Introduction à la minéralogie

Introduction à la minéralogie.

Définition du minéral.

Division de la minéralogie { morphologie. Chimie. Physique.

Chimie : - Qualitative - Quantitative. { chalumeau, spectroscope } + voie humide).

Physique : transparence, Eclat, Couleur, Dilatabilité, Conductibilité, Dureté, Tenacité, fractibilité, flexibilité, Densité (caverne), magnétisme, électricité, Phosphorescence, - toucher, happement à la langue, saveur, odeur.

Morphologie { amorphes / cristallins : Définition du cristal - Gisement { nature, Laboratoire, Plantes, animaux

Amorphe : { Structure - Cassure - Clivage.

cristallins : Définition du cristal { faces. arêtes. angles.

Centre d'un cristal

axes. "

coupes - coupes principales

zône.

Systèmes cristallins, basés sur Symétrie - Incompatibilité des divers systèmes entre eux.

Constance des angles.

Dimensions des cristaux { valeur constante des angles dièdres — — des rapports entre les dimensions des axes

Loi de Symétrie de Haüy.

Dérivation et notation des formes simples.

1

Etude des Roches

Généralités.

Pisani, traité de minéralogie
Paris 1875

1.
Morphologie { ~~Minéraux~~ amorphes.
" cristallins.

Définition du cristal : Polyèdres limités par des faces planes disposées d'après certaines lois, relativement aux axes de symétrie.

Les faces, arêtes, angles, sont les éléments qui limitent les cristaux ; ils sont entre eux dans des rapports numériques constants : F + An. = Ar + 2.

On distingue les Faces trigones { Equilatérales — Inequil. — Isoscèles.

Tétragones { carré
oblongs.
Rhombes
Rhomboïdes.
Sphénoïdes.
trapèzes

Pentagones { Irréguliers
Symétriques

Hexagones { Réguliers
Symétriques
Irréguliers.

Arêtes : angles égaux, droits, obtus, etc.
de même longueur.
égales, régulières, symétriques.

angles :

Centre du cristal : les éléments correspondants en sont également distants.

~~Axes on appelle axes de symétrie les lignes passant par le centre et 2 de ces éléments correspondants.~~

Coupes : Elles passent par le centre ; les coupes principales passent par le centre et par 2 axes.

Zône : Les faces en zône sont parallèles à une ligne passant par le centre.

axes : on appelle axes de symétrie les lignes passant par le centre et 2 de ses éléments correspondants.
Ces lignes sont telles que si l'on imprime au polyèdre une rotation déterminée, tous les sommets de ce polyèdre se trouvent simplement substitués les uns aux autres

Rotation { 90° — Quaternaire
60° — Sénaire
180° — Binaire } symétrie

Plan de symétrie partage le polyèdre de telle façon que les sommets sont situés 2 à 2 sur des perpendiculaires à ce plan et à égale distance de part et d'autre de ce plan.

Substances minérales d'aspect et de composition très variables, qui constituent l'écorce solide du globe.

Les caractères servant à leur description sont de 2 genres :

Caractères physiques : { forme, clivage, structure, cassure, transparence, réfraction, polarisation, éclat, couleur, propriétés thermiques, élasticité, dureté, densité, magnétisme, électricité, Phosphorescence, toucher, saveur, odeur.

Caractères chimiques : { An. qualitative, quantitative.

~~Formes cristallines composées~~

2. Les Systèmes cristallins groupent les rapports géométriques ~~des cristaux cristallisés sont des polyèdres limités par des faces planes, les arêtes et angles certaines faces, toute forme relativement aux axes de symétrie, toute forme~~ des formes relativement aux axes. Toute forme prise dans un système est incompatible avec celle des autres systèmes.

Pour une même espèces les angles sont constants.
Les angles de clivage sont également constants pour une même espèce minérale.

Excepté dans les cas d'Hémiédrie, toute face d'un cristal a une autre face opposée qui lui est parallèle.

Loi de Symétrie d'Haüy : « les parties de même espèce, dans un cristal, sont modifiées en même temps, d'une même manière, tandis que les parties d'espèces différentes sont modifiées d'une manière différente, par troncatures, biseautements, pointements.

Toutes les formes connues des minéraux, ou des produits cristallisés de laboratoire, peuvent être ramenés à 6 systèmes cristallins.

Systèmes cristallins (voir ailleurs).

Mesures des angles :

Goniomètres d'application : (ou de Carangeot). On mesure l'angle vrai au moyen des deux alidades en acier, que l'on reporte ensuite sur un rapporteur où on lit le nombre de degrés.

Goniomètres à réflexion :

Imperfections des cristaux : les cristaux dans la nature n'ont pas la perfection qu'on leur donne dans les descriptions théoriques. Ils sont déformés par le développement inégal de certaines faces aux dépens d'autres. Ex : Quartz, Pyrite. Les faces présentent parfois des irrégularités, des rugosités, des courbes, des stries ; les faces sont parfois creuses (Crémier).

Clivages : les cassures ne sont pas inégales, mais en lames planes, parallèles les unes aux autres, et à une face naturelle du cristal.
Le nombre et la direction des clivages est intimement lié avec le système cristallin.

Toutes les fois qu'un minéral possède moins de trois clivages, il ne peut appartenir au système cubique.

Un seul clivage situé ailleurs que suivant la base exclut le 2e et le 3e système.
Etc. (Voyez Pisani p. 56.)

Structure et formes irrégulières des minéraux :

Structure grenue : grès, parties cristallines arrondies
" lamellaire : réunion de lamelles { saccharoïde. écailleuse.
" fibreuse : asbeste.
" bacillaire : calcaire, tourmaline ; cristaux cylindroïdes réformés.
" compacte : particules cohérentes.
" terreuse : craie, argile.

Nodules : concrétions arrondies ; souvent creux à l'intérieur et formés de couches concentriques.

formes globulaires : globules à couches concentriques, oolites, bisolites.

mamelons : segments de sphère.

Stalactites : concrétions coniques.

dendrites : ramifications de cristaux grouppés.

Pseudomorphoses : Un minéral se présente sous une forme empruntée à une autre espèce, et il n'a pas la composition de cette espèce.

Ex : Stéatite ayant la forme du quartz.
Limonite " " de la Pyrite.

c'est à proprement parler l'Epigénie.

Il y a aussi Pseudomorphose par remplacement de matière organiques : bois silicifiés.

Cassure : Elle varie suivant les espèces minérales :

Quartz : conchoïdale.
agate : écailleuse.
marbre : saccharoïde
unie, inégale, terreuse.

Transparence :

Un minéral est transparent quand il laisse passer la lumière : cristal de roche.
Un minéral est translucide quand il laisse passer une lueur : agate.
translucide sur les bords. — opaque.

Eclat et couleur :

Eclat métallique : métaux, sulfures.
" métalloïde : Hypersthène, Diallage, anthracite.
" adamantin : Diamant
" vitreux : quartz
" résineux : opale, asphalte.
" gras : Eléolithe.
" nacré : apophyllite, mica.
" soyeux : gypse, amiante

Couleurs

C. métalliques :
Rouge : cuivre natif
Brun : Stanbergite
Jaune : Pyrite, or
Blanc : argent, Etain
gris : galène, Platine

C. non métalliques :
Blanc
gris, etc. etc.

Certains minéraux ont des couleurs propres, d'autres ont des couleurs accidentelles dues à des mélanges mécaniques ou à des combinaisons chimiques.

Certains minéraux ont des couleurs changeantes, suivant le sens où on les regarde : cela est dû soit à des filets qui se trouvent à l'intérieur, soit à des fissures, soit à un commencement d'altération. M. chatoyant : labradorite, pierre de lune ; M. irisé : opale, aventurine.

Couleur de la poussière : Elle diffère souvent de celle de la masse.

Certains minéraux présentent des teintes différentes par réflexion ou par transmission : fluorine.

Certains minéraux ont des couleurs différentes par transmission suivant le sens où on les observe : Cordiérite (Dichroïsme, Trichroïsme).

H

Propriétés thermiques des minéraux :

Dilatabilité : les cristaux chauffés se dilatent, et par suite les angles varient : l'angle du Rhomboèdre de spath étant de 105° 4' à 10° ~~plus que~~ diminué de 8' à 100°.
Cette dilatation des cristaux est en rapport avec le plus ou moins de symétrie, qui existe dans les différents systèmes cristallins. La dilatation n'est égale dans tous les sens, que dans le système cubique.

Conductibilité : Elle est égale dans tous les sens pour le système cubique, dans les autres systèmes elle éprouve des maxima et des minima, dans des positions suivant en rapport avec les axes optiques.
Expériences de Jannettaz : cercles, ellipses, de la cire fondue.
Dans les cristaux clivables, le grand axe de l'ellipse est toujours parallèle au plan du clivage le plus facile.

Dureté :
Echelle des dureté de Mohs :
1 Talc
2 gypse
3 Calcaire
4 Fluorine
5 apatite
6 orthose
7 Quartz
8 Topaze
9 Corindon
10 Diamant
1 et 2 sont rayés par l'ongle, 1 à 5 par acier. On cherche quel degré de l'échelle est rayé le plus difficilement, puis on examine si le degré de dureté supérieur à ce dernier rage. à son tour la substance. on dira donc qu'un minéral a une dureté 5, ou 5,5, etc.

Tenacité, **friabilité**, **flexibilité** :

Densité : caractère important. Pour une même espèce la densité est à peu près constante dans les diverses variétés.
1° méthode de la balance hydrostatique.
2° ——— du flacon.
3° ——— de la balance de Nicholson.
4° ——— Balance à spirale de Jolly.

Magnétisme : Quelques minéraux agissent sur l'aiguille aimantée : fer oxydulé, pyrite magnétique, grenats, minéraux riches en fer. La plupart de ces minéraux sont simplement magnétiques, c.à.d. attirent chaque pôle d'un aimant ; d'autres comme le fer oxydulé, la pyrite magnétique, sont en outre magnéto-polaires et agissent par attraction sur un des pôles et par répulsion sur l'autre.
Beaucoup de minéraux contenant du fer deviennent magnétiques après avoir été chauffés.

Electricité : les minéraux peuvent devenir électriques lorsqu'on les frotte, les chauffe, ou les soumet à une pression. on juge de l'électricité par l'action sur l'aiguille de Haüy
E. par frottement : Diamant, Gemmes, Succin.
E. par pression : Spath d'Islande.
E. par chauffage : Tourmaline, Boracite.

Phosphorescence : on la produit
- par Insolation : Diamant.
- " Echauffement : fluorine, apatite terreuse.
- " Electricité (on le soumet à des décharges).
- " frottement, 2 quartz, Dolomie, Blende.

Propriétés organoleptiques des minéraux :

Action sur le toucher :

Le talc, graphite, sont onctueux et gras.
L'amianthe est doux au toucher
Pierre ponce est âpre au toucher
Les minéraux produisent des impressions de froid différentes, suivant qu'ils sont bons conducteurs (quartz) ou mauvais (verre).

Happement à la langue :

Il dépend de l'absorption exercée par les minéraux sur l'humidité : écume de mer, argiles.

Saveur : applicable aux seules substances solubles

Saveur acide
" piquante (sel ammoniac)
" salée (sel marin)
" fraîche (nitre)
" astringente (alun)
" amère (sulfate de magnésie)
" douce (Borax).

Odeur : Quelques minéraux ont une odeur propre (Bitume, soufre, Pétrole).
Certains calcaires ont une odeur fétide.
Certains tuyaux ont une odeur argileuse.

Propriétés chimiques des minéraux :

L'analyse qualitative suffit ordinairement ; l'analyse quantitative n'est utile que pour les substances nouvelles.

Analyse qualitative :

Essais par voie sèche : ~~[illegible]~~ On détermine ainsi la nature des éléments d'une foule de minéraux ; pour certaines classes (Silicates) la connaissance de la nature des éléments ne suffit pas pour déterminer l'espèce minérale.

— 1° Chalumeau : Ces essais consistent dans l'action qu'une température élevée, produite par le dard d'une flamme oxydante, fait subir aux minéraux traités seuls ou en présence de certains réactifs :

Échelle de fusibilité de Kobell
1. Stibine.
2. Mesotype.
3. grenat almandin.
4. amphibole actinote.
5. orthose.
6. Bronzite.

on fait fondre au Chalumeau des éclats minus du minéral dont on veut connaître le degré de fusibilité comparativement à des éclats des minéraux de l'échelle.

On fait au chalumeau différents essais, tels sont les suivants : Essai dans un tube fermé à un bout, dans un tube ouvert aux 2 bouts, essais sur le charbon, essais à la soude, essais pour la coloration de la flamme, essais au borax, au sel de phosphore, au nitrate de cobalt.

— 2° Spectroscope : surtout les métaux alcalins et alcalino-terreux, donnent des raies caractéristiques, ainsi : potassium, Sodium, Cæsium, etc. Calcium.
Sodium : raie jaune unique.
Chaux : une raie verte et une rouge.
Potasse : une raie rouge sombre
Baryte : plusieurs lignes vertes, serrées les unes contre les autres.

Essais par voie humide : Action des acides sur le minéral en poudre. — Les minéraux qui résistent à l'action des acides peuvent être attaqués par fusion avec le Carbonate de soude, au creuset de platine, en acide ou potasse, au creuset d'argent.

On emploie ensuite certaines réactions caractéristiques pour quelques acides et plusieurs métaux.

Analyse quantitative :

De la structure cristalline.

~~Par suite de un groupement régulier, le cristal présente les mêmes pôles, les mêmes axes, la même symétrie, la même structure que la particule ; la structure particulaire se confondent avec la structure moléculaire, et nous pouvons juger de celle-ci par celle-là.~~

Les Grandes lois de la Minéralogie

Lapparent p. 8

Formes fondamentales : les espèces minérales ont des formes propres caractéristiques. La forme de chaque espèce, résume en elle seule toute la symétrie dont le minéral cristallisé est susceptible, et constitue le caractère le plus saillant du type minéralogique. De cette forme primitive il y a des formes déduites secondaires.

Dans chaque minéral, la forme primitive est constante et déterminée en genre et en espèce, c'est à dire non seulement dans sa figure générale, mais encore dans la valeur des angles dièdres que ses faces forment entre elles et même dans leurs dimensions.

Ex : le Rhomboèdre est une forme primitive commune à plusieurs espèces minérales : le calcaire, le quartz, l'oligiste ; mais ce polyèdre est particularisé dans chacun de ces minéraux par l'angle des faces culminantes. En effet, cet angle est de 105° pour le Calcaire, 94° pour le quartz, 86° pour l'oligiste. Comme exemples de minéraux prismatiques relativement auxquels le principe semblerait se trouver en défaut, nous citerons l'émeraude et la pyromorphite, qui l'une et l'autre ont pour forme primitive un prisme hexaèdre régulier. Ces prismes ont nécessairement les mêmes angles, mais ils doivent être considérés comme ayant, pour une même base, des hauteurs différentes. Ainsi dans le prisme de l'émeraude, la hauteur égale le coté de la base, tandis que, pour l'autre espèce, ces dimensions sont entre elles comme 7 est à 10.

Constance des angles : Romé de l'Isle établit ce principe que dans tous les cristaux d'une même minéral les faces homologues doivent former rigoureusement les mêmes angles dièdres.

Lois de la Rationnalité des axes, ou Loi des paramètres : (Loi de Symétrie).

Bischof.

Il n'y a que 3 types de faces : Pyramide : ma, nb, oc.
Prisme : $ma, nb, \infty c$.
Pinacoïde : $ma, \infty b, \infty c$.

On peut toutes les faire dériver des faces de la pyramide, qu'on pourra donc considérer seule ici. Or les faces réalisées ou réalisables d'un cristal, n'ont pour paramètre que des valeurs où les coefficients $m.n.o.$ sont des nombres entiers. En d'autres termes le rapport des coefficients $m.n.o.$ est rationnel.

Ainsi si une face a pour paramètre
$a.\ b.\ c.$, les autres pourront avoir :
$a.\ b.\ 2c$
$a.\ 2b.\ c$
$3a.\ 4b.\ 2c$
$a.\ b.\ \infty c$
$2a.\ 3b.\ \infty c$
$a.\ \infty b.\ 2c$

Mais $m.n.o.$ ne pourraient avoir des valeurs irrationnelles $\sqrt{2}$, ou $\sin 20°$

Pour une même espèce minérale, toutes les formes ont des longueurs d'axes qui sont multiples l'une de l'autre par des nombres très simples.

Exemples : l'Idocrase et le Zircon, quadratiques, ont 1 prisme octaèdre principal, et les valeurs 3 et 1/3 pour l'Idocrase, 1, 1/2, 1/3 pour le Zircon.

Topaze (rhombique) a pour coefficients	1. 2. 3.
Apatite	1. 1/2
Émeraude	1. 2.
Augite	1. 2. 3. 6. 4.

La longueur des paramètres se mesure et s'exprime en millimètres ; ce n'est que le rapport de ces valeurs qui est un nombre rationnel, constant.

Explication : Haüy a expliqué la constance des angles et celle des paramètres par sa théorie des décroissements. Il considérait tout prisme naturel (par ex.), comme composé d'un grand nombre de petits prismes semblables et régulièrement juxtaposés, (comme les briques d'un mur), constituant des rangées de particules intégrantes, susceptibles d'ailleurs d'être isolées par le clivage.

Il expliquait ainsi les faces planes des cristaux, la constance des angles, la loi des paramètres, la constance des clivages.

Exemple : La galène cristallise en cubes, octaèdres, rhombododécaèdre ; les clivages sont cubiques. Des décroissements sur les angles du prisme donnent l'octaèdre ; sur ses arêtes le rhombododécaèdre.

Réfutation de la théorie de Haüy : On abandonne la théorie de Haüy. D'après Cayotte les particules intégrantes se toucheraient ; elle n'est pas compatible avec les phénomènes optiques, et calorifiques des minéraux. Des gaz traversent les cristaux ; les cristaux sont élastiques : il y a donc des vides entre les molécules cristallines.

On considère les particules de Haüy, comme étant des molécules cristallines, sans formes propres (connues) et caractérisées seulement par leur position. Dans chaque direction déterminée d'un cristal les molécules sont équidistantes.

Lorsque ~~les molécules viennent~~ permet aux molécules de se grouper librement, elles se disposent régulièrement dans leur position ~~une constituant et centrant, la force d'attraction qui les unit~~ d'équilibre qui leur convient le mieux, et de telle sorte que leurs axes de même nature sont parallèles. Elles donnent ainsi naissance à des réseaux à mailles régulières dont les nœuds sont occupés par les molécules solides ; la particule qui présente cette structure moléculaire est dite cristallisée.

A la structure cristalline, on doit opposer la structure amorphe. L'amorphie est un état analogue à l'état liquide, mais où les molécules ont perdu leur mobilité. Elle se produit lorsqu'un corps passe rapidement de l'état liquide à l'état solide : les molécules n'ont pas le temps alors de prendre leur position d'équilibre stable : elles ne forment plus un réseau régulier.

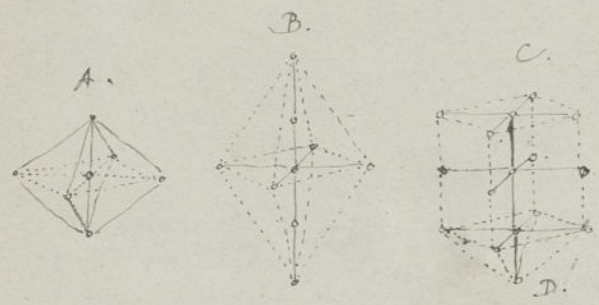
On doit donc considérer un cristal comme un polyèdre formé de tranches régulièrement superposées de molécules (cristallines) toutes semblables les unes aux autres, et régulièrement disposées.

Un cristal formé de ces molécules distinctes, produit sur l'œil le même effet qu'une forêt vue de loin, où les arbres distincts, formant une ensemble sont homogènes.

~~Cristaux amorphes : ils existent [illegible] complète. Quand il sont [illegible] se [illegible] de sa [illegible] mais : [illegible] de sont [illegible] dans le [illegible] ~~
~~stant (p.ex.) il sont souvent [illegible] et [illegible]. ~~
~~Ex : [illegible] quand [illegible] sont [illegible] sont ~~
~~de [illegible] de [illegible]. ~~
~~Formes de cristaux : [illegible], [illegible] ne [illegible] ~~
~~[illegible]. Il semble [illegible] ~~
~~[illegible], mais [illegible] [illegible] ~~
~~que [illegible]. ~~
~~Il existe une [illegible] ~~
~~des [illegible] ne [illegible] ~~
~~[illegible] dans une [illegible] (tale, [illegible]) [illegible]. ~~

Les molécules ne sont caractérisées que par leur position : les faces d'un cristal, sont des plans tangents à un système de molécules, les faces de clivage passent par un nombre plus grand de molécules (plans moléculaires). Les arêtes du cristal, les axes, sont des lignes moléculaires, passant par les molécules équidistantes. Chaque face d'un cristal contient donc un réseau moléculaire.

Cette disposition régulière des molécules cristallines explique :
1° le mode de croissance des cristaux
2° l'existence de la loi des paramètres.
3° le clivage
4° toutes les autres propriétés de cristaux.



1. La croissance des minéraux c'est la superposition en lignes parallèles régulières des molécules, quand le corps passe à l'état solide.

Comparons le corps liquide à une place remplie de soldats en mouvements ; à un signal ils s'arrêtent, et se rangent les uns à coté des autres en carré. Ils sont alors parallèles et équidistants, dans 2 directions ; dans les cristaux l'arrangement des molécules se fait de même façon, mais dans 3 directions.

On se figure facilement cette disposition en choisissant des cas très simples. La fig. A. est le cas très simple où une molécule centrale exerce une même attraction en haut qu'en bas, à droite qu'à gauche, en avant qu'en arrière : — Si le développement se poursuit suivant la même loi, on aura finalement une double pyramide comme celle indiquée pour le réseau, limitant c'est la même forme initiale, grossie par adjonction de nouvelles couches.

La croissance peut avoir lieu inégalement comme dans le cas de B. Il s'ajoute 2 molécules dans le sens vertical, tandis qu'il ne s'en ajoute qu'une dans les sens horizontaux.

Il peut s'ajouter des molécules suivant d'autres directions que les précédentes, et d'une manière générale dans toutes les directions qui sont des lignes moléculaires. Fig. C. Il se forme ici des adjonctions de molécules dans les 6 directions précédentes, et dans 4 nouvelles.

2°. Explication des paramètres : Cette loi est une conséquence de la disposition régulière des molécules.

