aux autres. Ainsi le soufre naturel est rhombique, tandis que celui qu'on obtient par fusion est clinorhombique. Le bisulfure de fer, FeS_2 , est cubique [dans la pyrite jaune, et rhombique dans la marcasite ou pyrite blanche. L'oxyde de titane, TiO_2 , cristallise sous trois formes, dont une, la brookite, est rhombique, tandis que les deux autres, c'est-à-dire le rutil et l'anatase, sont quadratiques, mais avec des paramètres irréductibles.

Il résulte des travaux de M. Mallard que les apparences polymorphes sont généralement produites par des combinaisons inégales entre portions, diversement orientées, de cristaux à symétrie-limite. Ainsi une substance rhombique, dont les éléments cristallographiques ne diffèrent pas beaucoup de ce qui conviendrait à la symétrie cubique, pourra offrir : 1° des individus uniquement rhombiques, formés par une seule orientation cristalline ; 2° des individus produits par le groupement, plus ou moins enchevêtré, des six orientations que peut prendre le réseau pseudo-cubique ; 3° d'autres, où ces diverses orientations seront mélangées d'une manière assez intime pour que l'ensemble offre extérieurement des formes cubiques parfaites. La coexistence des formes du premier et du troisième type, qui sont incompatibles entre elles, constituera le dimorphisme.

§ 4

CRISTALLOGÉNIE

Inclusions cristallines. — L'examen des cristaux, surtout à l'aide du microscope, révèle dans leur structure des particula-

rités diverses, propres à mettre sur la voie de leur mode de formation. La plus importante est la présence d'*inclusions*, qui peuvent être gazeuses, vitreuses, liquides ou solides.

Les gaz des inclusions consistent généralement en azote, avec traces d'oxygène et d'acide carbonique; parfois on observe de l'hydrogène et des hydrocarbures. Les inclusions vitreuses sont des restes de matière amorphe. Il est des cas où elles sont limitées par un espace polyédrique, véritable cristal *négalif* ou en creux de la substance enveloppante. Mais le plus souvent leur forme est arrondie.

Telle est aussi la figure habituelle des inclusions liquides, consistant généralement en eau pure ou en dissolutions salines aqueuses. La plupart contiennent une *libelle*, ou bulle mobile, dont le volume varie avec la température. Quelques-unes renferment des cristaux, susceptibles de se dissoudre par échauffement,

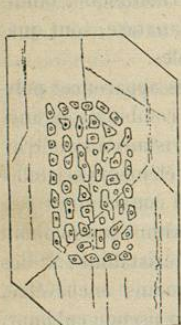


Fig. 172.

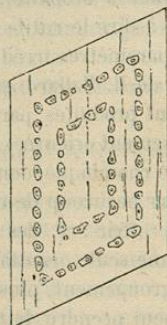


Fig. 173.

et de se reformer ensuite par refroidissement. C'est par les inclusions liquides du quartz et par leurs cristaux qu'on a pu se faire une idée de la température et de la pression sous lesquelles ce minéral a dû cristalliser.

Les inclusions solides sont des cristaux microscopiques, ou *micro-lithes*, souvent alignés

ou disposés en zones (fig. 172, 175), qui marquent des étapes successives dans la formation du cristal.

Particularités diverses. — Beaucoup de cristaux se sont développés, de préférence, soit à la surface, soit suivant certaines directions privilégiées (cristaux-enveloppes, cristaux squelettes). Le reste est rempli par la gangue même du minéral ou par diverses substances étrangères.

En tout cas, il y a une tendance marquée à l'orientation identique des éléments contigus, même quand la cristallisation s'est opérée en périodes successives. Les parties déjà consolidées

agissent par influence sur l'orientation cristallographique de celles qui, plus tard, viennent s'y adjoindre. Parfois même cette influence s'étend d'une espèce minérale à une autre, qui vient s'appliquer à la surface de la première.

Souvent un très grand nombre de facettes parallèles à une même direction se succèdent en bandes très minces sur un cristal, en faisant naître des faces courbes.

Expériences de cristallisation. — La cristallisation se fait de trois manières : 1° par sublimation; 2° par refroidissement lent après fusion ignée; 3° par dépôt tranquille dans une liqueur saturée.

De nombreuses expériences ont été entreprises dans le but de reproduire artificiellement des minéraux cristallisés. On fait ordinairement intervenir, soit des dissolvants, acides fluorhydrique, borique, titanique, etc., soit des vapeurs d'eau, de chlorures, de fluorures, etc., capables de réagir les uns sur les autres à haute température. Les cristaux qu'on obtient sont en général très petits; mais on en peut augmenter le volume en prolongeant les réactions.