Si l'on appelle α les distances qui séparent les molécules sur l'axe brachydiagonal, β sur l'axe macrodiagonal, γ sur l'axe vertical ; ces distances seront infiniment petites ; il est plus facile d'exprimer par a.b.c. le rapport de ces grandeurs.

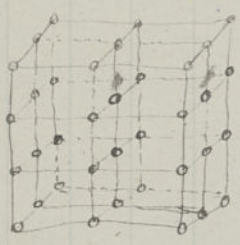
$$\alpha : \beta : \gamma = a : b : c$$

Si l'on connaît la position de ces 3 lignes moléculaires, on peut facilement exprimer la position des faces des cristaux réalisés par ces assemblages moléculaires simples :

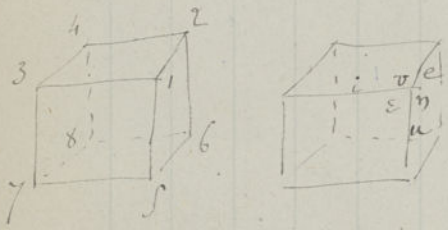
fig. A. aura pour paramètres de ses faces $a : b : c$
— B — $a : b : 2c$
— C — $a : b : \infty c$
— D — $\infty a : \infty b : c$
$a : b : c$

Comme les molécules pendant la croissance du cristal ne peuvent s'ajouter dans les directions différentes que par 1, 2, 3, — n nombres entiers, les faces cristallines qui les recouvrent, ne peuvent avoir pour paramètres que des valeurs où les coefficients sont des nombres entiers.

Ce sont les cas très simples, ces cas réalisés où le nombre des molécules est très grand.



3. Explication du clivage : un cristal est donc un assemblage régulière de nombreuses molécules, disposées régulièrement. Les nœuds sont les molécules ; les fils sont les axes immatériels, suivant lesquels sont les maxima d'attraction des molécules.
Un plan passant par le réseau, traverse au moins 3 molécules : c'est une face réalisable du cristal. Les faces de clivage sont celles où les molécules sont les plus nombreuses, serrées : elles correspondent par conséquent le plus souvent aux faces prismatiques ou pinakoïdes.



Le système élémentaire est une maille du réseau ; d'elle dépend toute la symétrie du système. La maille la plus simple comprend 8 nœuds (molécules).

Les systèmes élémentaires qui remplissent les conditions d'un arrangement régulier des molécules, ne sont qu'au nombre de 14 : il n'y a donc que 14 arrangements possibles des molécules dans les cristaux :

appelons e les distances des molécules 1 — 2
— i — 1 — 3
— u — 1 — 5
— ε l'angle entre u et i — ε
— η — e et u
— v — i et e

on pourra exprimer comme suit les 14 arrangements

Système triclinique :

1. e . i - u . inégaux ; ε . η - v . inégaux et obliques. Le système élémentaire est un parallélépipède oblique.

2. Système monoclinique

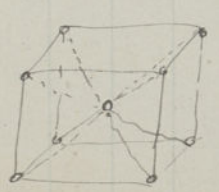
e . i . u . inégaux ; $\varepsilon = v = 90°$; η oblique. Le système élémentaire est un prisme rhomboïdal droit

3. $e = i$; u différent ; $\varepsilon = \eta$; v différent, tous obliques. prisme rhombique oblique.

Système Rhombique

4. e . i . u : inégaux ; $\varepsilon = \eta = v = 90°$ parallélépipède rectangulaire.

5. Le même arrangement centré. Au milieu des 8 molécules s'entrave une neuvième équidistante.
Parallélépipède rectangle centré



6. $e = i$; u différent. $\varepsilon = \eta = 90°$
v différent, oblique. Prisme rhomboïdal droit

7. Le même arrangement centré
Prisme rhomboïdal droit, centré.

Système quadratique

8. $e = i$; u différent ; $\varepsilon = \eta = v = 90°$
Prisme quadratique

9. Le même arrangement centré
Prisme quadratique centré

Système hexagonal :

10. $e = i$; u différent, $\varepsilon = \eta = 90°$
$v = 120°$

Comme la distance O entre les molécules 1 et 4 est égale aux distances e et i, on a $e = i = O$ et le système réticulaire élémentaire est un prisme triangulaire régulier

11. $e = i = u$; $\varepsilon = \eta = v$ oblique
Le système élémentaire est un rhomboèdre

Système régulier

12. $e = i = u$; $\varepsilon = \eta = v = 90°$
Cube

13. Le même arrangement centré
Cube centré

14. Le même arrangement que 12, mais les molécules sont au milieu des faces.
Cube à faces centrées.

Dans les cristaux réguliers, cet arrangement est régulier, si une sphère comprenant une molécule en rencontre une autre, il y en aura un grand nombre d'autres semblablement orientés à sa surface

Dans les cristaux ordinaires cet arrangement n'est régulier que dans les sections parallèles à la section principale. Un cercle comprenant une molécule et passant par une autre, en rencontrera un grand nombre d'autres semblables

Dans les autres cristaux pas d'arrangement régulier.

Les raisons pour lesquelles les molécules se groupent sous telle ou telle symétrie, sont inhérentes à la molécule elle-même ; elles doivent avoir une structure interne par suite de laquelle elles s'attirent ou se repoussent davantage dans les diverses directions.

Les formes hémiédriques ont même réseau moléculaire que les holoédriques, mais elles ont un mode de croissance spécial, dû aux propriétés de la molécule même.

Structure cristalline

Lois de la Symétrie : Constance des angles. Les faces homologues des cristaux d'un même minéral forment rigoureusement les mêmes angles dièdres.

Formes fondamentales, formes secondaires ou dérivées.

Constance du type primitif de chaque espèce { constance de figure / valeur des angles dièdres / dimension des faces.

Exemples : Rhomboèdres ; Calcite 105° ; quartz 94°½ ; dioptase 86°½

Prisme hexagonal, Émeraude : coté de base = hauteur,

pyromorphite — à — comme 10 à 7

Loi de la Rationalité des axes, ou Loi des paramètres.

Des types de faces, identiques à eux de la Pyramide.

Les paramètres des faces de la pyramide sont toujours des valeurs où les coefficients m n o sont des nombres entiers (le rapport des coefficients m n o est rationnel). Exemples.

Explication de ces lois : elle est basée sur la structure cristalline.

Théorie des décroissements de Haüy : ce qu'elle expliquait

Théorie des réseaux moléculaires de Delafosse, Bravais { structure cristalline / — amorphe

Le cristal est un polyèdre formé de tranches superposées de molécules semblables, disposées régulièrement.

La théorie des réseaux moléculaires de Bravais, explique :

1° la croissance des cristaux : superposition en lignes parallèles régulières des molécules.

Exemples simples. — Superposition en diverses directions.

2° la loi des paramètres :

1

Principes d'optique minéralogique.

(Réfraction - Polarisation rectiligne).

Exemples de quelques substances biréfringentes à un axe et leurs indices de réfraction

---

cristaux positifs

apophyllite	$n_o = 1,5317$	$n_e = 1,5331$	(lumière rouge)
zircon	$n_o = 1,92$	$n_e = 1,97$	"
quartz	$n_o = 1,5409$	$n_e = 1,5499$	"
dioptase	$n_o = 1,667$	$n_e = 1,723$	"

cristaux négatifs.

Calcaire	$n_o = 1,6543$	$n_e = 1,4833$	(lumière rouge)
Tourmaline	$n_o = 1,6435$	$n_e = 1,6222$	"
Emeraude	$n_o = 1,5771$	$n_e = 1,5720$	(lumière verte)
Idocrase	$n_o = 1,719$	$n_e = 1,718$	(lumière jaune)
Méionite	$n_o = 1,59$	$n_e = 1,55$	"
Paranthine	$n_o = 1,566$	$n_e = 1,545$	(lumière rouge)

Propriétés optiques des minéraux

Réfraction simple :

(Introduction) : Quand la lumière traverse les minéraux diaphanes, elle éprouve des modifications dont la connaissance est mise à profit pour distinguer les unes des autres, les différentes espèces. Au point de vue optique, les cristaux se partagent en 3 grandes classes :

1° Monoréfringents { système cubique, ou subst. amorphes.

2° Biréfringents à 1 axe { — Quadratique
— Hexagonal

3° Biréfringents à 2 axes { — Rhombique
— Klinorhombique
— Triclinique

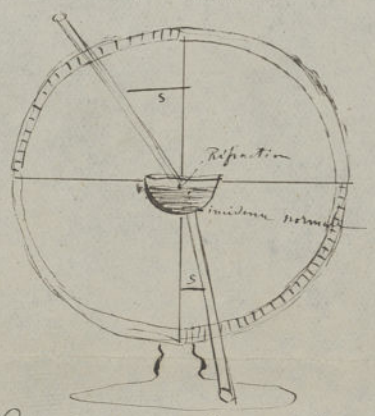
Avant de passer en revue les propriétés optiques des minéraux, il importe de chercher à nous rendre compte du mode de propagation de la lumière :

Lorsque la lumière traverse un milieu transparent parfaitement homogène, c'est-à-dire ayant la même densité et la même composition dans toutes ses parties, elle se propage en ligne droite. Ex : on ne voit ~~la lumière~~ qu'à travers un tube droit ; un cône lumineux pénétrant dans une chambre noire a des contours rectilignes.

Les rayons lumineux sont déviés en passant d'un milieu dans un autre, ~~sous~~ sous une incidence non normale, par exemple de l'air dans l'eau ; Ex : bâton brisé dans l'eau, élévation apparente du fond des vases qu'on remplit graduellement d'eau.

Lois de la réfraction simple, ou de Descartes :

1° Quand un rayon lumineux passe d'un milieu dans un autre il se brise, et le rayon incident et le rayon réfracté restent dans un même plan perpendiculaire à la surface de séparation des milieux.



2° Pour deux milieux déterminés, le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction est un nombre constant quelle que soit d'ailleurs l'incidence. — L'indice de réfraction est constant.

L'angle limite est celui au delà duquel commence la réflexion totale. Cet angle est de 48°30' de l'eau à l'air, 41° du verre à l'air.

Double réfraction

Erasme Bartholin découvrit en 1670 que si on regarde un objet à travers un cristal de spath on le voit double. ~~Cette observation fut complétée par Huyghens qui appelle pour suite aux optiques que observa qu'un second cristal placé sur le premier donnait tantôt 2 images, tantôt 4, d'intensité égale ou variable.~~ Ce phénomène n'a pas lieu suivant l'axe principal, qu'on appelle aussi par toute page optique.

Ce phénomène de la double image est propre aux substances cristallisées bien qu'on ne le rencontre pas dans toutes ; il n'existe pas chez les substances amorphes, mais on peut l'y produire artificiellement par exemple en comprimant une prisme de verre dans une seule direction de manière à produire un rapprochement plus considérable dans ses molécules dans un sens que dans ~~un~~ l'autre.

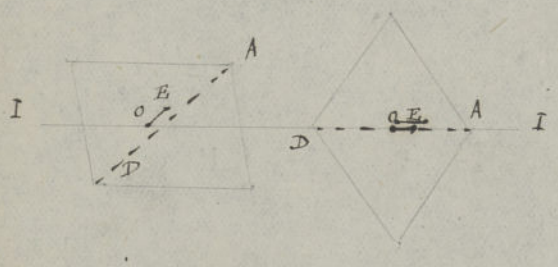
Très visible avec le spath et le soufre

De la double réfraction des cristaux à 2 axes :

topaze, Arragonite, Feldspath : deux directions dans lesquelles le rayon incident passe sans se bifurquer.

les 2 rayons sont tous deux extraordinaires : on peut le vérifier facilement en coupant une topaze en morceaux dans différents sens que l'on recolle ensuite, puis on donne à ce bloc la forme d'un parallélipipède. En regardant alors une ligne droite au travers, on voit 2 images de la ligne, et chacune de ces 2 images est une ligne brisée dont les diverses portions correspondent aux différentes fragments de la topaze ; or si l'un des systèmes de rayons réfractés suivait les lois de Descartes, l'image qui en résulterait serait une ligne droite, car la direction des rayons dans le prisme serait indépendante de la direction des axes optiques dans chaque morceau qui le compose.

Section principale :



la double image est beaucoup moins nette, avec les cristaux de quartz, de topaze, etc. ; les deux images sont alors si voisines qu'elles se confondent. on peut toutefois les distinguer à la loupe ; ou bien regarder l'objet non plus à travers deux faces parallèles, mais à travers deux faces inclinées ; l'expérience se fait très bien dans ces dernières conditions en visant une lumière éloignée.

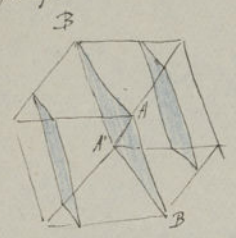
Examinons un point sur un papier à travers un cristal de spath : il paraîtra double. Faisons tourner le cristal sur lui-même parallèlement aux faces d'incidence et d'émergence, l'une des images tourne autour de l'autre, et décrit ainsi un cercle autour de l'image immobile. On appelle <u>image ordinaire</u>, l'immobile ; et <u>image extraordinaire</u>, la mobile : la raison en est que le rayon réfracté qui produit l'image immobile suit dans sa route les lois de la réfraction simple, tandis que l'autre n'obéit pas aux mêmes lois.

On peut se persuader de ce fait, en recevant un rayon lumineux sur une face de ce cristal, normalement ou obliquement, et en mesurant les angles.

Le cristal de spath étant posé sur une feuille de papier sur laquelle on a marqué un point, supposons l'œil placé dans le plan d'incidence. le rayon réfracté ordinaire sera aussi dans ce plan, comme l'indique la loi de la réfraction simple, et l'image ordinaire O du point sera sur la trace II du plan d'incidence avec le papier. mais il n'en sera pas de même de l'image extraordinaire E_1, et la ligne qui joint les deux images $O.E_1$. fera un angle avec la trace dont nous parlons. Or on observe que cette ligne $O.E_1$. reste toujours parallèle, pendant le mouvement de rotation du cristal à la bissectrice AD de l'angle obtus de la face parallèle au plan du papier. Aussi quand grâce à ce mouvement, cette bissectrice est venue se placer parallèlement à II l'image extraordinaire est ~~venue se~~ elle ~~place parallèlement~~ même sur cette trace, et les 2 rayons réfractés se trouvent tous deux dans le plan d'incidence.

Dans ce cas, le rayon extraordinaire obéit à la première loi de la réfraction simple, comme l'autre rayon. on nomme

~~La section principale d'un Spath est un plan parallèle à la direction du rayon incident et l'axe optique.~~



les sections perpendiculaires ~~à une~~ à la face, et parallèles à AD, sections principales. Toute section principale est parallèle à l'axe optique, et à la direction du rayon incident.

Si on taille une face artificielle perpendiculaire à l'axe optique, tout rayon tombant sur cette face sera nécessairement dans une section principale, et les deux rayons réfractés seront toujours dans le plan d'incidence; si le rayon incident est normal à la face artificielle, il n'y a plus qu'un rayon réfracté.

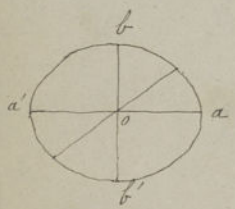
Si le rayon incident est oblique à la face artificielle, le rayon extraordinaire est dans le plan d'incidence, mais n'obéit pas à la 2e loi de Descartes. L'indice de réfraction varie selon l'angle que le rayon incident fait avec l'axe optique du cristal; plus l'angle croît, plus l'inégalité de ces indices va croissante, et elle est maximum si le faisceau incident est perpendiculaire à l'axe optique. Dans ce cas, le rayon O. et le rayon E. suivent les 2 lois de la réfraction simple.

Huyghens a indiqué des constructions géométriques fort simples qui permettent de trouver aisément, dans tous les cas, la direction des rayons réfractés.

L'indice de réfraction du rayon ordinaire peut être plus grand ou plus petit que celui du rayon extraordinaire; s'il est plus grand le cristal est négatif (Calcite, Tourmaline, Émeraude) s'il est plus petit le cristal est positif (quartz, glace).

cristaux positifs et négatifs.

Raison de cette différence: la réfraction est causée par la différence de vitesse qu'éprouvent les ondes d'éther en passant d'un milieu dans un milieu plus réfringent; le rayon ordinaire se comporte comme s'il se mouvait dans un milieu homogène non cristallisé, tandis que le rayon extraordinaire se propage avec plus ou moins de facilité, selon qu'il se meut dans telle ou telle direction relativement à l'orientation des molécules cristallines. Dans le Spath d'Islande, c'est la vitesse du rayon extraordinaire qui est la plus grande; le contraire a lieu dans le quartz.



admettons qu'à un moment quelconque une onde lumineuse extraordinaire vienne à prendre naissance à l'intérieur du cristal au point O; au bout d'un certain temps, sa surface parviendra à la fois aux points a et b. La droite ob est parallèle à l'axe optique. Sur les axes oa et ob construisons une ellipse: la surface de l'onde atteindra en même temps tous les points situés sur la courbe; mais puisque tout se passe de la même manière autour de l'axe bb', il est évident que cette surface n'est autre chose que celle d'un ellipsoïde de révolution, engendré par la rotation de l'ellipse aba'b' autour de l'axe bb'.

Quand à l'onde ordinaire elle se propage avec une vitesse constante, et sa surface est celle d'une sphère, dont le centre est le point O. Dans le cas du Calcaire, au bout du temps considéré, sa surface passe par les points b, b', d'où l'on voit que l'onde extraordinaire enveloppe l'onde ordinaire, et que ces 2 surfaces sont tangentes l'une à l'autre aux deux extrémités de l'axe de révolution de l'ellipsoïde.

Conclusion: différence de forme de l'ellipsoïde de révolution des cristaux négatifs et positifs.

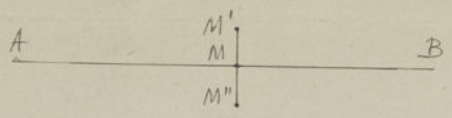
Qu'est ce que la lumière ?

Théorie de l'émission de Newton : La lumière serait formée de molécules matérielles excessivement ténues, que les sources lumineuses émettent à tout instant, et qu'elles projettent dans l'espace avec une vitesse uniforme : c'est le choc de ces projectiles sur la rétine, qui ébranlant les nerfs optiques, déterminerait la sensation de la ~~chaleur~~ lumière.

Théorie des ondulations : Huyghens, Fresnel,

La lumière est due aux vibrations d'un fluide extrêmement subtil et élastique, qu'on nomme éther. Ce milieu pénètre en outre tous les corps, et se trouve répandu dans tous les intervalles que comprennent leurs molécules. La vitesse de vibration de l'éther, ou vitesse de propagation des ondes lumineuses est uniforme et constante dans un milieu homogène, mais elle varie en passant d'un milieu dans un autre.

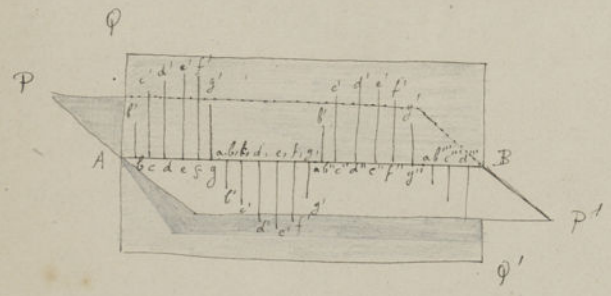
Tandis que l'onde sonore se propage dans l'air en parcourant 331 m par seconde, l'onde lumineuse franchit en ce temps 298 000 000 m. Mais la différence capitale entre ces 2 modes de mouvements vibratoires, est que les vibrations sonores s'effectuent dans le sens même de leur propagation, tandis que les vibrations lumineuses ont lieu dans un sens perpendiculaire à la direction du mouvement, c'est à dire parallèle à la surface des ondes.



Le mouvement est le même qui se produit à la surface de l'eau, en partant de A et en se propageant dans la direction AB, et où chaque molécule ébranlée monte et descend tour à tour suivant M'M'' qui est perpendiculaire à la ligne suivant laquelle la propagation a lieu.

Un rayon de lumière naturelle est une file de molécules éthérées en mouvement. Chaque molécule vibre dans un plan perpendiculaire à la direction du rayon lumineux, et dans toutes les directions autour de l'axe du rayon, avec des vitesses et des intensités différentes (direction sans aucune variable).

Le rayon de lumière polarisée est caractérisé par la régularité des mouvements vibratoires. Voici comment Fresnel conçoit un rayon AB polarisé dans le plan PP'. Il admet que les vibrations des molécules d'éther, qui à l'état de repos se trouvent sur AB exécutent des vibrations perpendiculairement à cette droite dans un plan QQ' normal au plan de polarisation PP'. Les molécules b, c .... g, etc. par exemple qui se seraient trouvées sur AB au repos si aucun phénomène lumineux n'avait eu lieu, occupent à un moment donné les positions b' c' d' g' etc. comme le montre la figure. A un moment suivant, chaque molécule prend le déplacement que subissait la précédente antérieurement, et ainsi la courbe des déplacements chemine tout d'une pièce de A vers B, avec la vitesse de la lumière.



Polarisation :

Un soir de l'année 1808 Malus officier du génie, dirigeant en second les fortifications de Strasbourg, étant rentré dans une petite chambre de la rue de l'Ouest qu'il habitait pendant ses séjours à Paris, s'amusa à regarder le lever de la lune par réflexion sur les vitres du Luxembourg.

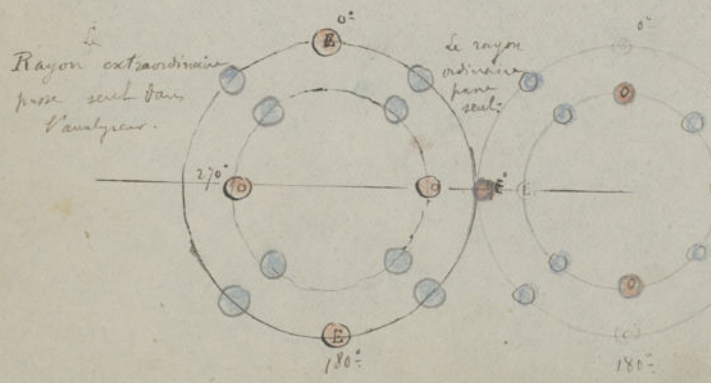
Puis il interposa entre son œil et l'image un spath et il s'aperçut avec étonnement que selon la position qu'il donnait au spath, tantôt il voyait 2 images, tantôt il n'en voyait qu'une seule. Malus fit d'autres expériences dans le but d'expliquer le fait qu'il venait de découvrir accidentellement et il en déduisit la théorie de la polarisation déjà soupçonnée par Newton.

Cette observation fut complétée par Huygens qui observa qu'en regardant un point sur un papier, à travers 2 spaths superposés que l'on fait tourner, on voyait tantôt 2 images, tantôt 4, d'intensité égale ou variable.

La lumière qui a été réfléchie dans certaines conditions, et celle qui a été réfractée dans le spath, ne jouit donc plus des mêmes propriétés qu'auparavant : il y a des directions où les rayons ne se réfractent plus une 2e fois, de plus les 2 faisceaux n'ont plus la même intensité, on dit alors que cette lumière est polarisée.

Le 1er prisme est le polariseur, le 2e l'analyseur.

Il y a 2 images dans 4 positions d'une révolution totale, quand les sections principales des deux spaths sont parallèles ou à angle droit, il y a 4 images dans les 4 positions intermédiaires.



Le rayon ordinaire en passant dans l'analyseur se divise en 2 rayons et donne 2 images ; si on tourne l'analyseur l'image ordinaire existe seule à 0° et 180° ; l'image extraordinaire existe seule à 90° et 270°.

de même, le rayon extraordinaire en passant dans l'analyseur se divise en 2 rayons et donne 2 images ; si on tourne l'analyseur l'image ordinaire existe seule à 90° et 270°, l'image extraordinaire existe seule à 0° et 180°.

On ~~peut dire dire~~ dit alors que le rayon ordinaire est polarisé dans le plan de la section principale, et c'est à ce plan qu'on donne le ~~nom de plan de~~ nom de plan de polarisation. Le rayon extraordinaire est polarisé dans un plan perpendiculaire au premier plan de polarisation.

En un mot, les 2 rayons O. et E. provenant d'un rayon de lumière naturelle qui a subi une double réfraction, sont polarisés à angle droit.

Nous pouvons maintenant définir la lumière polarisée.

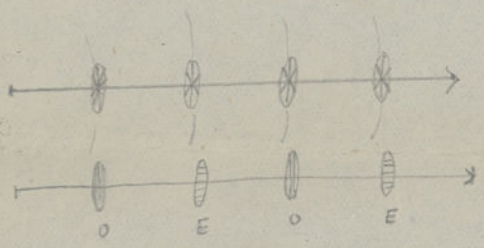
Tandis qu'un rayon de lumière naturelle est celui dans lequel les mouvements vibratoires s'effectuent successivement dans tous les sens à la surface de l'onde, ~~un rayon~~ un rayon de lum. pol. est celui où les vibrations sont devenues parallèles tout en s'effectuant dans des plans perpendiculaires au rayon.

~~Lorsque~~ Quand un rayon polarisé passe à travers un ~~polariseur~~ analyseur, toute vibration parallèle à la section principale passe sans altération dans le cristal ; toute vibration perpendiculaire est anéantie ; enfin toute vibration oblique aux deux premières se trouve décomposée en deux autres, l'une parallèle à la section principale du polariseur et qui passe, l'autre perpendiculaire qui est arrêtée.

Le plan de polarisation est le plan sur lequel la direction des vibrations est perpendiculaire.

O. vibre normalement à la section principale, le rayon E. parallèlement.

Lumière polarisée.

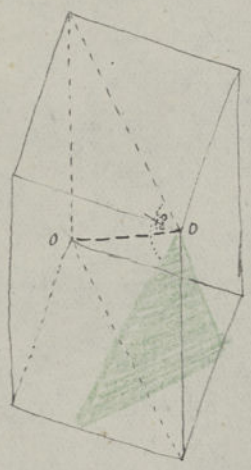


En deux mots, lorsqu'un rayon de lumière naturelle traverse un cristal (il éprouve des obstacles variables dans les différentes directions). Les obstacles ont pour effet de le partager en 2 rayons polarisés à angle droit ; c.à.d. dont les plans de polarisation sont perpendiculaires entre eux.

Les phénomènes de la Physique, par Guillemin
Paris 1869.

Double réfraction : Elle est générale à tous les cristaux biréfringents, mais difficile à observer à cause de la faible séparation des 2 rayons. On a imaginé des appareils pour séparer les 2 rayons polarisés.

Nicols : Le prisme de Nicol est un long prisme de Spath, scié en deux, suivant des diagonales parallèles de deux des plus longues faces (c.à.d. selon un plan perpendiculaire à la section principale) (zône R. OR). La section faisant angle de 17° avec R. et recollé dans sa position primitive par du baume de Canada.



L'Indice de réfraction du baume étant intermédiaire entre les 2 indices de réfraction du spath, il s'ensuit (on le démontre) que si un rayon de lumière pénètre dans le sens de la longueur du cristal et s'y partage en deux par la double réfraction, le rayon O. éprouve la réflection totale à la surface du baume de Canada, tandis que le rayon E. passe seul dans la 2e moitié du cristal et émerge par la face opposée.

Si on reçoit ce rayon E. au sortir du Polariseur en un second prisme de Nicol appelé analyseur, il est clair qu'on n'obtiendra jamais que 2 images. Si les sections principales des 2 prismes sont parallèles l'une des deux images, l'ordinaire, est nulle ; l'autre, l'extraordinaire, a son maximum* d'éclat ; si les sections principales sont à angle droit, toutes les deux disparaissent, puisque l'image O. qui devrait avoir une intensité maximum subit la réflexion totale, et que l'image extraordinaire a une intensité nulle.

* ce rayon étant extraordinaire vibre dans le plan de section principale du premier prisme.

Pince à tourmalines : La Tourmaline jouit de la même propriété que le Nicol, elle ne laisse passer que le rayon extraordinaire.

Si on regarde une bougie à travers une lame de Tourmaline taillée parallèlement à l'axe, on voit la flamme dans toutes les positions de la lame. Si on regarde la flamme à travers 2 lames de tourmaline qu'on fait tourner, on voit la flamme quand les axes des 2 lames sont parallèles, on ne la voit plus quand ces axes sont à angle droit.

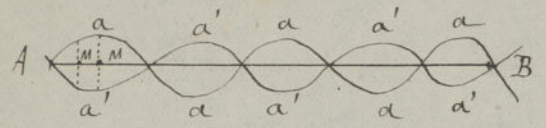
Ainsi, sous les Nicols comme sous les Tourmalines parallèles on a de la lumière, sous les Nicols croisés de l'obscurité.

Phénomènes de coloration produits par les lames minces :

Si entre les 2 nicols croisés on glisse une lamelle appartenant à un système régulier rien n'est changé.* Si on regarde une lamelle appartenant à un autre système cristallin, le champ est de nouveau éclairé et de plus coloré : c'est un phénomène d'interférence.

* En effet ces substances isotropes n'altèrent pas le sens des vibrations de la lumière transmise : l'élasticité de l'éther est la même dans tous les sens. Les lamelles des 2e et 3e systèmes, taillées perpendiculairement à l'axe, se comportent comme celles du S. Régulier.

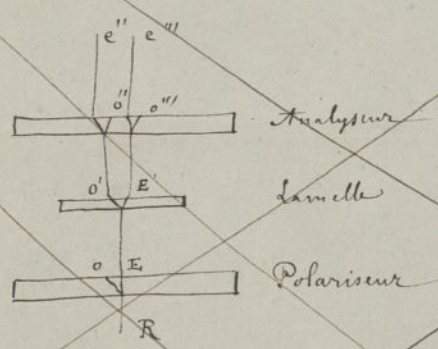
Exposé du principe des interférences de Young : Supposons que 2 rayons de lumière suivent la ~~même~~ direction AB, qu'ils aient même intensité, et que les longueurs d'onde de



chacun d'eux soient égales, auquel cas les mouvements de vibration de l'éther auront même amplitude aux mêmes phases. Si les ondes du premier rayon coïncident avec celles du second, il est clair que leurs intensités devront s'ajouter : la quantité de lumière sera augmentée par leur concours. Mais si l'un deux est en retard sur l'autre, et cela précisément d'une demi-longueur d'onde, les molécules d'éther situées le long de la ligne AB seront sollicitées d'un côté par des forces dont l'intensité et la direction seront représentées par la courbe a a a a . . . , et d'autre côté par des forces égales et contraires représentées par la courbe a' a' a' . . . Toute molécule telle que M, restera donc en repos sous l'action de ces forces opposées ; le mouvement vibratoire cessera, et l'obscurité succédera à la lumière. On dit alors que les ondes ou les rayons lumineux interfèrent.
Même résultat, si la différence était de 3/2, 5/2 . . et en général d'un nombre impair de demi-ondulations. S'il est d'un nombre pair de demi-ondulations, le résultat est le même que s'il y avait coïncidence. Enfin entre ces deux cas extrêmes, l'intensité lumineuse est tantôt augmentée, tantôt diminuée ; mais il n'y a en aucun point destruction absolue de lumière.
Fresnel a vérifié expérimentalement cette théorie, par son expérience des 2 miroirs.

Les rayons polarisés interfèrent comme les rayons de lumière naturelle, à condition qu'ils vibrent dans le même plan ; ~~mais~~ un Rayon ordinaire et un R. extraordinaire ne peuvent interférer par conséquent, en sortir d'un polariseur.
~~Si en sortir du polariseur on reçoit les rayons en un Nicol analyseur, les 2 rayons ordinaires seront absorbés, il sortira 2 rayons extraordinaires vibrant dans le même plan et par conséquent susceptibles d'interférer.~~

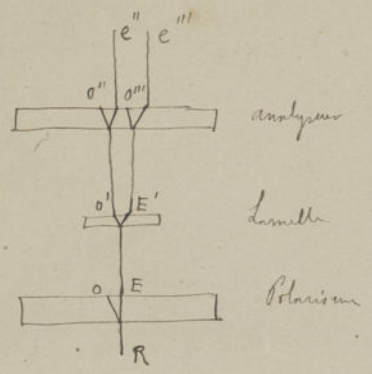
~~(voir Michel Lévy & Lacroix p. 45)~~

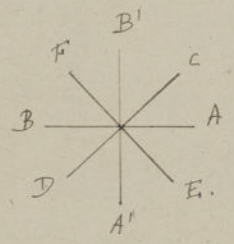


Examinons ce qui s'est passé quand on a glissé une lamelle bifringente entre les 2 Nicols croisés et qu'on a eu lumière et coloration : Le Rayon R se bifurque dans le polariseur, le Rayon E sort seul ; ce rayon se bifurque à son tour en passant dans la lamelle cristalline, il entre donc 2 rayons qui se bifurquent à leur tour dans l'analyseur ; et sur ces 4 rayons, 2 sont ordinaires et par suite disparaissent, 2 sont extraordinaires et interfèrent entre eux, ils s'ajoutent ou se détruisent suivant que la différence de marche est égale à un nombre pair ou à un nombre impair, de demi-longueur d'ondulation*.

Dans ce cas le rayon lumineux présente des couleurs irisées, elles sont dues à ce que

* Tel est le cas général ; mais si la lamelle est placée de façon à ce que l'un de ses axes d'élasticité soit parallèle à la section principale du polariseur, il ne sort plus qu'un seul rayon de la lamelle et celui-ci traverse intégralement l'analyseur ou est au contraire éteint suivant que la section principale de l'analyseur est parallèle ou perpendiculaire à celle du polariseur.





Examinons ce qui s'est passé quand on a glissé une lamelle biréfringente entre 2 nicols croisés et qu'on a eu lumière et coloration ?

Le rayon R se bifurque dans le polariseur, le rayon Ei sort seul ; ce rayon se bifurque à son tour en passant dans la lamelle cristalline, et il en sort donc 2 rayons o'E' polarisés à angle droit, et dont les vibrations ont lieu dans des directions obliques à la section principale de l'analyseur. Les deux rayons qui pénètrent dans l'analyseur s'y bifurquent, les deux rayons ordinaires o''o''' sont réfléchis, les 2 rayons E''E''' passent, et interfèrent entre eux. Ils s'ajoutent ou se détruisent suivant que la différence de marche est égale à un nombre pair ou à un nombre impair de demi-longueur d'ondulation.

AB représente la trace de la section principale du polariseur sur la face inférieure de la lamelle, A'B' la trace sur la face supérieure, de la section principale de l'analyseur. Les droites CD, EF sont les traces des plans de vibrations des deux faisceaux transmis à travers la lamelle biréfringente. Si le plan de vibration de l'un des deux faisceaux CD par exemple, se confond avec AB, ce faisceau sera seul transmis à travers la lamelle, mais l'analyseur s'opposera à son passage, et il y aura extinction totale. Il en sera de même si le plan de vibration du second faisceau EF se confond avec AB ; mais en dehors de ces 2 cas exceptionnels, les deux faisceaux traversent l'analyseur.

Ces cas exceptionnels sont ceux où un des axes d'élasticité de la lamelle est parallèle à la section principale du polariseur : il ne sort plus alors qu'un seul rayon de la lamelle, et il traverse intégralement l'analyseur ou est au contraire éteint suivant que la section principale de l'analyseur est parallèle ou perpendiculaire à celle du polariseur.

Dans les cas ordinaires, les lamelles biréfringentes présentent de belles couleurs de polarisation ; elles sont dues à ce que le rayon sorti du polariseur, en traversant cette lamelle, se décompose en 2 rayons, l'un ordinaire, l'autre E, qui franchissent la lame en des temps inégaux et qui possèdent des vitesses de vibration différentes. Les mouvements vibratoires des 2 rayons, qui étaient à l'unisson à l'entrée de la lame, ne le sont plus à la sortie ; il s'est établi entre eux un certain décalage de phase, et si ces vibrations s'effectuaient dans la même direction, il se produirait immédiatement des interférences. C'est pour rendre ces interférences possibles que l'analyseur est nécessaire : il fait vibrer dans un même plan les 2 rayons E.

La différence de phase ainsi produite n'est pas la même pour les rayons des diverses couleurs ; les rayons des diverses couleurs s'entrent plus dans la lumière émergente avec les mêmes proportions que dans la lumière blanche : le faisceau lumineux qui sort de l'analyseur est donc coloré ; la lamelle cristalline observée se montre avec une teinte dont la nuance dépend de son épaisseur, de son orientation par rapport aux axes cristallographiques et de la nature de la substance à laquelle elle appartient. (Indice de réfraction). La couleur visible en chaque point de la lamelle dépend de la différence des chemins parcourus par les rayons qui interfèrent).

Réfraction : modifications de la lumière dans les divers systèmes cristallins (Introduction)

Propagation rectiligne de la lumière naturelle, dans un milieu homogène.
Réfraction simple. — Lois de Descartes — Indice de réfraction.
Double Réfraction : (Exemples) — Axe optique
Image ordinaire, I. extraordinaire
Section principale : Exemple en faisant tourner le rhomboïde de Spath.
Variations de l'Indice de réfraction, suivant l'inclinaison des rayons suivant la section principale.
Indice O. > Indice E. — (Calcite, Tourmal. Emeraud). Ind. O. < Ind. E. + (Quartz, glace). — Raison de la différence.
Ellipsoïdes d'élasticité des cristaux négatifs et positifs : Exemples. —
nature de la lumière : Théorie de l'Emission.
" des ondulations { nature / vitesse / direction

Polarisation :

Lumière polarisée. histoire.
Propriétés de la lumière polarisée : expériences de Huyghens Des 2 Spaths.
Plan de polarisation
Définition de la lumière polarisée : marche des rayons dans un cristal.
Appareils polariseurs : Nicols.
Pinces à tourmalines.
Phénomène de coloration déterminé par l'interposition d'une lame biréfringente entre les Nicols.
Exposé du principe des interférences de Young — Vérification expérimentale de Fresnel.
Interférences des rayons de lumière polarisée, par les lamelles, glissés entre les Nicols.

2

Caractères optiques des cristaux

Interférence, Dispersion, Polychroïsme.

1/

Tschermak.

Dispersion

un rayon de lumière naturelle blanche, traversant un prisme est non seulement dévié, mais décomposé en ses couleurs élémentaires. Reçu sur un écran blanc, il montre que le rayon rouge est le moins réfracté, le violet le plus réfracté.

Si on étudie avec un 2e prisme, ces divers rayons, on constate que le rouge a le plus faible indice de réfraction, le violet a le plus élevé.

On peut reconstituer de la lumière blanche, en réunissant ces divers rayons au moyen d'une lentille convergente. On obtient une lumière colorée si on laisse de côté quelqu'un de ces rayons (couleurs complémentaires) : rouge – vert ; violet et bleu – jaune.

Dispersion des minéraux biréfringents : on observe 2 faisceaux décomposés, au passage d'un prisme de calcite.

Le spectre solaire présente quelques raies noires (de Fraunhofer) il y manque donc certaines espèces de lumières. Le spectre du Platine en ignition ne présente pas de lignes analogues, il présente donc toutes les couleurs.

La flamme d'alcool avec sel de sodium donne une couleur jaune, lithine rouge, Thallium vert : ce sont donc des lumières monochromatiques.

La température agit sur les couleurs des rayons réfractés, puisqu'elle agit sur l'indice de réfraction qui agit sur les couleurs. Dans les cristaux où on a constaté cette variation (quartz, spath), elle a pour effet de rapprocher les deux indices de réfraction, le rayon E diminuant beaucoup plus rapidement que le rayon O.

Résumé { Propagation des rayons lumineux ; milieu homogène, cristallisé : Réfraction.
Polarisation : appareils.

Dispersion : décomposition qui accompagne la déviation { rouge − ; a la plus faible n.
violet + ; ——— élevé n.
Recomposition de la lumière blanche par lentille convergente = couleur complémentaire.
minéraux biréfringents : Prisme de calcite.
Spectre monochromatiques. – Action de la chaleur sur les couleurs réfractées (rapprocher n_0 de n_e)

Absorption : Passage inégal de différents rayons. — verre de Cobalt, d'oxydule de cuivre.
Pierres de grenat, zircon.

Interférence : Coloration dans la lumière polarisée rectiligne (Exposé du principe de Young)
lames minces : les plus colorés sont les plus biréfringents.
lames épaisses.
Coloration dans la lumière polarisée convergente : Brewster, cristaux à 1,2 axes.
appareils à lumière convergente : tourmalines, Nicol, ⊕ ⊖
Observation à la pince à tourmalines – Interprétation { cours des anneaux colorés.
——— de la croix noire.
même explication pour les cristaux à 2 axes.

Dispersion des axes : analogie avec la dispersion des Prismes.
caractères : Disposition inverse des couleurs dans les ellipses, et les hyperboles, des cristaux à 2 axes.
$\rho < v$ et $\rho > v$
Disposition symétrique ou dissymétrique des couleurs, dans les images des axes.
Relation avec le caractère des faces auxquelles la lamelle est parallèle :
S. Rhombique (orthorh.) ((⊖)(⊖)) hypsymétrique suivant O.P.
S. monoclinique : Disp. inclinée (gypse) ; perpend. à ∞R∞ ; image X monosymétrique ⊖ ⊖
Disp. horizontale (adulaire) ; ~ id ——— ——— id ——— ((⊖)|(⊖))
Disp. tournante (Borax) ; suivant ∞R∞ ; image asymétrique ⊖ ⊖
S. triclinique : oblique, normale à axe d'élasticité, asymétrique.
Exc : Dispersion de la glaubérite ⊕ v.

Écartement des axes opt. : V — 2V. 2E. Distinction de V et de E.
Mesure pratique – Ha Ho
Calcul de 2V connaissant 2E ou 2H. on obtient $\sin V = \frac{1}{\beta} \sin E$.
ou $\operatorname{tg} Va = \frac{\sin Ha}{\sin Ho}$
Variations de Va (mélanges isomorphes, couleurs).

Détermination des cristaux + et − par la lame-quart d'onde de Dove.
cristaux à 1 axe : − +
cristaux à 2 axes : Elargi −, Retréci +.
Détermination par la lame de quartz de Biot. — glissé à 45° { axe de rot. ∥ . −
axe de rot. ⊥ . +
Détermination dans la lumière parallèle, avec quartz sensibles

Polarisation circulaire : quartz clair sous nicols croisés –
quartz en lame mince — id —. dévie.
Le centre de la figure d'interférence est coloré. d – q. d – r.j.b.
d – q. g b.j.r

Spirales d'Airy.
Expériences de Reusch.

Polychroïsme :

2

Eschermann

Absorption

La lumière blanche naturelle passant par divers corps est modifiée de façon qu'une partie de ses rayons sont absorbés, tandis que le reste passe et donne à la sortie une lumière colorée.

Les différents milieux ont une action différente sur les diverses couleurs, les absorbant ou les laissant passer à divers degrés.

La lumière naturelle passant à travers un verre bleu de cobalt, montre quand on regarde son ~~prisme~~ spectre au sortir d'un prisme, que toutes les couleurs sont affaiblies excepté le rouge et le bleu. Si le verre bleu est épais, ces couleurs sont absorbées.

Un verre coloré en rouge par l'oxydule de cuivre ne laisse passer que les rayons rouges.

Des plaques de zircon, gris, donnent un spectre entrecoupé de nombreuses lignes noires; témoignant ainsi de l'absorption de nombreux rayons colorés.

La plupart des minéraux colorés donnent ainsi des spectres, dans lesquels les divers rayons colorés sont plus ou moins modifiés: la lumière à la sortie est ainsi une lumière colorée.

Des Phénomènes d'interférence

Exposé du principe de Young (p. 7.)

Les rayons polarisés interfèrent comme les rayons de lumière naturelle, à condition qu'ils vibrent dans un même plan.

Quels sont les cristaux les plus colorés à la lumière polarisée? et sous quelle épaisseur est-elle maximum?

Lamelles minces: Les substances les plus colorées sont celles qui sont les plus biréfringentes (mica blanc, calcite): la différence entre les indices des R.O. et R.E. étant très grande. — La Néphéline, l'apatite, restent blancs, la différence entre les 2 indices étant très petite.