La pression et la température jouent souvent un grand rôle dans ces expériences; mais leur intervention n'est pas toujours nécessaire, comme le prouvent les observations recueillies dans les stations thermales. Là, des silicates cristallisés se sont produits, avec le temps, au milieu d'anciens travaux datant des Romains, par la simple circulation d'eaux très peu chargées de principes actifs, sortant à la pression ordinaire, avec une température bien inférieure à celle de l'ébullition.

Dans les dissolutions saturées (ce qui suppose des espèces facilement solubles), on peut suivre les progrès de la cristallisation et en noter les diverses particularités. L'évaporation doit être très lente; mais on peut *nourrir* les cristaux en les transportant, une fois formés, dans une autre dissolution saturée de la même substance ou d'une substance isomorphe. Pour obtenir des cristaux complets, il faut qu'ils nagent au sein du liquide, suspendus par un fil très fin ou tenus en équilibre par l'introduction d'une matière gélatineuse, comme la colle.

Si l'on brise un cristal déjà formé et qu'on le reporte dans une dissolution saturée de la même substance, on constate que ses blessures se réparent avec une grande rapidité et ce n'est que

quand la cicatrisation est achevée que l'accroissement du cristal reprend son cours régulier. La température influe beaucoup sur le choix de la forme cristalline. L'alun, octaédrique dans les circonstances ordinaires, donne, en vases clos et au-dessus de cent degrés, des rhombododécaèdres ou des trapézoèdres.

Figures de corrosion. — Lorsque des cristaux ne sont pas suffisamment riches en facettes pour qu'on puisse apprécier pleinement le genre de leur symétrie, on parvient à mettre ce dernier en évidence à l'aide des *figures de corrosion*. Ce sont des impressions polyédriques que font naître, sur la face à étudier, des vapeurs ou des liquides capables de l'attaquer. La figure 174 montre la forme des cavités de corrosion qu'engendre, sur un cristal de quartz dextrogyre, l'action de l'acide fluorhydrique. On voit de suite, par la direction du grand axe des cavités, la différence qui s'établit entre les faces contiguës p et $e^{1/2}$ du birhomboèdre.

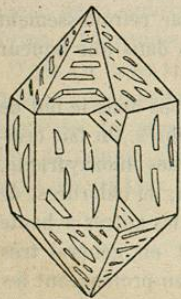


Fig. 174.

Les figures de corrosion ont souvent permis de reconnaître la nature hémihédrique d'un corps sur des formes qui, par leur espèce, n'étaient pas susceptibles de la mettre en évidence.

Pseudomorphoses, moulages. — On donne le nom de *pseudomorphoses* à de fausses apparences, par suite desquelles une substance revêt les formes cristallines d'une autre.

Il y a des pseudomorphoses de *moulage*, quand un corps cristallise par-dessus des cristaux déjà formés, ou dans le vide laissé par leur disparition. Ce sont les *pléomorphoses* de Kenngott.

Les véritables pseudomorphoses résultent d'une décomposition chimique, généralement lente et opérée par voie humide, qui a donné lieu à une substitution moléculaire. Ainsi les cristaux de fer carbonaté se transforment, sans perdre leur figure rhomboédrique, en limonite et la serpentine se substitue progressivement aux cristaux de péridot, etc.

LIVRE DEUXIÈME

DESCRIPTION DES ESPÈCES MINÉRALES

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS SUR LES ESPÈCES MINÉRALES

§ 1

COMPOSITION ET NOTATION DES ESPÈCES

Corps simples. Leur définition. — Les espèces minérales sont formées par l'association, en proportions définies, de *corps simples*, c'est-à-dire d'éléments qui ont résisté jusqu'ici à toute tentative faite pour les décomposer. Dans l'état actuel de la science, le nombre de ces éléments ne paraît pas dépasser 70. Encore beaucoup d'entre eux sont-ils spéciaux à une catégorie très restreinte de minéraux, de telle sorte qu'un petit nombre d'éléments suffit à produire la grande diversité des espèces naturelles.

Chaque élément se caractérise par ses propriétés physiques à l'état isolé, par ses affinités chimiques, mais surtout par son *poide atomique*. Le tableau suivant fait connaître simultanément les *symboles chimiques* des corps simples et la valeur des *poide atomiques* correspondants.