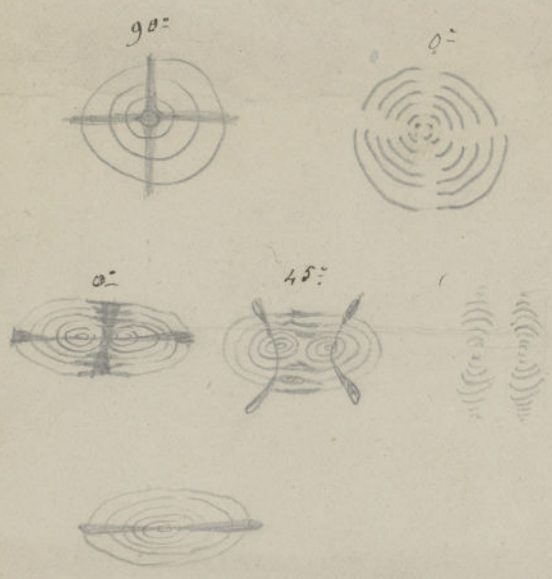
Lamelles épaisses: Les substances les plus colorées sont celles qui étaient les moins colorées dans le cas des lamelles minces.

lumière polarisée convergente : Brewster découvrit en 1813 les anneaux colorés produits par la lumière polarisée quand elle vient à traverser en convergent, des lames minces de cristaux biréfringents : il les vit d'abord dans le Rubis, l'émeraude, le topaze, glace, nitre, et plus tard Wollaston dans le Spath d'Islande.

En étudiant ces phénomènes dans les différentes substances cristallisées, Brewster arriva à distinguer les cristaux biréfringents en deux classes, celle des cristaux à 1 axe, et celle des cristaux à 2 axes. Voici comment : tandis que dans le rubis, l'émeraude, le spath, il n'aperçut qu'un simple système d'anneaux colorés, dans le nitre, le topaze, etc. taillés suivant une certaine direction et observés à travers la pince à tourmalines, il observa un double système d'anneaux alternativement noirs et brillants, si la lumière polarisée qui les traverse est homogène ; et irisés si cette lumière est blanche. C'est ce phénomène qui fit découvrir à Brewster les cristaux biréfringents à 2 axes.

Instruments : Pince à tourmalines, les rayons convergent quand on la place très près de l'œil (l'œil reçoit alors des rayons obliques).
appareil de Norrenberg.

Observation des cris. à 1 axe : si on regarde une lamelle de spath taillée perpendiculairement à l'axe optique, entre les tourmalines ; on voit des anneaux colorés et 1 croix blanche quand les tourmalines sont à 0° et 180° ; si on tourne l'analyseur à 90° et 270° la croix blanche est remplacée par une croix noire, et les anneaux irisés présentent les couleurs complémentaires.



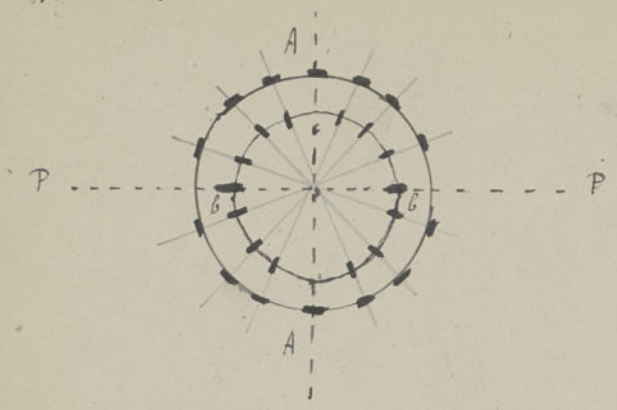
2 axes : si on regarde une lame de nitre taillée perpendiculairement à la ligne moyenne des 2 axes optiques, placée dans la pince à tourmalines, on voit deux ellipses irisées traversées par une croix noire à 0°, 90°, 180°, 270°, qui se transforme en 2 branches d'hyperbole dans les positions intermédiaires. — Sous les Nicols parallèles on a une figure complémentaire.

Si on regarde une de ces lames taillée perpendiculairement à une des axes, on a une ellipse, traversée par une courbe à une seule branche (au lieu de la croix) noire à 90°, et blanche à 0°.

Interprétation : Dans les cristaux à 1 axe, les anneaux colorés sont dus à ce que l'inclinaison des divers rayons d'un faisceau convergent n'est ~~tout~~ ~~n'étant~~ pas la même par rapport à l'axe optique ; au lieu d'un teint uniforme, on a une série de courbes présentant toutes les nuances : les chemins parcourus sont les mêmes dans des cercles, autour du centre.

(Cause de la croix noire) considérons une seule des nappes lumineuses du faisceau convergent. Si elle était de la lumière naturelle, tous ses rayons seraient réfractés à leur entrée dans la lamelle, et ils donneraient naissance à 2 nappes lumineuses concentriques, qui seraient

H / Tschermak



représentés sur la lamelle par des cercles. Dans un minéral négatif comme le calcite, le cercle externe serait formé par les rayons ordinaires dont les plans de vibration seraient suivant les tangentes, tandis que le cercle interne serait formé par les rayons extraordinaires vibrant suivant les rayons.

Mais ici c'est de la lumière polarisée qui arrivait dans la lamelle, de sorte qu'en A un rayon O. et en b un rayon E. passent sans modification puisqu'ils vibrent dans le plan de polarisation. Dans les points intermédiaires entre A et b les rayons sont au contraire réfractés, polarisés, et donnent à la sortie 2 rayons vibrant à angle droit ; ils pénètrent ainsi dans l'analyseur où ils interfèrent. Tandis que les rayons étendus A. b. sont arrêtés dans l'analyseur et donnent 4 points noirs (constitutifs de la croix noire).

On peut faire un raisonnement analogue pour expliquer les ellipses colorées et les hyperboles noires des cristaux à 2 axes.

La pince à tourmalines, l'appareil de Norrenberg, permettent donc de reconnaître dans les lamelles taillées perpendiculairement au plan des axes, ces deux systèmes d'ellipses, et par suite la place du cristal dans les divers systèmes cristallins (s'ils sont à 1 ou à 2 axes).

<u>Dispersion des axes</u> : Les images qu'on voit dans l'appareil de Norrenberg présentent des couleurs qui rappellent les phénomènes de dispersion des prismes ; c'est ce qu'on appelle pour cette raison la dispersion des axes. On la distingue avec une netteté spéciale aux bords de l'hyperbole noire des cristaux à 2 axes, et dans les anneaux colorés intérieurs.

Il est à remarquer que les couleurs qui bordent les branches d'hyperbole sont toujours disposées à l'inverse de celles qui bordent les sommets opposés de l'anneau polaire.

Si les côtés intérieurs (concaves) des branches d'hyperbole sont bordés de rouge et les côtés extérieurs (convexes) de bleu, il en résulte que les axes rouges comprennent entre eux un angle plus grand que les axes bleus. Le sens de cette dispersion sera exprimé par le signe $\rho > v$. Et l'hypothèse inverse correspond le symbole $\rho < v$.

La <u>disposition des couleurs</u> dans ces images des axes peut être symétrique ou dyssimétrique ; elle est soumise à cette loi, qu'elle est en relation avec le caractère des faces auxquelles cette lamelle est parallèle.

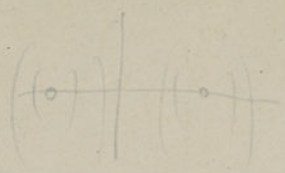
<u>S. Rhombique</u> : La plaque d'aragonite perpend. à la bissectrice (pl. 1. fig. E. F.) est parallèle au pinacoïde de base, et par suite bisymétrique. Si l'on fait passer une droite par les points axiaux, et une autre droite médiane entre eux-ci, ces droites sont des lignes de symétrie. De chaque côté, il y a double symétrie.

<u>S. Monoclinique</u> :

Dispersion inclinée ; une plaque de gypse taillée ~~perpendiculairement~~ au plan de symétrie $\infty P \infty$, dans ~~une image monosymétrique~~ lequel se trouvent les axes optiques, donne une image monosymétrique. La ligne de symétrie passe par les 2 points axiaux

Tschermak :

pl. 2. C. D. — Descloizeaux l'appelle <u>inclinée</u>, parce que le plan des axes optiques est coupé suivant la diagonale inclinée.



<u>Dispersion horizontale</u> : une plaque d'adulaire taillée perpendiculairement au plan de symétrie, normalement auquel est le plan des axes optiques, donne une image monosymétrique. La ligne de symétrie est perpendiculaire à la ligne qui joint les points axiaux. Descloizeaux l'appelle <u>horizontale</u> parce que le plan des axes optiques est coupé suivant la diagonale horizontale.

pl. 2. A. B.

<u>Dispersion tournante</u> : une plaque de borax est taillée suivant $\infty P \infty$, plan de symétrie auquel la bissectrice optique est normale, et donne une image asymétrique

pl. 2. E. F.

<u>S. triclinique</u> :

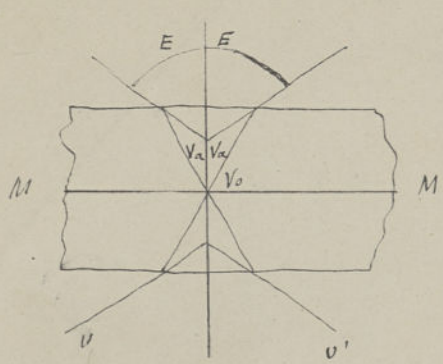
pl. 2. G. H. — L'oligoclase taillé perpendiculairement à un axe d'élasticité donne une image asymétrique.

<u>Dispersion de la glaubérite</u> : le plan des axes optiques n'est pas le même pour toutes les couleurs : les axes rouges sont dans un plan, les bleus dans un autre.

pl. 1. fig. C. D.

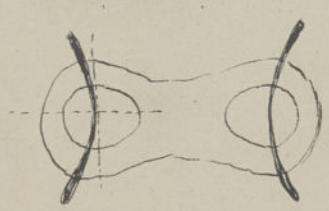
<u>Écartement des axes optiques</u> On peut donc reconnaître dans ces préparations taillées perpendiculairement au plan des axes, si les cristaux sont à 1 ou à 2 axes ; ~~et peut déterminer leur dispersion, et enfin on~~ ainsi de plus, on peut mesurer l'écartement des axes optiques et déterminer ainsi la nature de leur dispersion. Car les courbes isochromatiques ne se superposent pas entièrement, mais se juxtaposent dans un ordre déterminé pour chaque sorte de dispersion.

Pour mesurer l'écartement des axes optiques on taille une lamelle perpendiculairement à la bissectrice aiguë ; V étant l'angle que fait chaque axe optique avec cette bissectrice, 2V sera l'<u>angle réel</u> des 2 axes entre eux. Mais il faut noter que les rayons qui traversent la lamelle suivant les axes optiques, sont déviés à leur sortie de la lamelle, formant ainsi en réalité l'angle <u>apparent</u> 2E. L'angle <u>apparent</u> des axes optiques dans l'air est plus grand que l'angle <u>réel</u>. Nous appellerons avec Descloizeaux, les angles Va, Vo.

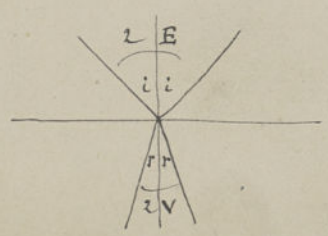


— id — Ea ; Eo.

<u>mesure pratique de Ea</u> : On glisse la lamelle taillée dans un instrument analogue à celui de Nörremberg, où se trouve un réticule dans l'oculaire, on met successivement le centre des 2 axes au point, et on mesure sur un limbe le nombre de degrés dont on a tourné.



Quand l'angle Va est assez grand, pour atteindre la limite de la réflexion totale, on ne voit plus les axes dans l'air, mais on peut alors les observer encore dans l'huile. — — Ha, Ho.



<u>Calcul de 2V connaissant 2E</u> :

$n = \frac{\sin i}{\sin r}$

$\sin i = n \sin R$

$\sin E = \beta \sin V$ (β étant l'indice de réfraction).

$\sin V = \frac{1}{\beta} \sin E$

Quand on ne connaît pas l'indice de réfraction

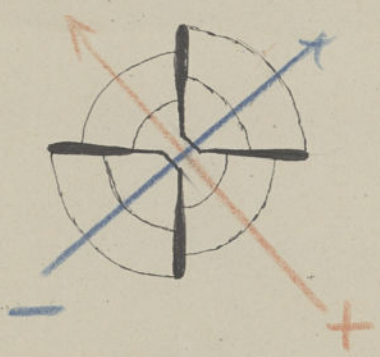
de la substance, on peut avoir mesure l'angle vrai des axes optiques, par l'examen de deux préparations, où on observe Ha, Ho.

$$tg.\,Va = \frac{\sin Ha}{\sin Ho}$$

Variations de Va : l'angle des axes optiques est sensiblement constant pour une même espèce, il fournit donc un caractère. cet angle varie dans les mélanges isomorphes ; il n'est pas le même pour les différentes couleurs, il y a donc lieu de le donner dans la lumière monochromatique de flammes colorées.

Détermination des cristaux + et − par la lame quart-d'onde de Dove :

[Pl. 1. f. A. cristaux à 1 axe : Une lamelle de ces cristaux, perpend. à l'axe, donne sous les nicols, la figure connue ; si on glisse alors sous l'analyseur la lame de mica quart-d'onde, où on connaît d'avance la direction du plan des axes optiques. cette lamelle de mica glissé à 45° du plan des nicols déforme la figure d'interférence, elle transforment la croix en 2 hyperboles. les anneaux sont agrandis dans les hyperboles, ils sont rétrécis en dehors.

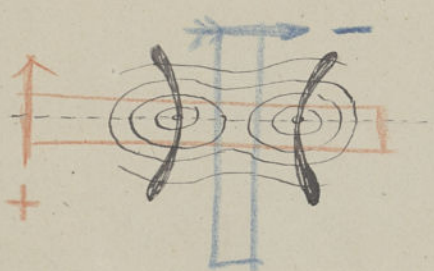


Quand la ligne qui joint le sommet de ces 2 hyperboles est perpendiculaire au plan du mica, la plaque est positive ; elle est négative, si cette ligne est parallèle au plan du mica.

cristaux à 2 axes : Supposons que nous ayons sous les nicols la figure connue Pl. 1. fig. E. ; si l'on s'est à glisser la lame de mica comme dans le cas précédent à 45°, on constate que la figure d'interférence est aussi déformée ; les anneaux étant aussi élargis et rétrécis dans les quadrants alternes.

Si le plan des axes optiques de la lame de mica traverse les anneaux élargis, la plaque est comme dans le cas précédent négative ; si il traverse les anneaux rétrécis, elle est positive.

Détermination par la lame de quarz de Biot : cette lame de quarz est taillée perpendiculairement à l'axe optique. On place la figure d'interférence à 45° comme pl. 1. fig. F ; et on glisse la lame de quarz sous l'analyseur. la figure d'interférence est déformée. On fait ensuite tourner le quarz dans 2 directions successives, dont les axes de rotation horizontaux sont respectivement parallèle et perpendiculaire, à la ligne des axes optiques de la substance.



Dans un de ces essais, on constate l'élargissement des anneaux, qui se réunissent au centre de la figure. si cet élargissement se produit quand l'axe de rotation du quarz est parallèle au plan des axes optiques de la substance, cette substance est négative, si l'axe est perpendiculaire elle est positive.

Détermination dans la lumière parallèle : on glisse la lame mince sur les nicols, de façon que ses axes d'extinction fassent 45° avec le plan principal des nicols. Puis on glisse un quarz sensible (minéral +), suivant les plans principaux de la lamelle : si les couleurs s'ajoutent

b j z b j z →

le minéral est positif ;

si les couleurs se retranchent

b j z b j z ←

le minéral est négatif.

Polarisation circulaire : le quarz, le cinabre, l'eau sucrée, l'albumine, etc. jouissent d'une propriété particulière, du pouvoir rotatoire : une plaque de quarz taillée normalement à l'axe, dévie d'un certain angle le plan de polarisation des rayons qui la traversent ; et cette déviation est différente pour les rayons des couleurs simples.

Sur lum. parallèle : Un quarz ainsi taillé, n'est donc pas sombre sur les nicols croisés, mais clair. Si on emploie une lumière monochromatique, le quarz paraîtra encore clair sous les nicols croisés ; mais si on tourne alors le nicol analyseur, on constate que le quarz s'éteint sous un angle variable pour les couleurs, et aussi pour l'épaisseur de la plaque. Par conséquent, le plan suivant lequel vibrent les rayons parallèles à l'axe principal, est dévié. certains cristaux polyèdres dévient à droite, les autres à gauche.

Les angles de déviation diffèrent tellement pour les diverses couleurs, qu'il est impossible de rétablir l'extinction sur les nicols croisés, en lumière blanche.

La molécule d'éther qui vibre ici décrit un cercle.

Sur lum. convergente : Si on regarde le quarz taillé normalement à son axe, ~~dans~~ les nicols croisés, on constate que le centre de la figure d'interférence est coloré. pl. 1. fig. H. Quand on vient à tourner l'analyseur à droite, si le quarz est droit, la teinte varie r. j. b. et les cercles s'élargissent ; mais si le quarz est gauche, la teinte varie b. j. r. et les anneaux se rétrécissent.

Si on pose l'un sur l'autre un quarz droit et un quarz gauche de même épaisseur, on obtient les spirales d'Airy.

Observ : Reusch a produit artificiellement des pol. circulaires, en empilant en spirale, des feuilles de mica.

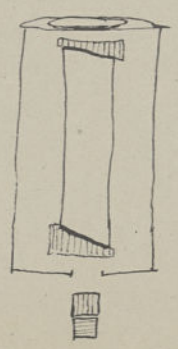
Les lois de la polarisation rotatoire ont fourni la méthode de la saccharimétrie, qui permet de reconnaître la quantité de sucre pure que contient une dissolution sucrée.

Polychroïsme : les cristaux colorés biréfringents, traversés par la lumière blanche, offrent des teintes qui diffèrent avec les directions suivant lesquelles on les observe. C'est ce qu'on désigne sous le nom de polychroïsme ; ce phénomène est la conséquence d'une inégale absorption de la lumière polarisée dans des directions inégalement inclinées sur les axes d'élasticité.

Dans les milieux à un axe, le rayon le plus absorbé est le plus souvent celui dont la marche est la plus lente. Ce sera donc le rayon extraordinaire dans les cristaux positifs, et le rayon ordinaire dans les cristaux négatifs.

Dans les cristaux réguliers, il n'y a pas de pléochroïsme ; dans les cristaux à 1 axe il y a dichroïsme ; dans les cristaux à 2 axes trichroïsme.

Les directions suivant lesquelles les différentes couleurs sont visibles, sont dans les cristaux dichroïques, parallèles et rectangulaires à l'axe principal ; dans les cristaux trichroïques les différentes absorptions correspondent aux 3 axes d'élasticité ; on sait qu'ils coïncident avec les axes cristallographiques dans le système rhombique, aussi les couleurs varient-elles ici à angle droit aux 3 coupes principales.



Haïdinger a inventé sa loupe dichroscopique pour étudier le polychroïsme. Cette loupe donne 2 images produites par des rayons polarisés rectangulairement ; il appelle dans les cristaux à 1 axe, le couleur de la base (ou i.e. celle qui est observée à travers les faces perpendiculaires à l'axe principal, et couleur de l'axe ou de l'image extraordinaire celle qui est produite par les rayons qui vibrent parallèlement à l'axe.

Pour observer le polychroïsme au microscope, on monde les lamelles sous le polariseur que l'on fait tourner ; les différentes couleurs apparaissent alors les unes après les autres, parce qu'on fait varier l'orientation du plan de polarisation de la lumière incidente, par rapport aux axes de la substance examinée. — On peut par conséquent de même faire tourner la lamelle au lieu du polariseur, ce qui vaut mieux ; ou seulement l'analyseur.

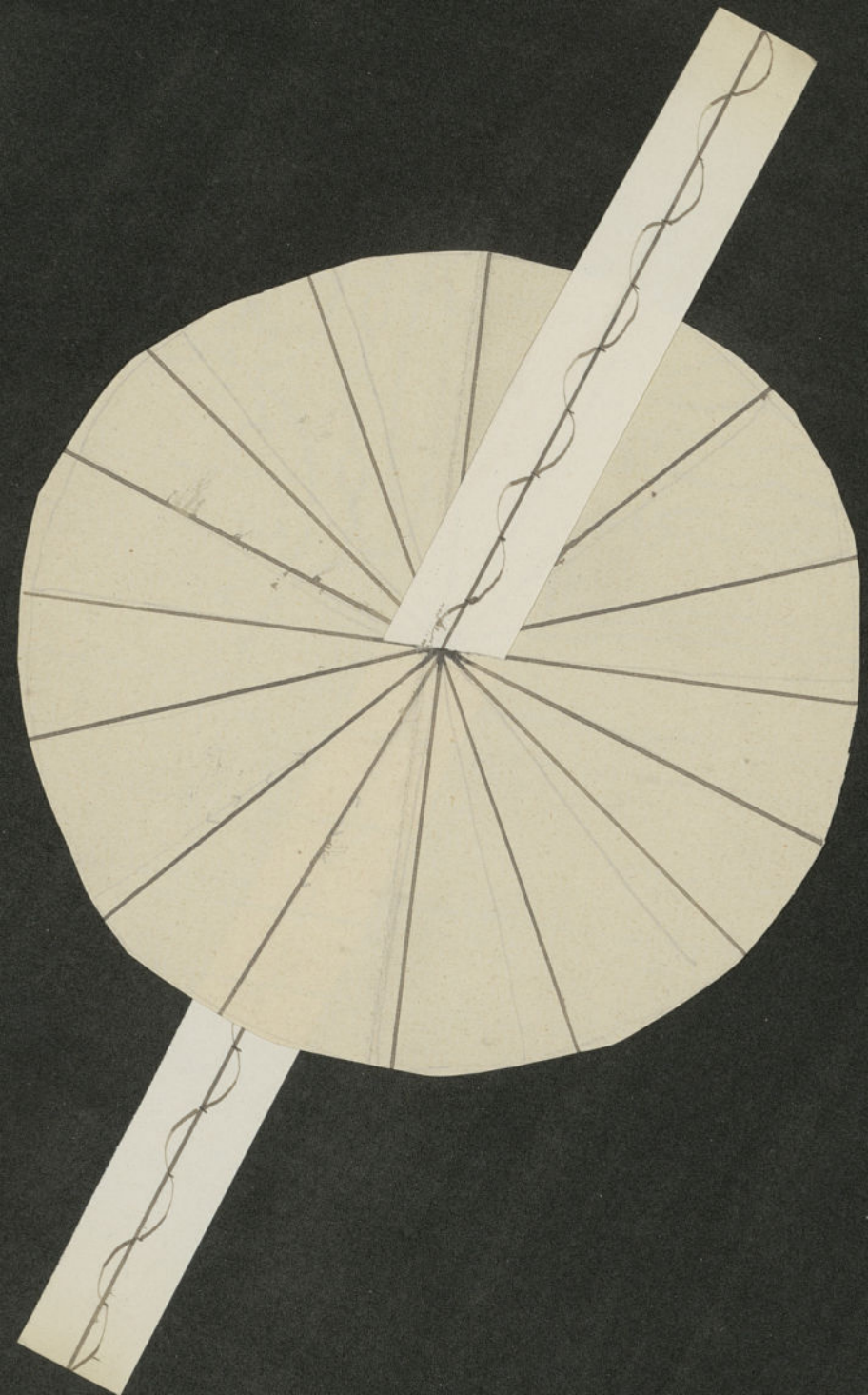
Variations de l'absorption & du polychroïsme : Ces variations sont caractéristiques pour certains minéraux ; ainsi le mica magnésien taillé parallèlement à l'axe principal, offre une teinte jaune quand la petite diagonale du polariseur est parallèle à cet axe ; elle est brun foncé quand cette diagonale est perpendiculaire à cet axe.

Les minéraux polychroïques sont presque tous de couleur foncée ; certaines substances très polychroïques en plaques épaisses, perdent cette propriété en lames minces (épidote, cordiérite, andalousite).

3

Caractères optiques des cristaux

Relations de position des divers axes.



Systèmes cristallins.

Dérivation et notation – O – P.

Hémièdrie.

Macles. Limitropie

---

modifications de la lumière { monoréfringents / biréfringents { 1 axe – 2 axes { Rayon O. Rayon E. / Section principale.

Nature de la lumière – Polarisation : instruments { miels / Tourmalines.

Plans de vibration – axes d'élasticité.

Recherche de la position des plans de vibration. Lumière, Coloration

Relations de position entre les axes d'élasticité, et les axes de symétrie.

Modifications de la lumière dans les milieux diaphanes cristallins.

classification optique des cristaux { monoréfringents / biréfringents { 1 axe / 2 axes { rayon O. rayon E. / section principale.

le rayon qui traverse un cristal est réfracté / — id ——— polarisé } nature de la lumière

appareils pour séparer les 2 rayons polarisés : Nicols, tourmalines.
usage de ces appareils pour distinguer les minéraux isotropes, anisotropes.
Principe des interférences.

Polychroïsme.

Axes d'élasticité

Relations de position entre les axes optiques, d'élasticité, cristallographiques, dans les divers systèmes.

Détermination du système des lamelles, par la position de leur plans de vibration.

Réflexion : Lois

Réfraction simple : Lois — $n = \frac{\sin i}{\sin R}$

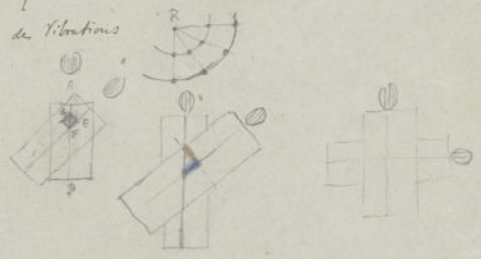
Double Réfraction. n_o ; n_e : $\begin{cases} \text{négatifs} & n_o > n_e \\ \text{Positifs} & n_o < n_e \end{cases}$

1 axe optique — 2 axes optiques.

Dispersion : Séparation inégale des diverses couleurs d'un rayon réfracté.

Absorption : un verre de Cobalt absorbe toutes les couleurs sauf le rouge et le bleu.

Théorie des Vibrations



Caractères optiques des cristaux.

Axes cristallins :

Quand on étudie dans les cristaux une propriété quelconque, qui varie en intensité ~~avec~~ avec la direction dans laquelle on l'observe, on donne le nom d'axes aux directions particulières dans lesquelles cette propriété atteint son maximum ou son minimum.

Il y a donc différentes espèces d'axes : A. de symétrie, A. de conductibilité thermique, A. optiques, A. d'élasticité.

Axes optiques : on appelle axe optique, une direction dans laquelle le rayon incident reste naturel ; dans les cristaux biréfringents il y a 1 ou 2 directions suivant lesquelles le rayon n'est pas réfracté.

Axes d'élasticité :

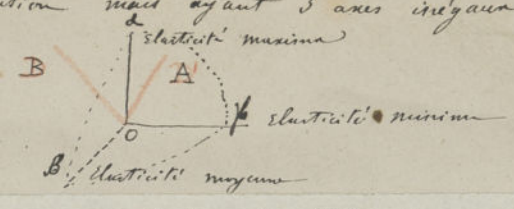
Axes d'élasticité : on appelle axes d'élasticité, les directions suivant lesquelles la lumière se propage avec la vitesse maxima, minima, et moyenne : elles sont perpendiculaires entre elles.

~~Les axes d'élasticité sont des rapports inégaux et étroits avec les axes cristallo-optiques~~

Dans les corps homogènes ou du système cubique, corps monoréfringents, l'éther est également distribué partout, et l'élasticité est la même dans tous les sens. il n'y a donc pas d'axes.

La propriété des cristaux biréfringents, de donner de la lumière polarisée tient à ce que ces cristaux ne sont pas homogènes, l'éther n'y est pas distribué d'une façon uniforme, son élasticité n'est pas la même dans tous les sens. — Les vitesses dans différents sens sont inégales ; si à partir d'un point quelconque dans un cristal ou même dans tous les sens des lignes proportionnelles aux vitesses de propagation, on aura en général un ellipsoïde, non de révolution mais ayant 3 axes inégaux :

$\alpha = n^p$
$\beta = n^m$
$\gamma = n^g$



Si deux axes deviennent égaux on a un ellipsoïde de révolution ; si les 3 axes deviennent égaux, une sphère, ce qui est le cas pour toutes les substances isotropes.

Fresnel en s'appuyant sur des considérations théoriques, vérifiées par l'expérience, a déduit tous les phénomènes optiques présentés par les milieux cristallisés, de la considération d'un ellipsoïde (E) à trois axes généralement inégaux, qu'il a nommés axes d'élasticité optique. Nous appellerons n^p (α) l'axe de plus grande élasticité, B^m l'axe de moyenne élasticité, n^g γ l'axe de plus petite élasticité.

Une section de cet ellipsoïde (E) par un plan quelconque donne une ellipse. Si l'on imagine un rayon quelconque, polarisé ou non, arrivant dans la direction de la normale au plan de cette ellipse, il se décompose en deux rayons polarisés dont les vibrations se font dans deux directions perpendiculaires entre elles, suivant les 2 axes de l'ellipse. Si le rayon incident est formé par de la lumière naturelle, les deux rayons qui en proviennent sont d'égale intensité ; s'il est polarisé, il se divise dans les deux directions en question, suivant la loi du parallélogramme des forces. Les vitesses de propagation de chacun de ces deux rayons sont

respectivement représentés par l'inverse de la longueur des deux axes de l'ellipse dont le plan passe par le centre de l'ellipsoïde, normalement au rayon incident.

Dans un ellipsoïde on peut toujours inscrire deux cercles passant par son centre et par l'axe moyen. Ils sont disposés symétriquement par rapport aux plans qui contiennent le plus grand ou le plus petit axe et l'axe moyen.

Les deux normales OA, OB, à l'un et à l'autre de ces cercles, dans l'ellipsoïde E, sont les axes optiques du cristal ; ils sont compris dans le plan des deux axes de plus grande et de plus petite élasticité ; par suite, on voit que le plan des axes optiques est perpendiculaire à l'axe de moyenne élasticité et que les 2 autres axes d'élasticité sont bissecteurs des angles formés par les axes optiques.

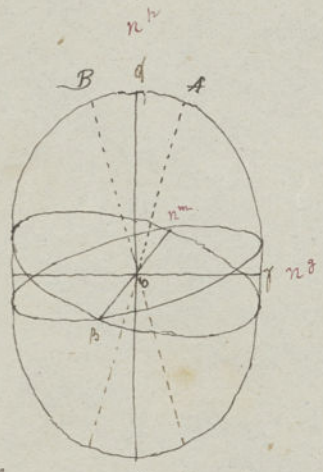
Si l'on suppose que les 2 sections circulaires de l'ellipsoïde se rapprochent l'une de l'autre jusqu'à se confondre, les normales se rapprochent également et à la limite ne constituent plus qu'une seule droite, qui est l'axe optique unique du cristal.

Les cristaux du système quadratique et du système rhomboédrique présentent cette particularité et pour cette raison sont appelés cristaux à 1 axe, par opposition aux cristaux des 3 derniers systèmes qu'on nomme cristaux à 2 axes.

L'axe d'élasticité compris dans l'angle aigu formé par les deux axes optiques est appelé bissectrice (b) ; l'axe compris dans l'angle obtus est la normale optique (n).

L'angle des axes optiques (2V) n'est pas le même pour tous les cristaux, et la bissectrice est tantôt l'axe de plus grande, tantôt l'axe de plus petite élasticité. Quand la bissectrice coïncide avec l'axe de la plus grande élasticité le cristal est négatif (arragonite, Titanate, Borax), quand elle coïncide avec la plus petite le cristal est positif (Gypse, Topaze).

cet angle (2V) varie avec la couleur des rayons ; l'ordre des couleurs, en partant du rouge par exemple (dispersion), va tantôt de dedans en dehors de l'angle, et tantôt de dehors en dedans ; pour un même corps, l'angle (2V) varie suivant la composition ; enfin dans une même espèce, et sans que rien soit modifié d'ailleurs, il change plus ou moins avec la température. Cette variation des axes optiques est simplement une conséquence de ce fait, que la grandeur relative des 3 axes d'élasticité et souvent leurs positions sont susceptibles de varier, dans une même espèce cristalline, avec la nature des éléments isomorphes qui entrent dans la composition de la substance, avec la température de celle-ci et aussi avec la couleur de la lumière incidente.



Quand le rayon lumineux tombe suivant l'un des axes optiques, la section de l'ellipsoïde est un cercle, et le rayon incident se divise en une infinité de rayons dirigés suivant les rayons du cercle, il ne se divise donc sensiblement pas.

Relation de position entre les axes cristallographiques, les axes d'élasticité, et les axes optiques, dans les divers systèmes cristallins. Entre les axes optiques et les axes ~~d'élasticité~~ cristallographiques il y a des relations constantes : connaissant l'une, on peut arriver à la connaissance des autres.

1° Système régulier : Dans ce système, l'ellipsoïde d'élasticité est une sphère ; par suite toutes les directions peuvent être considérées comme des axes cristallographiques, d'élasticité, et optiques. — ou si l'on veut, pas d'axes.

A. cristaux à 1 axe optique :

2° Cristaux à 1 axe optique (Hexagonal & Quadratique). L'axe principal de symétrie de ces cristaux est à la fois un axe optique, et un axe d'élasticité ; par suite de cette symétrie, l'ellipsoïde d'élasticité est de révolution autour de cet axe. En outre de cet axe principal d'élasticité, il y en a d'autres situés dans un plan perpendiculaire, qui coïncide ici avec une section circulaire de l'ellipsoïde d'élasticité ; ils sont donc égaux entre eux et peuvent d'ailleurs être pris arbitrairement dans une direction quelconque de ce plan. Dans les systèmes quadratique et Hexagonal, il ne peut y avoir dispersion ni des axes d'élasticité ni de l'axe optique.

Par conséquent, si un rayon passe dans ces cristaux suivant l'axe principal cristallographique, il passe comme dans un milieu isotrope, il n'est ni doublement réfracté, ni polarisé. Si le rayon passe dans ces cristaux par un point quelconque, non parallèle à l'axe, l'élasticité diffère dans deux directions perpendiculaires entre elles. Le rayon est divisé en 2 d'après le parallélogramme des forces, une partie vibre avec les rayons perpendiculaires, l'autre avec les rayons parallèles à l'axe.

B. Cristaux à 2 axes optiques : les 2 rayons sont extraordinaires, il y a 2 directions (axes optiques) dans ces cristaux suivant lesquelles il n'y a pas de double réfraction. — Il y a 3 axes d'élasticité perpendiculaires entre eux ; la surface d'élasticité de ces cristaux à 2 axes optiques est un ellipsoïde à 3 axes, et dont les coupes longitudinales comme les transversales sont pour suite des ellipses. Il y a 3 indices de réfraction correspondants aux 3 axes d'élasticité de ces cristaux.

Si un rayon passe dans ces cristaux ailleurs que dans la direction d'un axe optique, il est divisé en 2 rayons polarisés à angle droit, dont les vibrations sont dirigées dans la direction de la plus petite et de la plus grande élasticité de la coupe menée perpendiculairement au rayon à travers le cristal.

3° Système Orthorhombique : Possède 3 plans de symétrie p, g_1, h_1, et est doué d'un ellipsoïde d'élasticité à trois axes inégaux, qui se confondent en direction avec les axes cristallographiques.

Il en résulte que les axes optiques sont contenus dans le plan de deux des axes cristallographiques coïncidant avec les axes de plus grande et de plus petite élasticité. Il ne peut y avoir dispersion pour les axes d'élasticité, qui sont invariablement liés à trois directions constantes ; mais les grandeurs relatives des axes d'élasticité étant susceptibles de varier, les axes optiques peuvent subir une dispersion dans le plan également invariable qui les contient nécessairement.

4° Système Monoclinique : ~~L'orthodiagonale~~ Il n'existe plus qu'un plan de symétrie g_2, perpendiculaire à un des axes cristallographiques, l'orthodiagonale. L'orthodiagonale coïncide avec un des axes d'élasticité, il n'y a pas de rapports réguliers entre les autres. il en résulte que le plan g_2 contient les 2 autres axes cristallographiques et les 2 autres axes d'élasticité ; mais ces axes ne coïncident plus respectivement entre eux et sont disposés d'une façon quelconque dans ce plan.

suivant que le plan des axes optiques est parallèle ou perpendiculaire avec la coupe principale Klinodiagonale (g₁ plan de symétrie), il s'en suit que :

1° Plan parallèle : Ce plan contenant les axes optiques contient aussi les axes de > et de < élasticité, et alors la position de ces axes relativement aux axes cristallographiques ne peut être déduite d'une loi générale ; il faut la déterminer expérimentalement dans chaque cas particulier (gypse, Diopside, Epidote).

2° Plan perpendiculaire : l'axe de > ou de < élasticité coïncide alors avec l'orthodiagonale ; la position des axes optiques est par suite déterminée.

La dispersion des axes optiques et des axes d'élasticité est susceptible de modes variables, suivant ces différents cas, puisqu'un seul axe d'élasticité coïncide avec une direction invariable, qui est celle de l'orthodiagonale.

5° Système triclinique : 3 axes d'élasticité perpendiculaires. Il n'y a pas en général de relation fixe entre la position du plan des axes et des éléments des axes cristallographiques. Dans chaque cas particulier, il faut chercher expérimentalement le plan des axes optiques et leurs lignes médianes.

Conclusion : Si on connaît dans un cristal les axes d'élasticité et les axes optiques, on peut en déduire des considérations sur le système cristallin de la substance.

Le Microscope polarisant à lumière parallèle permet de trouver la position des axes principaux de l'ellipse, suivant laquelle le plan de la lame mince d'un cristal quelconque coupe l'ellipsoïde (E) de la substance considérée. Il permet donc de reconnaître le système cristallin de la substance.

Etude des lames cristallines minces à la lumière polarisée :

Toute section en lame mince d'un cristal, présentera 2 directions à angle droit suivant lesquelles la vitesse de la lumière qui passe sera max. et min. : ce seront les axes d'élasticité de la plaque. Ils n'ont pas de rapports nécessaires avec ceux du cristal.

Si on glisse cette lamelle entre les Nicols, de façon à ce qu'un de ces axes AB, A'B', soit parallèle à la section principale du Polariseur, il ne sort plus qu'un seul rayon de la lamelle et celui-ci traverse intégralement l'analyseur ou est au contraire éteint suivant que la section principale de l'analyseur est parallèle ou perpendiculaire à celle du polariseur.

Ainsi, toute lamelle mince d'un minéral à double réfraction, coupée obliquement à ses axes optiques, présente les variations suivantes si on la fait tourner horizontalement entre les 2 Nicols : suivant un axe d'élasticité coïncide avec la ~~coupe optique~~ section principale du Polariseur, ces lamelles à double réfraction ne montrent plus de couleurs d'interférence, mais semblent transparentes sous les Nicols parallèles, et obscures sous les Nicols croisés.

Elles sont colorées sous les Nicols croisés, quand leurs axes d'élasticité (ou plans de vibration) font un angle avec les sections principales des Nicols.

Pendant une rotation complète de la lamelle, il y aura 4 extinctions à angle droit (sous les Nicols +) : ces 4 positions correspondent aux positions AB, A'B', axes d'élasticité de la lamelle. — On peut donc trouver expérimentalement les axes d'élasticité d'une lamelle donnée (il ne reste plus qu'à en déduire son [illegible] croisé les nicols, et que l'on connaît la direction de leurs sections principales, il est facile d'estimer la direction des deux axes de l'ellipse de section d'une lamelle cristalline appartenant à l'un des 5 derniers systèmes. Les directions de ces 2 axes sont celles dans lesquelles se trouvent placées les sections principales des deux nicols, lorsque la lame mince paraît éteinte.

Propagation des Rayons lumineux, milieu homogène, métallic.
Réfraction.
Réflexion. — apparente.
Intensité — Cas dans le lum. pol. rectiligne
— id — circulaire

Détermination des systèmes cristallins par la considération des axes d'élasticité des lamelles : (D'après M. Fouqué).

1. Système Cubique : De quelque façon qu'on obtienne une lamelle d'un cristal régulier, elle n'amènera aucune modification sous les Nicols croisés.

~~La polarisation lamellaire produit dans certains cristaux cubiques (Diamant, Boracite, Leucite) des phénomènes d'interférence.~~

Cristaux anisotropes : les axes d'élasticité d'une section varient suivant la façon dont la section est faite dans le cristal. Il y a de ces coupes où la position des axes d'élasticité est dans des relations constantes avec certaines lignes.

Les cristaux coupés, donnent 2 espèces de sections ; les unes symétriques (Rectangle, Losange, Tri. isocèle, Hexagone), les autres dissymétriques (sections irrégulières).

Il faut négliger les sections dissymétriques ! Cherchons quels sont les cristaux qui donnent des coupes symétriques, comment elles sont disposées, et où il faut les trouver ?

2. Système Quadratique : 2 espèces de sections symétriques, les unes parallèles, les autres perpendiculaires à la base : dans les 2 cas ce seront des rectangles.

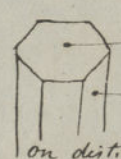
Les coupes perpendiculaires à l'axe principal, montreraient dans le 2e et 3e système, les anneaux colorés et la croix noire.

Toujours éteinte sous les Nicols croisés.

Éteinte parallèlement au côté — id — .

L'extinction serait suivant la diagonales si la section était un losange.

3. Système Hexagonal : Sections symétriques parallèles ou perpendiculaires à la base : les unes seront hexagonales et resteront toujours obscures, les autres rectangulaires qui s'éteindront parallèlement au côté.



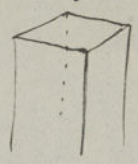
toujours éteinte

éteinte parallèlement au côté

On distinguera les lamelles de ce système, du précédent, par la forme Hexagonale, ou carrée, des sections toujours éteintes.

Les systèmes 4, 5, 6, taillés suivant les Pinakoïdes perpendiculaires au plan des axes optiques, montrent les ellipses colorés caractéristiques.

4. Système Rhombique : 3 axes perpendiculaires entre eux ; Grand nombre de sections symétriques. Toutes ces sections s'éteignent parallèlement au côté :



5. Système monoclinique : 1 axe cristallographique, perpendiculaire au plan des 2 autres qui sont obliques entre eux.

Il y aura certaines faces symétriques : la face OP, ∞P∞ (base, orthopinacoïde) seront symétriques ; ce seront des rectangles [Elles sont en effet perpendiculaires au plan de symétrie de ce système]. La face ∞P∞ sera un parallélogramme non symétrique.

Pour les faces OP, ∞P∞, les extinctions seront parallèles aux côtés ; il n'en sera plus de même pour ∞P∞.

La symétrie n'existe plus que suivant une zône (ph') ; et (on appelle zône la série de plans consécutifs, qui tous se coupent mutuellement dans des arêtes parallèles) : ~~sur zône~~ toutes les sections parallèles à l'orthodiagonale s'éteignent parallèlement à un côté de symétrie de la figure.

× (~~[illegible]~~) : les faces d'un cristal parallèles à un axe de ce cristal, forment une zône.

× Une zône comprend toutes les faces d'un cristal qui forment autour de lui comme une ceinture prismatique, en se coupant successivement les unes les autres dans des intersections parallèles. On appelle axe de la zône une droite passant par le centre du cristal et dirigée parallèlement aux intersections dont il s'agit ; c'est à proprement parler, l'axe du prisme dont ces intersections sont les arêtes longitudinales.

6. Système triclinique : Plus de sections symétriques, plus d'extinctions parallèles aux côtés.
Si on ne considérait que la forme des coupes, on se tromperait souvent ; car certaines coupes dissymétriques paraissent souvent avec des formes pseudo-symétriques.

Influence de la température sur les phénomènes optiques : M. Descloizeaux a étudié l'effet de la température sur les propriétés optiques des cristaux à double réfraction ; il a vu que la position des axes optiques variait avec la température. Le changement de position des axes optiques est une suite nécessaire de la variation que subissent les axes d'élasticité dans leur position et leur grandeur relative ; puisque l'axe d'élasticité moyenne est perpendiculaire au plan des axes optiques.

Caractères optiques du mistaua

Forme de l'Ellipsoïde (E)	Relations de position des axes d'élasticité et cristallographiques	sections perpendiculaires aux axes optiques	sections en zones, parallèles à ph'	sections en zones, parallèles à pg'	sections en zones, parallèles à $h'g'$	sections quelconques	Systèmes cristallins
Sphérique	Toutes les directions peuvent être assimilées à des axes optiques.	Toutes les sections sont à contours polygonaux réguliers et restent constamment éteintes					Cubique
De révolution (1 axe optique)	L'axe de révolution coïncide avec l'axe principal de symétrie et avec l'axe optique unique.	Extinctions constantes pour les sections carrées.	Rectangles s'éteignant suivant leurs côtés.			1° les sections symétriques, en dehors de celles des zones précédentes, s'éteignent toutes suivant leurs axes de symétrie. 2° les sections dissymétriques, appartenant à des zones dont l'arête est perpendiculaire à l'axe principal s'éteignent suivant cette arête, c'est-à-dire suivant un de leurs côtés. 3° L'extinction a lieu parallèlement à la projection de l'axe de symétrie principal sur le plan de la section ; on connaît donc, au moyen du microscope polarisant la direction d'un plan vertical contenant cet axe.	Quadratique
		Extinctions constantes pour les sections hexagonales	Rectangles ou hexagones allongés, symétriques par rapport à 2 axes perpendiculaires, s'éteignant suivant leurs côtés ou leurs axes de symétrie. Exceptionnellement, sections triangulaires ou pentagonales, symétriques par rapport à l'axe et s'éteignant suivant cet axe.	Rectangles s'éteignant suivant leurs côtés.			Hexagonal
à 3 axes inégaux (2 axes optiques)	Les 3 axes d'élasticité coïncident avec les 3 axes cristallographiques.	Sections rectangulaires constamment éteintes	Rectangles s'éteignant suivant leurs côtés.			1° les sections symétriques que l'on peut observer en dehors des zones précédentes, ne s'éteignent pas, dans la plus grande nombre des cas, suivant leurs axes de figure. 2° la direction de l'extinction donne un moyen pratique de trouver les traces, sur la section, des plans bissecteurs de l'angle dièdre formé par les 2 plans passant respectivement par la normale à la section et chacun des axes optiques.	Orthorhombique
	Un axe d'élasticité coïncide avec un axe cristallographique (orthodiagonale) ; les deux autres axes d'élasticité sont dans un plan de symétrie g'. 1° axes optiques dans g'. 2° axes optiques dans un plan perpendiculaire à g'.	1° sections constamment éteintes, symétriques par rapport à deux axes perpendiculaires 2° sections constamment éteintes, dissymétriques	sections symétriques par rapport à deux axes rectangulaires, s'éteignant suivant ces deux axes.	Sections dissymétriques sauf p, se reproduisant symétriquement de part et d'autre de g'	Sections dissymétriques sauf h', se reproduisant symétriquement de part et d'autre de g'		Monoclinique
	Aucune relation n'existe entre les axes d'élasticité et cristallographiques	Sections constamment éteintes, généralement dissymétriques.	Sections généralement dissymétriques. Angles d'extinction seulement connus dans quelques faces importantes telles que g, et p.				Triclinique.

~~Propagation des Rayons lumineux, milieu homogène, cristallisé~~
~~Réfraction — Polarisation, appareils.~~
~~Interférences {Coloration dans la lumière polarisée rectiligne~~
~~Coloration dans la lumière polarisée convergente : Brewster.~~
~~Cristaux biréfringents à 1 axe~~
~~Leurs caractères ; on en déduit la nature de l'arrangement des axes optiques, et la détermination de la nature de leur dispersion.~~
~~on détermine par là si le cristal est à 1 axe~~
~~Rayons des cristaux biréfringents à 2 axes.~~

Dispersion
absorption
Interférences {Cat. dans la lum. parallèle
lum. convergente

3

Cristaux — axes { symétrie
optique
élasticité.

Distribution inégale de l'éther dans les différents systèmes cristallins, inégalité due à leur homogénéité

Ellipsoïde de Fresnel

axes d'élasticité.

Cercles inscrits par l'axe moyen : axes optiques.

Rayons tombant suivant la ~~rayon~~ normale au cercle (axe optique).

Variations de 2V : { cristaux négatifs : aragonite, Brucite, Borax.
positifs : Gypse, Topaze

~~Des positions des axes différents~~

Variations de 2V avec la couleur des rayons (Dispersion).
composition chimique
température

Ces variations de 2V dépendent des changements des axes d'élasticité, en grandeur et en position.

Relations de position entre les axes cristallographiques, d'élasticité, optiques, dans les différents systèmes

1° Régulier : Coïncidence de tous les axes

2° cristaux à 1 axe (Rhomboïdal & Quadratique)

Coïncidence des axes.
Gauche d'un angle

3° cristaux à 2 axes optiques.

A. Orthorhombique : 3 plans de symétrie
Coïncidence des axes d'élasticité et cristallographique. Sac de dispersion pour les axes d'élasticité
Position des axes optiques, variable, dispersion.

B. Monoclinique : 1 plan de symétrie g'
Coïncidence de l'orthodiagonale avec 1 axe d'élasticité ; le plan g' contient tous les autres axes
Variations de position des axes optiques { suivant g' — (Calcul) Gypse, Diopside, Epidote.
normal à g' — leur position est alors déterminée
dispersion susceptible de modifier variable.

C. Triclinique : Recherche expérimentale du plan des axes optiques, et de leurs lignes médianes.

Détermination des lamelles basée sur l'observation microscopique des axes d'élasticité de l'ellipse

Observation d'une lamelle parallèle glissée sur les nicols, ses axes d'élasticité.
Rotation de cette lamelle & retrouver la position de ses axes d'élasticité.

Symétrie des Systèmes cristallins

1° Symétrie par rapport à un point
2° — — une ligne
3° — — à 3 plans
4° — — à 1 plan
5° — nulle.

I. Symétrie par rapport à un point

Système cubique

Symétrie trigquaternaire

3 axes quaternaires
4 axes ternaires
6 axes binaires

II. Symétrie par rapport à une ligne

Système quadratique

Symétrie quaternaire

1 axe principal vertical b à symétrie quaternaire
2 axes secondaires perpend. à symétrie bibinaire
2 axes accessoires bissectrices id.

Système hexagonal

Symétrie sénaire

1 axe principal b
3 axes secondaires perpend. a. angles de 60°
3 axes accessoires bissectrices

Symétrie ternaire

Système Rhomboédrique

1 axe principal b
3 axes secondaires a. égaux.

III Symétrie par rapport à 3 plans

Système orthorhombique

Symétrie bibinaire dans 3 positions différentes (zwei und zweigliedrige)

1 axe vertical c au choix
" macrodiagonal b = 1
" brachydiagonal a

IV Symétrie par rapport à un plan

Système Klinorhombique

Symétrie unibinaire -

3 axes inégaux
1 axe perpendiculaire au plan de symétrie b = 1
1 axe vertical c
1 axe klinodiagonal a

V Symétrie nulle.

Système triclinique

3 axes. Vertical, macro-, brachy-diagonal. Position indéterminée

Goselet 1900.

Notation

Dans un cristal il y a des faces, des angles, des arêtes. ~~Il y a~~

Prenons le prisme doublement oblique.

Comme les faces sont semblables 2 à 2 on n'en a que 3 à noter

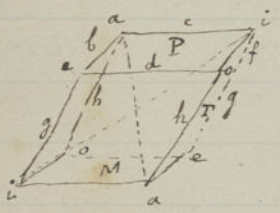
— angles — — 4 —

— arêtes — — 6 —

La face supérieure se note P, la face antérieure M, la face latérale T

les angles se notent a. e. i. o. (voyelles)

les arêtes — b. c. d. .. (consonnes)



Pour le cube, nous n'aurons que P a b

Si on a un prisme droit à base carrée, angles semblables a, 2 faces différentes P M, arête supérieure b, latérale g. Donc P M a b g

Quand une face remplace l'angle ou l'arête d'un cristal, on a des longueurs moins considérables que les arêtes elles-mêmes; on a $\frac{1}{x} \cdot \frac{1}{y} \cdot \frac{1}{z}$ fractions de longueurs en mettant l'angle remplacé à côté $a^{\frac{1}{x}} \frac{1}{y} \frac{1}{z}$.

On commence par les arêtes supérieures, x la plus longue, y ensuite, et la verticale z. Si les 3 arêtes sont également inclinées on écrit $a^{\frac{1}{x}} \frac{1}{x} \frac{1}{x}$ ou a^1. Si 2 arêtes sont également coupées on écrit $a^{\frac{1}{x}} \frac{1}{x} \frac{1}{z}$ ou $a^{\frac{z}{x}}$.

Ainsi le cube ayant les arêtes coupées également devient

l'octaèdre $d^{\frac{1}{0}}$. Le prisme droit à base carrée a 2 arêtes coupées également et donne l'octaèdre $a^{\frac{2}{n}}$

Minéraux cristallisant en octaèdres-pyramidés (Triakis octaèdre)

	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=\frac{3}{2}$	$m=\frac{7}{4}$	$m=\frac{5}{4}$
Diamant	+					
amalgame	+					
argentite	+					
Blende	+					
Cuprite	+	+				
Galène	+	+	+		+	+
Tétraédrite				+		
Pyrite	+					
Franklinite	+					
Magnétite	+					
Spinelle	+					
Perowskite	+					
Pharmacosidérite	+					
Skutterudite	+					
Fluorine	+	+				
Kérargyre			+			
Grenat				+		

D'après note de M. Gonnet

~~Application de la Théorie des Décroissements~~

~~rayon cubique décroissant sur les arêtes — dodécaèdre b'~~

~~sur les angles — octaèdre a'~~

~~Formes régulières. Hémiédriques.~~

Des Mâles

Particularités des cristaux ; Naumann p. 71.

La cause de ces anomalies se trouve dans les conditions où ces cristaux se formaient : le resserrement de la matière, qui cristallisait dans un espace étroit ; le rétrécissement d'autres cristaux qui pouvaient se former en même temps que les premiers, la pression mutuelle des individus qui se développaient dans un petit espace, l'influence du support, l'action de la pesanteur, celle de la nature et de la pureté du dissolvant.

Irrégularités des cristaux.

Croissance des cristaux — cristaux incomplets.

Les cristaux n'ont pas toujours la régularité géométrique théorique ; cela tient à des irrégularités de la croissance, qui s'est faite graduellement, et par adjonction de nouvelles molécules cristallines. Les cristaux nés dans un espace étroit sont déformés : grenats et tourmalines tabulaires entre les lamelles de mica.

Groupement des cristaux, en agrégats parallèles : certains cristaux se groupent, en ayant leurs axes parallèles : Spath calcaire. Le Feldspath, la Hornblende se montrent parfois formés au microscope d'une masse de petits cristaux microlithes, placés parallèlement, et dont l'ensemble représente grossièrement la forme général du cristal.

Cristaux formés par couches : Des cristaux de Wolfram, Distagite, Vésuvienne, Quartz, se montrent formés d'un noyau, recouvert de diverses enveloppes, qu'on peut parfois séparer à cause de inclusions étrangères entre elles.

La Fluorine, l'apatite, Baryte, Calcite, Tourmaline, présentent un noyau et des enveloppes diversement colorées. Elles sont disposées parallèlement aux faces du cristal, ou aux faces d'autres formes du même système.

Dans les cas précédents, chaque enveloppe représente une période de formation du cristal ; les intervalles étaient des périodes de repos pendant lesquelles la composition de l'eau mère changeait.

Au microscope, on voit des certaines d'enveloppes amorphes de ce genre sur des cristaux de petite taille d'augite, Hornblende, Feldspath, grenat, leucite.

Faces incomplètes des cristaux : Elles présentent tantôt des inégalités et tantôt des courbures.

Les inégalités sont des stries (Quartz, Dyrite, Tourmaline) parfois par combinaisons alternatives de 2 formes (Quartz, pr I et 4I.) ; des Bruises (grand des faces sont inégales d'angles, Karlis, de plus petits cristaux de même espèce) ; des aspérités.

Les courbures des faces sont produites parfois par suite de l'étranglement des stries sus-nommées (Tourmaline), parfois par une agrégation spéciale de petits individus sur les faces d'un plus gros individu, en forme de voûte (Desmine, Prehnite). Il y a enfin une réelle courbure des faces du Rhombèdre du carb. de fer, de celles des lentilles de gypse, et de celles du diamant. Il y a enfin des inégalités d'une dernière sorte, celles qui paraissent résulter d'une altération des cristaux, Apatite des Calcaires cristallins, Augite d'Arendal.

Il y a des faces qui sont irrégulières par creusement ; celui-ci se trouve alors sur toutes les mêmes faces.

Irrégularités des cristaux : Elles paraissent même dans des cristaux à faces régulières.

1° Inégalité de distances du centre de faces semblables : Elle est assez fréquente et change alors entièrement la forme des faces affectées. — Elle affecte surtout le Système régulier qui prend alors des allures d'autres systèmes.

2° Inégalité de nombre des faces semblables : Cela s'observe dans plusieurs combinaisons. Ce n'est pas de l'Hémiédrie, ni de l'Hémimorphisme, mais une dépendance de l'inégalité précédente.

3° Remplissage incomplet : Certains cristaux ne se sont pas formés en entier, leur squelette existe, mais leurs faces creuses indiquent la pauvreté de l'eau mère.

Remplissage par des pores liquides, gazeux, vitreux ; ou par des cristaux d'espèce différentes. x'

Périmorphose : cristaux d'une espèce réduits à leur pellicule et remplis par un noyau d'une autre espèce : Exs : grenats des calcaires grenus, feldspath orthose des porphyroïdes telges, feldspath orthose avec Pechstein d'Arsay.

4° Anomalies des angles : Elle est parfois produite par les irrégularités des faces.

x1. remplissage par des minéraux arrangés régulièrement :
Pyroxène & amphibole.
Divers micas.
Disthène, staurotide par Germar.
Orthose de Baveno et albite, Cop. de Buch.
Orthose graphique.
Remplissage par des minéraux disséminés sans ordre :
Quartz,
Feldspath,
Tourmaline, & autres minéraux transparents.

Grosseur des cristaux : indéterminée. Énormes cristaux de gypse, quartz, émeraude ; le système régulier est moins limité.

Petits cristaux, réduits dans une ou plusieurs directions : tables, aiguilles, microlithes. Le système régulier (pyrite, galène, fluorine), le système hexagonal (Calcaire, quartz) présente de grands développements ; elles sont réduites dans les autres systèmes à allongements (aiguilles d'épidote, amphibole, Haartier) à des raccourcissements (tables de Barytine, oligiste).

1°

Morphologie des agrégats cristallins.

il y a diverses manières d'agrégation des cristaux

1° agrégats cristallins ou de cristaux.
2° agrégats où on reconnait des cristaux combinés, phanérocristallins
3° agrégats où on ne reconnait plus les cristaux, Kryptocristallins.

les cristaux s'agrègent suivant des faces qui présentent alors des connexions spéciaux. les agrégats forment des composés divers :

1° du type grenu
2° du type aciculaire ou baccillaire.
3° du type lamellaire

l'agrégation des minéraux présente divers degrés; ces agrégats ont des textures différentes, reposant sur la forme, la position, et le mode de juxtaposition des individus: texture grenue, schistoïde, écailleuse, fibreuse, lamellaire

Formes des agrégats cristallins : groupes, druses.

les groupes se forment dans des espaces libres, on désigne sous le nom les agrégats d'individus cristallins à formes reconnaissables, et disposés suivant un certain ordre (Sphérolithes).

les Druses sont remplis d'un revêtement de cristaux disposés sans ordre.

Forme des agrégats microcristallins : ces agrégats ont une disposition parfois régulière (oolithes, Oligiste); ils forment des croûtes cristallines. — Rognons, Malachites.

Forme des agrégats dans un espace restreint : ils forment des roches cristallines, ou de roches de remplissage de fissures.

Mâcles

Les cristaux se groupent souvent entre eux. Quand ils ne sont pas parallèles entre eux, ils peuvent avoir néanmoins des relations très régulières. On les appelle alors des mâcles. Ils ont parfois leurs axes cristallins parallèles, parfois non parallèles; dans ces deux cas, on distingue des mâcles par juxtaposition, et par pénétration.

Les mâcles à axes de symétrie parallèles se rencontrent seulement chez les formes hémièdriques; elles obéissent à cette loi, que l'ensemble de ces 2 formes hémièdriques reproduit la forme holoèdrique, ou si l'on veut, que tout solide + se mâcle avec le solide − correspondant.

Les mâcles à axes de symétrie non parallèles, se trouvent chez les formes holoèdriques et les hémièdriques. Les 2 cristaux sont toujours réunis par une face commune (réalisée ou au moins réalisable dans la forme cristalline considérée) autour de laquelle ils ont fait un tour de 180°, ils ont tourné autour d'un axe perpendiculaire à cette face commune. Cette face commune s'appelle la face de mâcle, ou face de composition, et l'axe de rotation qui lui est perpendiculaire s'appelle l'axe de la mâcle. Ils obéissent d'après Weiss, à cette loi, que les 2 individus cristallins, sont entièrement symétriques de chaque côté de la face de mâcle.

Les cristaux mâclés sont souvent très réduits en étendue. On appelle hémitrope tout cristal qui est produit par l'inversion en sens contraire de l'une des moitiés de ce même cristal. Le plan suivant lequel on le coupe, est parallèle à la face de mâcle des 2 cristaux qui sont ainsi réunis et réduits par pénétration réciproque.

Angles entrants caractéristiques des mâcles.

Stries de mâcles: Les mâcles se forment souvent avec plus de 2 cristaux; quand un 3ème vient s'ajouter aux 2 premiers, il ne forme qu'une toute petite lamelle serrée entre eux. Il y a parfois 4 cristaux mâclés suivant les mêmes lois, ou 5, ou 6 cristaux, ou plus; on les dit alors polysynthétiques.

Les mâcles polysynthétiques peuvent avoir leurs plans de mâcles parallèles ou obliques. Dans le premier cas, elles se répètent à l'infini, et les cristaux sont si réduits, que l'on voit à l'œil ou au microscope des stries hémitropes très caractéristiques. Dans le 2e cas, le nombre des mâcles est limité, et leur ensemble forme des bouquets ou des rosaces définies.

1. Exemples de mâcles du système régulier.

A. à axes parallèles :

Hémièdrie tétraédrique, ou pentagon-dodécaédrique, qui donnent usuellement des mâcles cruciformes.

Ex : Pyrite (Pentagon-dodécaèdre) $\frac{\infty O n}{2}$

Diamant (Tétraèdre).

B. axes inclinés.

La face de l'octaèdre est habituellement la face de mâcle. Il y en a d'Holoèdres et d'Hémièdres, elles sont souvent très réduites, et arrivent à des Hémitropies.

Ex : Spinel, fer magnétique, automolite (octaèdres).

Fluorine, Pyrite, calamine? (Cubes).

Blende, (Rhomb-dodécaèdre)

Cuivre, argent, or (Hexitétraèdre).

2. Mâcles du système Quadratique :

A. axes parallèles.

rares. Sulfure de Cuivre (Sphénoïde)

Scheelite (Bipyramide pyramidale).

B. axes inclinés.

La face de mâcle est souvent une face de la Deutéropyramide $P\infty$, ou en tous cas, une des faces qui tronquent les dièdres de la forme fondamentale P.

Ex : Cassitérite, Rutile, Hausmannite.

Bec d'étain.

3. Mâcles du système Hexagonal.

A. faces parallèles.

Communes : Calcaire, Oligiste, Quarz (Bétartoèdrie).

Calcaire ∞R. $-\frac{1}{2}R$ (combinés)

$R3$ (combinés)

Quarz $P, +R-R$ (combinés en un cristal).

B. faces inclinées.

Communes, et dans diverses conditions, c'est pourtant le plus souvent une face de rhomboèdre qui est le plan de mâcle.

Ex : Calcaire, R et R' mâclés suivant une face de $-\frac{1}{2}R$.

R et R' mâclés suivant face de R.

Souvent polysynthétiques et montrant les stries multiples.

4. Mâcles du système rhombique

A. faces parallèles
rares.

B. faces inclinées.
Communes, suivant la loi où la face de mâcle est une face du prototrisme ∞P.
Ex : Arragonite, Marcasite, etc.
Arragonite ∞P, $\infty \breve{P} \infty$, $\breve{P} \infty$ et se groupent de 2 façons en ligne, ou en rosace, suivant la face de mâcle.

Staurotide, ∞P, $\infty \breve{P} \infty$, $0P$. Les mâcles sont également de 2 sortes, étant tantôt suivant le Brachydome $m \breve{P} \infty$ (les axes verticaux sont alors à angles droits entre eux), et tantôt suivant la Brachypyramide $m \breve{P} n$ (les axes verticaux forment alors des angles de 60° entre eux).

5. Mâcles du système monoclinique :

Les mâcles les plus communes de ce système sont celles chez lesquelles les axes principaux, et les 2 coupes-principales verticales, des deux individus, sont parallèles. Les 2 individus se mâclent habituellement par juxtaposition suivant l'Orthopinakoïde.

Exemples : Gypse : $\infty \breve{P} \infty$. ∞P. $-P$.
Augite : ∞P. $\infty \breve{P} \infty$. $\infty \breve{P} \infty$. P.
Hornblende

Albite : 1° Mâcle suivant la loi de l'albite : l'axe de révolution est perpendiculaire à la face d'assemblage g_1 ($\infty \breve{P} \infty$)
2° Mâcle de Carlsbad : à axe de révolution parallèle à l'arête $h_1 g_1$, ~~sa~~ face de composition étant g_1. (distingue le droit et la gauche).
3° Mâcle de Baveno : se produit suivant la face $m \breve{P} \infty$ (Hémiclinodome), appartenant à la zône $p g_1$, avec axe de rotation perpendiculaire, de telle façon que g_1 est perpendiculaire à g_1' et p à p'.
4° Mâcle suivant la face p avec axe de rotation perpendiculaire à p. Le plan g_1 se confond avec g_1'
— Les faces communes sont $\infty \breve{P} \infty$. ∞P. $0P$. $2 \breve{P} \infty$.

6. Mâcles du Système Tricliniqué : Nombreuses, nous citerons spécialement celle qui est caractéristique et permet de reconnaître de suite un système, du S. monoclinique. L'axe de macle est perpendiculaire à la coupe principale brachydiagonale. — Comme cette coupe brachydiagonale et la base ne sont pas à angle droit dans les feldspaths triclinigues, on voit qu'après la rotation, les bases des mâcles doivent faire entre elles un angle saillant, et de l'autre côté un angle rentrant. Dans les feldspaths monocliniques au contraire, la même rotation, mettrait les 2 bases dans un même plan horizontal ; l'axe de rotation étant dans un plan parallèle à ces bases.

On reconnait très facilement par ce caractère l'albite (triclin) qui se mâcle souvent suivant $\infty \breve{P} \infty$: ces bases présentent alors une gouttière caractéristique.

Il y a souvent 3 et plus mâcles juxtaposées ; elles sont alors très minces et forment des stries.

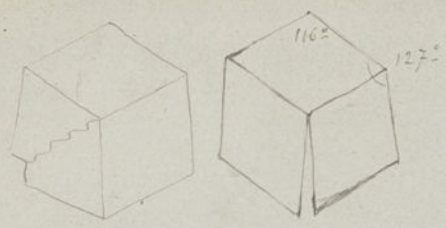
Il faut noter que 2 cristaux mâclés suivant une certaine loi, peuvent prendre part à une autre combinaison et se démâcler suivant une autre loi.

Remarque finale : Les formes produites par hémitropie présentent un plus haut degré de symétrie, que les cristaux isolés qui les ont formés. Ainsi par ex. : les mâcles triclines suivant $\infty \breve{P} \infty$ ont la symétrie du S. monocline. ; les mâcles d'augite, Hornblende, gypse, ont la symétrie du S. Rhombique ; l'Harmotome et la Phillipsite (Rhombique et Monocline) affectent certaines formes de mâcles quadratiques et même régulières.

Cristaux mimétiques, figures de corrosion

Cristaux mimétiques

Ostermark.

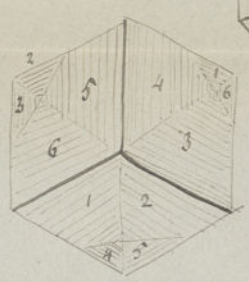


les mailles sans angles rentrants, présentant la symétrie de formes plus régulières, mais leurs angles dièdres. Ainsi 3 cristaux d'aragonite maclés ont un contour hexagonal, mais les angles ont 116° au lieu de 120°. Si ces cristaux d'aragonite avaient des angles de 120°, leur macle aurait une forme difficile à distinguer des hexagonales, ce qui se réalise dans la nature pour quelques espèces.

Nous appellerons pseudosymétrie, la symétrie de certaines formes inférieures (Biotite, chlorite, glauconite, carnallite), qui présentent des valeurs angulaires de formes d'un système plus élevé, en symétrie. Nous appellerons cristaux mimétiques les mailles de cristaux pseudosymétriques, mailles toujours complexes, mais dont l'ensemble et les valeurs angulaires appartiennent à un système plus élevé.

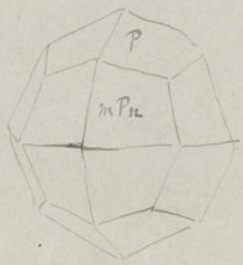
Les mailles mimétiques expliquent beaucoup des soi-disant anomalies: variations des angles des cristaux de divers minéraux, variations des angles homologues d'un même cristal (leucite, apophyllite, chabasie), surfaces striées, courbées des cristaux (Senarmontite, analcime), clivages en désaccord avec le système (orthose), apparences optiques incompatibles avec le système.

Exemples: Microcline, apparence monocline, formée de nombreuses lamelles triclinigues très fines maclées suivant ∞P∞ (loi de l'albite): les lamelles sont pseudosymétriques, l'angle de OP sur ∞P∞ étant de 89°44' (presque droit). De plus ces lamelles maclées, sont en outre maclées sous forme d'une seconde macle de Carlsbad.



Chabasie: forme extérieure rhomboédrique, à faces striées, qu'on rapportait à des modifications scalénoédriques. Becke a reconnu que ces cristaux rhomboédriques sont formés par des individus triclinigues: il sont au nombre de 6. De plus ce cristal mimétique peut se macler suivant une autre loi.

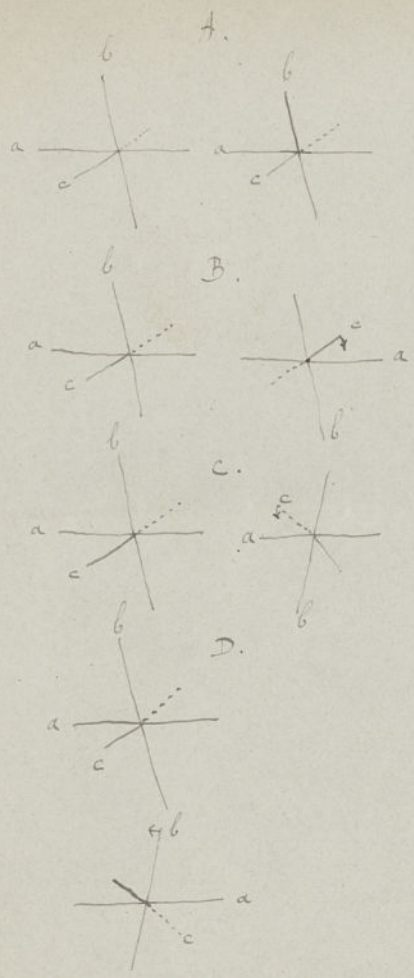
Apophyllite: Quadratique extérieurement, elle est formée d'individus monocliniques. Elle paraît formée d'un prisme avec pyramide quadratique; mais est en réalité formée de nombreuses lamelles monocliniques, maclées dans 2 directions, et montrant les faces du prisme, et du macrodome.



Leucite: Régulière extérieurement ou icositétraèdre; vom Rath reconnut une macle suivant le dodécaèdre rhombe, et les angles du système quadratique. Les cristaux sont formés de fines lamelles maclées suivant le rhombododécaèdre (= deutéropyramide mP∞); chaque paire de faces de cette pyramide résulte du clivage d'assemblage des lamelles, d'où l'ensemble est très complexe.

Pérowskite: A apparence cubique, est rhombique.

Analcime, Senarmontite, à apparence cubiques, mais cristaux mimétiques.



Explication des macles : ~~les macles se forment quand les 2 premières molécules étant orientées & fixées~~ ~~Pour comprendre dans bien le mécanisme de cette formation on se rappelant la ~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~ formation moléculaire des cristaux.~~ ~~[illegible]~~

On se rappelle en effet que dans la théorie moléculaire, un cristal se forme, quand des molécules en liberté se disposent régulièrement dans la position d'équilibre qui leur convient le mieux, et de telle sorte que leurs axes de même nature soient parallèles.

Quand un corps passe de l'état amorphe à l'état cristallin, il peut arriver que la molécule se fixe après qu'elle est complètement orientée, ou elle peut se fixer avant d'être complètement orientée. Représentons par a.b.c. en grandeur et en direction, les résultantes des forces qui sollicitent chaque molécule à s'orienter : si la molécule est complètement orientée, et à l'état d'équilibre les 3 axes sont parallèles comme en A.

Quand les molécules ~~sont~~ fixées avant de s'être orientées entièrement dans leurs état cristallin (équilibre & axes parallèles), le parallélisme des axes peut être nul, ou peut avoir commencé ; ainsi les axes a peuvent être parallèles sans que les autres le soient (ce sont des associations très irrégulières). Quand un axe est ainsi parallèle, et qu'il y a le plus un plan (a b) d'orientations, parallèle (on a des macles) et on peut distinguer les 3 cas suivants :

B. les 2 molécules ont a . b parallèles ; pas c . On revient alors à A par rotation de 180° avec axe de rotation perpendiculaire au tableau.

C. les 2 molécules ont a parallèle, et le plan a b, pas c ni b ; l'axe a est dans le même sens. on revient à A par rotation de 180° autour de l'axe a.

D. les 2 molécules ont a parallèle et le plan a b, pas c ni b ; l'axe a est en sens inverse. on revient à A par rotation autour d'un axe normal à a situé dans le plan a b.

Si sur 2 molécules considérées ici, il vient s'en joindre nombre d'autres, il se formera un cristal simple si elles se fixent comme A, il se formera des macles si elles se fixent comme B.C.D.

Les macles se forment donc quand les 2 premières molécules d'un cristal étant orientées et fixées, elles ne s'accroissent pas de même façon, mais bien comme un corps droit et un corps gauche.

Associating de cristaux d'espèces diverses : elles présentent une face parallèle au moins, et au moins une arête parallèle, ces cristaux sont donc régulièrement orientés les uns par rapport à l'autre.

Association de Dithène & Staurotide.

——— Fer titané & rutile.

——— orthose, albite – ∞P∞ et arête ∞P.

——— augite, amphibole d'après Haidinger.

Des molécules d'espèces différentes peuvent donc agir les unes sur les autres, pour s'orienter. On peut pour confirmation mettre un rhomboèdre de calcite dans une dissolution concentrée d'azotate de soude, il se forme sur les arêtes de petits rhomboèdres parallèles d'azotate de soude ; un cristal d'anglesite dans une dissolution d'azotate de chaux se couvre de petits prismes d'azotate de chaux, parfaitement orientés.

Pseudomorphoses : cristaux nets extérieurement, mais ayant une structure interne incompatible avec leur forme, ou même amorphe. Les pseudomorphoses sont donc des minéraux cristallins ou amorphes, qui sans être des cristaux, ont la forme cristalline d'autres minéraux, ou même leur texture.

1. Pseudomorphoses de remplissage, après dissolution (Paramorphose).
2. Pseudomorphoses proprement dites, opérant chimiquement la substitution. Changements moléculaires, tout l'eau est l'agent, ordinaire, (transformation du feldspath en mica) ou même l'air (olivine en limonite).

Les eaux doivent pénétrer lentement et longtemps les cristaux cristallines pour produire ce résultat.

3. Pseudomorphoses homoaxes : quand non seulement la forme et les angles sont conservés, mais que de plus les paillettes du squelette minéral sont orientées comme celles de l'ancien et que les clivages sont ainsi conservés (ouralite) Forme externe de l'augite, et formée de fibres de Hornblende.

X est toujours très difficile d'étudier les pseudomorphoses. On les observe avec lieu au microscope, où on voit leur marche : pyrite en goethite, olivine en serpentine, feldspath en mica. Elles se développent de la périphérie au centre, en suivant les clivages, ou à partir du centre.

– Fossilisation –

4

de Lapparent p. 293.

Figures de corrosion : La symétrie intérieure des cristaux, dont les faces ne sont pas suffisamment développées, peut-être très heureusement mise en évidence par les phénomènes de corrosion. Quand une face cristalline est exposée à l'action de vapeurs ou de liquides capables de détruire ou de dissoudre la substance cristallisée, cette face commence par se couvrir de cavités qui deviennent sur son plan des figures de corrosion (Aetzfiguren). L'étude de ces figures donne de précieuses indications sur la structure intime des cristaux, si l'on admet que les parois des cavités représentent des surfaces d'égale résistance vis-à-vis des réactifs employés, et que correspondent approximativement à des plans réticulaires de l'espèce.

Lorsque la corrosion se fait trop rapidement les figures affectent en général des contours curvilignes, quand on va lentement, les contours deviennent très nets et les cavités sont limitées par des facettes planes. Si tenant la face cristalline horizontale, on projette verticalement, de bas en haut, l'agent de corrosion sur un point déterminé, on obtient une incision unique et d'assez grande dimension. Au contraire en étendant le liquide ou le vapeur sur toute la surface, on fait naître un nombre plus ou moins grand de cavités, qui donnent à l'ensemble un aspect dépoli, et dont l'étude doit se faire au microscope.

Comme résultat général on peut dire, que les figures de corrosion sont de véritables cristaux négatifs ou en creux, qui changent avec la nature de l'agent et avec l'orientation de la face cristalline, mais qui demeurent les mêmes pour tous les points d'une même face ainsi que pour toutes les faces d'une même forme simple. Dans tous les cas, leur symétrie exprime absolument celle du cristal.

Dans toute l'étendue d'une même face, les figures sont semblables et ont la même orientation, à moins qu'il n'y ait une macle, auquel cas le changement de direction des figures le fait immédiatement reconnaître.

Exemples : Cubes de sel gemme, à cavités parallélépipédiques, exposés à l'air.

fer natif cubique — id. — aux acides.

Calcite sur face R, l'acide chlorhydrique développe figures triangulaires, où l'on voit les faces du rhomboèdre et du scalénoèdre.

L'acide sulfurique développe des losanges, à diagonales parallèles à celles de R.

Quartz par HFl. montre des figures différentes sur p et e/2 ; les unes allongées horizontalement p, les autres e/2 descendant de droite à gauche, ou inversement suivant le sens du quartz.

Mica muscovite, HFl. figures monoclinigues.

La corrosion ne s'attaque pas seulement aux faces, mais aux arêtes, un sphène de Calcite attaqué par l'acide prend la forme d'un prisme hexagonal.

Les figures de corrosion révèlent dans les cristaux miametriques.

Corrosions sentinelles : les mêmes trouvés dans la nature.

cristaux mimétiques.

De la pseudosymétrie : aragonite. — (biotite, clinochlore, glauconite).

De la mimésie : mailles de cristaux pseudosymétriques, leur connexion.

Elle explique les anomalies.

Exemples : microcline : forme monocline à lamelles triclinigues.

chabasie : — rhomboédrique, à lamelles triclinigues.

apophyllite : — quadratique, à lamelles monocliniques.

leucite : — régulière à lamelles quadratiques.

pérovskite : — régulière, à lamelles rhombiques.

analcime, sénarmontite, id. — à lamelles inconnues, encore.

Interprétation théorique des mailles : Rappel de la théorie moléculaire.

molécules sphériques (corps amorphes), commençant à s'orienter (mailles), s'orienter (cristaux).

Les molécules des mailles ont un axe, et une plane d'orientation parallèles (dirent cas possibles).

Les molécules des mailles s'orientent comme un corps droit et un corps gauche.

Association cristalline d'espèces diverses : 1 face et 1 arête parallèles, et deux s'orientent l'un par rapport à l'autre

Ex : dithine & staurotide, fer titané & rutile, orthose & albite, augite & amphibole.

Expérience du carb. de chaux (calcite & aragonite).

Pseudomorphoses : 1. Pléromorphoses.

2. Pseudomorphoses proprement dites, hétéroaxes. — ses agents ordinaires (eau, air).

3. ——— homoaxes : (ouralite).

Leur marche étudiée au microscope. — Fossilisation.

Figures de corrosion : développement de la symétrie intérieure des cristaux.

méthodes expérimentales.

Résultats : cristaux négatifs, variables avec l'agent et la face, constants pour une même face et les faces d'une même forme. Symétrie identique à celle du cristal.

Elles diffèrent des mailles, les cristaux mimétiques.

Exemples : sel gemme, calcite, quartz, muscovite.

Corrosions sur les arêtes. — Corrosions naturelles.

Système Régulier : formes Holoédriques.

Systèmes cristallins.

H. Kopp. p. 40.

Toutes les formes cristallines se rapportent à 6 systèmes, d'après le nombre, la position, et les grandeurs relatives de leurs axes (même Symétrie); les différentes formes d'un même groupe peuvent prendre part aux mêmes combinaisons.
Chacun de ces systèmes cristallins a un système d'axes déterminé, et une forme fondamentale.

~~Les formes simples peuvent être réparties en plusieurs systèmes cristallins, systèmes pour lesquels que le même groupe de lois que équatorial, et principal, peuvent les différentes formes d'un même groupe peuvent prendre part aux mêmes combinaisons.~~

1. Système régulier : 3 axes égaux à angles droits entre eux. On peut placer chaque forme de ce système de telle façon, qu'elle soit formée en haut et en bas, comme à droite et à gauche, comme devant et derrière, et que ces 3 directions soient perpendiculaires entre elles. - S. triquaternaire

2. Système Quadratique : 3 axes perpendiculaires entre eux, 2 égaux, 1 différent. On peut placer chaque forme de ce système de telle façon, qu'elle soit formée à gauche et à droite, comme en avant et en arrière, mais différemment de ce qu'elle est en haut et en bas ; ces 3 directions sont perpendiculaires entre elles. S. quaternaire

3. Système rhombique : 3 axes inégaux perpendiculaires entre eux. On peut placer chaque forme de ce système de telle façon, qu'elle soit formée différemment de droite à gauche que de haut en bas, et différemment que de devant en arrière ; ces 3 directions sont perpendiculaires entre elles. S. bibinaire

4. Système monoclinique : 3 axes inégaux, dont 2 sont perpendiculaires entre eux, et obliques ~~entre eux~~ relativement au troisième. On peut placer les formes de ce système, de telle façon, qu'elle soit formée différemment de droite à gauche, que de haut en bas, et que de devant en arrière ; et que la direction ~~Devant en arrière~~ droite à gauche soit perpendiculaire à celle ~~de droite à gauche~~ d'avant en arrière, ainsi qu'à celle de haut en bas ; tandis que la direction de haut en bas soit oblique à celle de ~~droite à gauche~~ d'avant en arrière.
S. unibinaire

5. Système triclinique : 3 axes inégaux, obliques entre eux.
S. unitaire

6. Système Hexagonal : 3 axes formant dans un même plan des angles de 60° entre eux, et un 4e axe perpendiculaire aux précédents.

Ce système se rapproche du S. Quadratique ; il a comme celui-ci des axes perpendiculaires, un seul étant différent des autres. Si on place verticalement cet axe spécial, on voit que les formes quadratiques comme les Hexagonales sont formées à gauche et à droite différemment de haut et en bas ; tandis que ces formes sont formées de même sur les côtés, dans 2 directions dans le S. Quadratique, et dans 3 directions dans le S. Hexagonal.

S. Sénaire

S. ternaire

Système régulier

{ 3 plans de symétrie principale, perpendiculaires entre eux.
{ 6 plans " secondaires, bissecteurs des précédents.

Caractères fondamentaux.

Différentes formes régulières : Il y en a 13 qui se rangent en 6 groupes d'après le nombre de leurs faces :

1° 1 forme à 4 faces : Tétraèdre

2° 1 forme à 6 faces : Hexaèdre (Cube)

3° 1 forme à 8 faces : Octaèdre

4° 4 formes à 12 faces : Dodécaèdres, D. rhombe - D. rhomboïdal
(forme d'après la forme des faces :) D. trigonal
D. deltoïde
D. pentagonal

5° 5 formes à 24 faces : Icositétraèdres, d'après le groupement des faces en systèmes : J. Tétrakishexaèdre
J. Triakisoctaèdre
J. Hexakistétraèdre
J. Dyakisdodécaèdre
J. Icositétraèdre

6° 1 forme à 48 faces : Hexakisoctaèdre.

Formes Holoédriques, & f. Hémiédriques : Les formes précédentes mieux caractérisées par la position des faces que par leur nombre ; le nombre dépend de la position. En tenant compte de la position, on reconnaît que beaucoup des formes précédentes ne sont que des Hémiédries des autres.

Formes Holoédriques :

Hexaèdre ——→ Cube
octaèdre ——→ octaèdre
Dodécaèdre rhombe —→ Dodécaèdre rhomboïdal (Grenatoèdre)
Tétrahexaèdre — Tétrakishexaèdre —→ ~~Hexatétraèdre~~, cube pyramidé.
Triakisoctaèdre — Triakisoctaèdre —→ Octotrièdre, octaèdre pyramidé.
Icositétraèdre —→ Trapézoèdre (Leucitoèdre).
Hexakisoctaèdre —→ Hexaoctaèdre Hexoctaèdre

Formes Hémiédriques à faces parallèles :

Dodécaèdre pentagonal pentadodecaèdre
Dyakisdodécaèdre Diploïde, dodecadèdre

Formes Hémiédriques à faces obliques :

Tétraèdre
Dodécaèdre trigonal — tritétraèdre
D - - - deltoïde -
Hexakistétraèdre — Hexatétraèdre

Dans la nature, il y a une grande distinction entre les formes Holoédriques et les Hémiédriques, puisqu'une même espèce minérale est toujours Holoédrique ou toujours Hémiédrique.

Description des formes régulières Holoédriques:

Cube: 6 faces carrées égales
12 arêtes égales formant entre elles des angles 90°
8 angles solides trigones.
Position des axes.

Exemples: Sel gemme, Fluorine, Galène.

Octaèdre: 8 faces, triangles équilatéraux.
12 arêtes égales, formant angles de 109°28'16"
6 angles solides à 4 pans.
Position des axes.
Exemples: Alun, aimant, Cuprite, galène.

Dodécaèdre rhombidal:
faces: 12 rhombes égaux et semblables
arêtes: 24 égales, formant angles de 120°
angles: 6 à 4 pans (Quadruples)
8 à 3 pans (Triples)
Position des axes.
Ex.: grenat, Boracite

Tétrakishexaèdre (Cube pyramidé):
faces: 24 triangulaires, isocèles, égales {formes limites prisme cubique et Dodécaèdre rhombe}
arêtes {12 cubiques
24 pyramidales
angles solides {6 octaédriques – quadruples
8 cubiques — sextuples.
Position des axes.
Ex.: Fluorine, Pyrite, Diamant.

Triakisoctaèdre, Octaèdre pyramidé:
faces: 24 triangulaires, isocèles {formes limites entre l'octaèdre et le Dodécaèdre rhombe}
arêtes {12 octaédriques
24 pyramidales
angles solides {8 triples – cubiques
6 octogonaux, octaédriques.
Position des axes.
Ex.: Cuprite, galène, Diamant.

Icositétraèdre, Trapézoèdre: {limites octaèdre et tétraèdre}
faces: 24 Trapézoïdales.
arêtes {24 plus grandes – 2 par 2 sur arêtes octaédriques
24 plus petites – 3 par 3 sur faces octaédriques
angles solides {6 quadruples, octaédriques.
8 triples, cubiques.
12 quadruples
Position des axes
Ex: Leucite, analcime, grenat.

Hexakisoctaèdre:
faces: 48 triangles scalènes, égaux.
arêtes: 72 {24 plus longues
24 moyennes
24 plus courtes
angles solides: 26 {6 ~~octuples~~
8 ~~sextuples~~
12 quadruples
Position des axes (joignent les angles octuples)
Ex.: Diamant, grenat

D'après von Rath la Leucite est Quadratique.

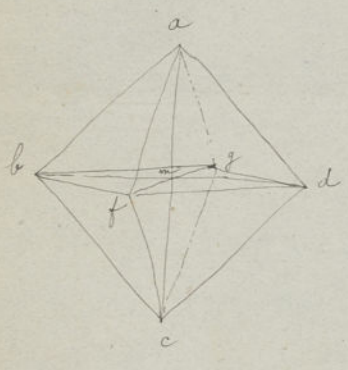
Friengerle p. 32

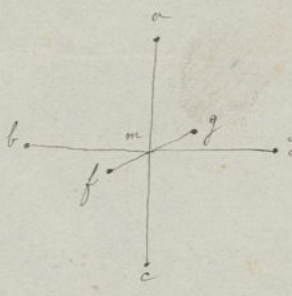
Dérivation & Notation des formes simples Holoédriques :

~~Les sept formes Holoédriques régulières ont de grandes relations entre elles, on peut passer facilement des unes aux autres par dérivation, comme le montre leur notation basée sur la dérivation.~~

La notation sert à abréger les descriptions, elle repose sur les relations des axes et la position des faces : sur les rapports entre les paramètres des faces.

— Ex : les formes du système régulier se rapportent à 3 axes égaux, à angles droit entre eux ; chacun d'eux peut être choisi comme axe principal. On considère l'octaèdre de ce système comme forme fondamentale : il a 6 angles solides égaux entre eux, chacun de ces angles est également éloigné du centre du cristal (point où les axes se coupent) ; les demi-axes ma, mb, me, md, mf, mg, sont égaux entre eux (paramètres), ou en d'autres mots, chaque face de l'octaèdre coupe les 3 axes à la même distance du point central. D'après Weiss les différentes faces du cristal sont caractérisées, par la distance du point central, à laquelle chacune de ces faces coupe les différents axes du cristal. Ainsi les faces de l'octaèdre régulier coupent, chacun des 3 axes à la même distance du point central ; nous pouvons appeler cette distance a ; et ~~l'octaèdre~~ face de l'octaèdre se trouve alors caractérisée par la notation a : a : a. D'après Naumann la face de l'octaèdre est représentée par O, parce que la face de l'octaèdre coupe les 3 axes à une même distance m du centre, c'est à dire à une distance ma = mb = me que nous appellons 1.





= Si on modifie les angles de l'octaèdre par des faces, qui croissent jusqu'à la disparition de l'octaèdre, on obtient un **Cube**. Supposons des faces menées par les points a et c, et parallèles aux axes bd et fg ou si l'on veut qui les rencontrent à une distance infinie ; la position de ces faces est caractérisée par Weiss comme suit a : ∞a : ∞a. On peut en dire autant des 2 autres faces, que l'on mènerait par les points b et d parallèles au plan des axes ac et fg ; et des 2 autres faces menées par les points f et g. — Ces 6 faces constituent ensemble un Cube. Naumann désigne le Cube par ∞O∞, signe qui signifie, que chacune de ses faces est parallèle au plan de deux axes, et les rencontre à une distance infinie.

= Si sur chaque face du Cube, on place une pyramide quadrangulaire, dont la hauteur est égale à la moitié du côté de la base, on obtient le Cube pyramidé. On reconnait que la position des faces de ce solide, est telle que, chaque face est parallèle à un des axes, et coupe les 2 autres axes à des distances qui sont entre elles comme 1 est à 2. Pour cette raison, les faces du Cube pyramidé sont désignées par Weiss par la formule : a : 2a : ∞a. ; Naumann les désigne par 2O∞

Les plus communes sont $\infty O \frac{3}{2}$, ∞O2 et ∞O3.

= Comme Naumann choisit O pour le représentant de l'octaèdre (forme fondamentale du système régulier), il choisit P pour représentant

des autres systèmes (Pyramides). Il représente les formes hémiédriques et tétartoédriques par une fraction, dont le numérateur est le signe de la forme holoédrique correspondante, et le dénominateur le nombre 2 ou 4. Ainsi par exemple $0/2$ sera le signe du demi-octaèdre, ou tétraèdre. — On sépare par des points les signes des différentes formes qui entrent dans une combinaison; on commence par énoncer les formes dominantes.

= Si sur chaque arête de l'octaèdre on fait une troncature, parallèle à l'axe qui n'est pas rencontré par cette arête, on obtient le Dodécaèdre rhomboïdal. Chacune de ses faces est caractérisée par le paramètre $\infty : 1 : 1$; sa notation sera donc ∞O.

= Si ~~on~~ prolonge les demi-axes de l'octaèdre à longueurs proportionnelles m, rationnelles et plus grandes que 1, et que l'on modifie les arêtes de cet octaèdre par des biseaux qui coupent à la distance m l'axe qui n'est pas rencontré par cette arête, on obtient le Triakisoctaèdre. Chacune de ses faces est caractérisée par le paramètre $m : 1 : 1$; sa notation sera donc mO.

Les plus communs dans la nature sont 3/20, 20, et 30

= Si on prend sur chaque demi-axe de l'octaèdre une longueur m, et qu'on modifie chaque angle solide de l'octaèdre par un pointement à 4 faces, de sorte que ~~ces faces~~ les faces coupent à la distance m les 2 autres axes de l'octaèdre, on obtient le Tétratétraèdre (trapézoèdre). Chacune de ses faces est caractérisée par le paramètre $m : m : 1$; sa notation sera donc mOm

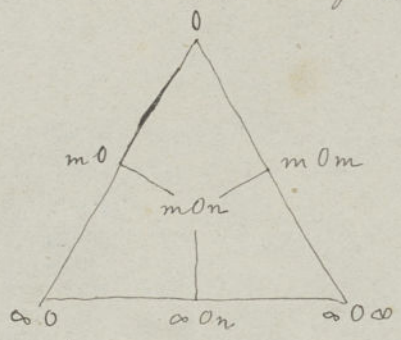
Les plus communs sont 202 et 303 ; le premier est celui de l'analcime et du grenat.

= Si on prend sur chaque demi-axe de l'octaèdre deux longueurs différentes m et n plus grandes que 1, et qu'on modifie chaque angle solide par un pointement à 8 faces, de sorte que les 2 faces-biseaux de chaque arête coupent les autres axes ~~aux~~ aux distances m et n, on obtient l'Hexakisoctaèdre. Chacune de ses faces est caractérisée par le paramètre $m : n : 1$ sa notation sera donc mOn.

Les plus communs sont $30\frac{3}{2}$, 402, $50\frac{5}{3}$

— On peut aisément démontrer théoriquement qu'il n'y a que 7 rapports possibles entre les paramètres : ce sont ceux que nous venons de voir réalisés.

Résumé des formes Holoédriques : On reconnaît facilement dans le schéma suivant les passages et les relations qui y a entre toutes les formes Holoédriques régulières.



Aux angles du schéma sont les 3 formes extrêmes ; sur les côtés sont les 3 solides à 24 faces, qui ont leurs limites de chaque côté ; au centre est le solide à 48 faces.

Système régulier de formes Hémiédriques

1

Description des formes régulières hémiédriques.

1° Formes Hémiédriques à faces obliques:

Tétraèdre : 4 faces triangulaires équilatérales.
6 arêtes égales
4 angles solides triples, égaux.
Position des axes.
Exemples: Boracite, Panabase (cuivre gris).

Dodécaèdre Trigone: (Tétraèdre pyramidé) Blende:
12 faces triangulaires Isosceles
18 arêtes { 6 ar. égales, tétraédriques.
12 arêtes pyramidales.
8 angles solides { 4 sextuples
4 triples
Position des axes
Ex.: Eulyte (bismuth silicaté); Cuivre gris

Dodécaèdre Deltoïde (Trapézoïdre à 12 faces).
12 faces trapézoïdales.
24 arêtes { 12 plus longues, sur les arêtes du tétraèdre.
12 plus courtes, pyramidales.
14 angles solides { 6 quadruples
4 triples aigus
4 triples obtus
Position des axes
Ex. Tétraédrite { Panabase, Cuivre gris antimonial
Tennantite, " arsenical

Hexakistétraèdre.
24 faces triangulaires scalènes
36 arêtes { 12 sur les arêtes du tétraèdre.
12 plus longues } sur les faces du tétraèd.
12 plus courtes
14 angles solides { 6 quadruples
4 sextuples aigus
4 — id — obtus.
Position des axes.
Ex: Diamant, Boracite.

Dérivation et notation des formes Hémiédriques obliques.

on les obtient en développant les faces des octants alternés et en réduisant les arêtes jusqu'à disparition, des formes Holoèdres correspondantes.

Le Tétraèdre est l'Hémiédrie de l'octaèdre $\frac{O}{2}$
on distingue le positif, et le Négatif; ils sont complémentaires ou opposés.

Le Dodécaèdre Trigone est l'Hémiédrie du Icositétraèdre $\frac{mOm}{2}$

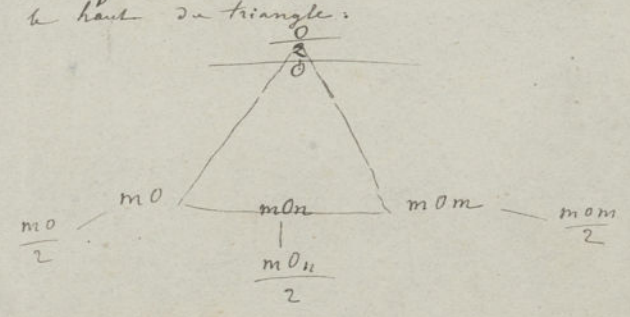
forme commune $\frac{2O2}{2}$ Fahlerz (cuivre gris)

Le Dodécaèdre deltoïde est l'Hémiédrie du Triakis-octaèdre $\frac{mO}{2}$

forme commune $\frac{\frac{3}{2}O}{2}$ Fahlerz (cuivre gris)

L'Hexakistétraèdre est l'Hémiédrie du Solide à 48 f. - $\frac{mOn}{2}$
par les octants alternes.

Résumé: on les reconnait facilement dans le schéma des formes Holoèdriques; en ne considérant que le haut du triangle:



2° Description des formes hémiédriques à faces parallèles

Pentagonododécaèdre :

12 faces pentagonales symétriques égales

30 arêtes { 6 culminantes égales
24 ordinaires égales

20 angles solides { 8 cubiques réguliers, triples.
12 culminants, triples, non réguliers.

Position des axes

Exs.: Pyrite, Cobaltine.

Dyakisdodécaèdre :

24 faces trapézoïdales

48 arêtes { 12 courtes, sur les 6 du Pentagon-dodéc.
12 longues, sur les faces — id —
24 moyennes, sur les 24 du Pent. dodéc.

26 angles solides { 6 quadruples, à faces égales.
8 trigonaux
12 quadruples, à faces inégales.

Position des axes.

Exs.: Pyrite

Dérivation et notation des formes hémiédriques parallèles :

Le Pentagonododécaèdre est l'hémiédrie du tétrakishexaèdre $\frac{\infty O m}{2}$

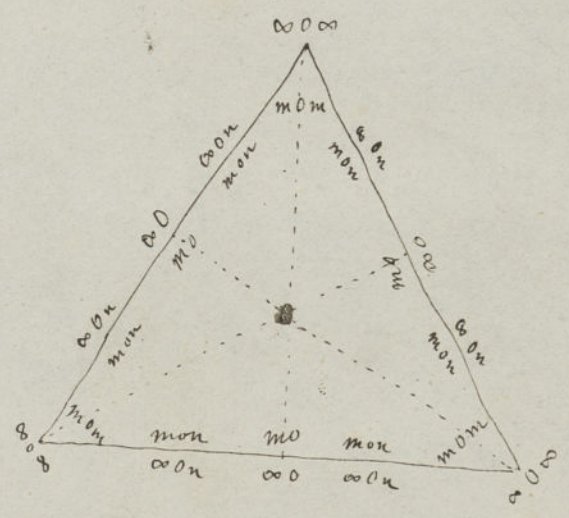
Le Dyakisdodécaèdre est l'hémiédrie du solide à 48 faces, pour les faces alternantes, prises 2 à 2, de chaque côté d'une arête médiane.

$\left[\frac{m O n}{2}\right]$

Le seul cas possible est $m = n^2$

Combinaison des formes du système régulier : Elles sont régulières par l'observation.

~~Cornian partique~~ Kenngott propose le schéma suivant pour aider les déterminations des formes composées ; il montre aux yeux la position des diverses faces modifiantes (représentées par leurs signes) relativement à la face d'un octaèdre



Système Quadratique

Formules pour les relations entre les axes et les angles

---

c longueur de l'axe principal
A Incl. des faces dans les dièdres pyramidaux. Protopyr.
B. Incl. des faces ——— de base . id -
A - ——— Deuteropyr.
B . ——— deu. id -

$c = \cot. \xi$, ~~quand~~ Quand $\cos. \xi = \cot. \frac{1}{2} A$;

$c = tg \frac{1}{2} B . \sqrt{\frac{1}{2}}$;

$\cos \frac{1}{2} A = c . \cos \frac{1}{2} B$;

$$\cos A = - \frac{1}{2c^2 + 1}$$

$$\cos B = - \frac{2c^2 - 1}{2c^2 + 1}$$

Principe:
Les longueurs interceptées par une face quelconque, sur les 3 axes cristallographiques, sont respectivement proportionnelles aux inverses des cosinus des angles que la normale à cette face fait avec les axes conjugués.

	c	x. y. angles culminants	z. angles latéraux	latitude du Pole de la face
Idocrase $Si^5Al^2Ca^9$	0.54	129.21	74.17	37.73
zircon $ZrO^2 + SiO^2$	0.64	123.19	84.20	42.10
Rutile TiO^2	0.64	123.8	84.40	42.20
Cassitérite SnO^2	0.67	121.35	87.17	43.38
mellite $Al^2C^{12}O^{12} + 18$ aq.	0.74	118.17	93.1	46.30
Octaèdre régulier	1	109°28'	109°28'	54°,44'
Hauttmannite $MnO + Mn^2O^3$	1.15	105°51'	116.59	58.30
apophyllite (zéolithe)	1.25	104°0'	121.4	60.32
anatase TiO^2	1.77	97°55'	136.30	68.18

Chalkopyrite $\frac{mP}{2}$, $\frac{mPn}{2}$ $Cu^2Fe^2S^4$

1

Système quadratique

Système du Prisme droit à base carrée (Beudant, Dufrénoy.)

{ 1 axe de symétrie principale
{ 4 axes " ordinaire, perpendiculaires au précédent.

Caractères fondamentaux : axes, symétrie.

Différentes formes quadratiques : il y en a 8 qui se divisent en 2 groupes :

1° formes fermées, de grandeurs définies

1. Pyramide quadratique (3 espèces), octaèdre à base carrée.
2. Pyramide ~~octogonale~~ à 8 côtés, Dioctaèdre.
3. Sphenoïde quadratique (le Sphenoèdre correspond au tétraèdre).
4. Skalénoèdre quadratique ou tétragonal.
5. Trapézoèdre quadratique

2° formes ouvertes, de grandeurs indéfinies

6. Prismes quadratiques (2 espèces), prisme à base carrée.
7. Prismes ~~octogonaux~~ à 8 côtés, Prisme octogonal symétrique
8. Pinacoïdes

La dérivation nous montrera que les formes ouvertes ~~ne~~ sont que des formes limites des formes fermées.

Les formes fermées se divisent en :

Holoèdriques { Pyramide quadratique (1e et 2e)
{ Pyramide octogonale

Hémiédriques { Pyramide quadratique (3e espèce)
{ Sphénoïde "
{ Skalénoèdre "
{ Trapézoèdre "

Symétrie quaternaire

{ Axe principal — quaternaire
Axes secondaires — axes p. primaire { Binaires
" accessoires — axes p. secondaire
Angles polaires
arêtes polaires
1 plan de symétrie principale
4 " " ordinaires

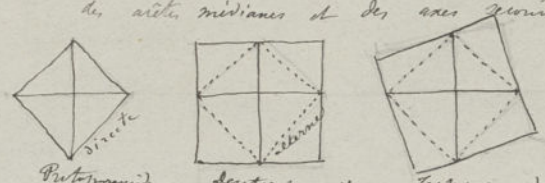
Description des formes quadratiques

f. fermées : **Pyramide quadratique** :

8 faces, triangles isocèles égaux.
12 arêtes { 8 culminantes.
4 basiques.
6 angles { 2 culminants
4 basiques

Grand nombre de pyramides carrées, basées sur les relations diverses de longueurs des axes.

3 pyramides différentes basées sur les relations différentes des arêtes médianes et des axes secondaires :



Protopyramide — Deuteropyramide — Tritopyramide

Exemples : Protopyramide, Deuteropyramide : Zircon, Scheelite.

Dioctaèdre :

16 faces, triangles scalènes. - La base est un octogone, à angles alternes égaux (Ditétragone)
24 arêtes { 8 longues, aiguës. } polaires.
8 courtes, obtuses }
8 basiques
10 angles { 2 polaires ditétragonaux.
4 quadruples obtus } basiques
4 ——— aigus }

Position des axes (nebenaxen, Zwischenaxen).

Exemples : Zircon, Vésuvienne, Cassitérite.

Sphénoèdre : C'est le tétraèdre de ce système.

4 faces, triangles isocèles égaux.
6 arêtes { 2 culminantes
4 latérales
4 angles solides égaux

Position des axes.

Exemple : Chalkopyrite (cuivre pyriteux).

Skalénoèdre tétragonal :

8 faces, triangles scalènes.
Les arêtes de base, ~~montant et descendant~~ en zigzag.
Hémisèdrie du Dioctaèdre.
Exemple (unique) : Chalkopyrite.

~~Ditétragonaux, mélonite, scheelite (Ca WO⁴), stolzite (Pb WO⁴)~~

Trapézoèdre quadratique : Phosgenit, sels artificiels.
~~arêtes montant et descendant en zigzag.~~

f. ouvertes : **Prisme à base carrée** : (Säulenförmige Krystalle)

6 faces { 2 carrées
4 latérales rectangulaires
12 arêtes { 8 basiques
4 latérales
8 angles solides droits.

D'après la position des nebenaxen, il y a 3 espèces de Prismes, correspondants aux Pyramides.

Prisme à base Dioctaèdrique :

faces 10 { 8 faces latérales rectangulaires
2 faces terminales.
arêtes { 8 basiques
8 latérales — { primaires
secondaires

Pinakoïdes : Paire de faces parallèles à la base

La combinaison avec d'autres faces, est une condition essentielle d'existence des formes ouvertes.

3

Hermann Kopp. p. 158

Loi de Haüy

De la forme fondamentale : On conserve le signe a pour les axes secondaires et on appelle c l'axe principal. La position des faces sera encore déterminée comme dans le système régulier ; a : a : c désignera une face qui coupera les 2 axes égaux à la même distance du point central, et le 3e axe à une distance différente. c représente un nombre déterminé que l'on doit rechercher et obtenir par un calcul spécial, pour chaque substance cristalline quadratique.

Pour chacune de ces substances (ou espèces minérales) il y a plusieurs valeurs de c, d'après la loi de la Proportionalité des axes. En appelant P celle de ces pyramides qu'on choisit comme forme fondamentale, on désignera les autres pyramides par la formule mP, m nombre entier ou fractionnaire exprimant le rapport de l'axe vertical de la pyramide dérivée à la pyramide fondamentale. Connaissant la valeur de la forme fondamentale, on arrive facilement aux formes dérivées ; aussi ne cherche-t-on qu'à déterminer c de la Pyramide fondamentale. On trouve facilement c par un simple calcul trigonométrique, connaissant a = 1 et les angles dièdres basiques qu'on mesure directement.

La grandeur de l'axe principal c est toujours rapportée à la longueur d'un axe secondaire pris comme unité ; ainsi un cristal où c = 1,888 montrerait qu'une face a : a : c coupérait l'axe principal à une distance 1,888 fois plus grande du point central, que les 2 axes secondaires. — La face a : a : ∞c coupérait les 2 axes secondaires à la même distance du point central, et serait parallèle à l'axe principal.

I On trouve ainsi que les rapports de longueurs des axes de P sont 1 : 0,67 pour la cassitérite, 1 : 1,77 pour l'anatase ; etc. voir le tableau.

I.

Dérivation et notation des formes quadratiques

— Si on prend sur l'axe principal de P une longueur mc de chaque côté du centre, et qu'on prolonge ces ces points les plans qui coupent a:a, on obtient une nouvelle Protopyramide. Les plus communes sont $\frac{1}{2}$ P, 2P, 3P.

— Si m devient ∞, la pyramide nouvelle devient de plus en plus aigue, et les faces ne se rencontrent plus sont parallèles, et donnent la forme ∞P, Protoprisme.

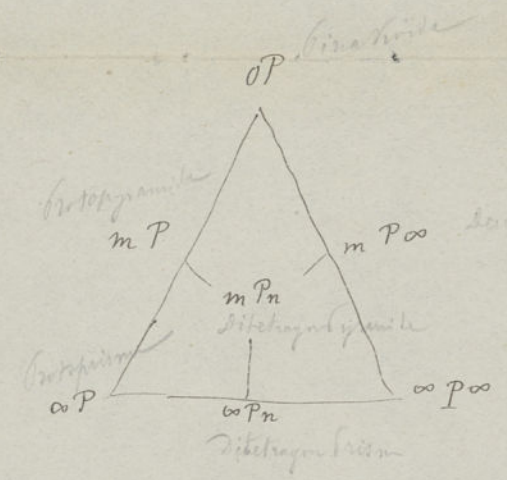
— Si m devient 0, la pyramide après être devenue de plus en plus obtuse, s'applique sur la base de P, et on obtient les Pinakoïdes 0P.

— Chaque Protopyramide mP donne naissance à diverses Pyramides ditétragonales et à un Deutéropyramide. qu'on prenne sur chaque axe secondaire des longueurs n rationelles et plus grandes que 1, et qu'on fasse passer par les arêtes polaires de mP deux faces qui rencontrent le 3ème axe à ces distances n on obtient la pyramide ditétragonale mPn.

n peut avoir toutes les valeurs, mais on ne rencontre habituellement que $\frac{3}{2}$, 2, 3, et ∞.

Si n est ∞ la pyramide ditétragonale passe au Deutéropyramide : mP∞

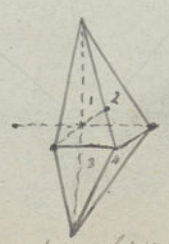
De même que nous l'avons fait pour les protopyramides, on pourrait faire dériver du protoprisme ∞P, les Prismes ditétragonaux ∞Pn, et enfin les deutéroprismes ∞P∞.



Les formes Hémiédriques se dérivent des Holoédriques comme dans le système régulier.

Il est commode de les faire toutes dériver du Dioctaèdre

mPn	Pyramide quadratique (3e espèce)	Hémiédrie pyramidale	$\pm\left[\frac{mPn}{2}\right]$	1 et 3
	Sphenoïde	Hémiédrie sphénoïde	$+ - \frac{mP}{2}$	1 + 2
	Skalénoèdre		$+ - \frac{mPn}{2}$	1 et 2
	Trapezoèdre	Hémiédrie trapézoèdre	$\pm \frac{mPn}{2}$	1 et 4



La combinaison de formes hémiédriques sphenoïde et pyramidale donne des formes Tétartoèdres.

Système Hexagonal

Formules indiquant les rapports entre les angles et les axes

du Système hexagonal

Axes horizontaux $= 1$

Axe vertical c

Pyramide de 1e ordre A l'angle au sommet

" B " à la base

Pyramide de 2e ordre $\mathcal{A}$ l'angle au sommet

" $\mathcal{B}$ " à la base

$c = tg\, \xi$, si $\sin. \xi = cotg.\, 1/2\, A . \sqrt{3}$;

$c = tg\, 1/2\, B . \sqrt{3/4}$;

$\cos 1/2\, A . \sqrt{3} = c . \cos 1/2\, B$;

$c = tg.\, 1/2\, \mathcal{B}$, en effet $\sin 1/2\, \mathcal{B} = 2 \cos 1/2\, \mathcal{A}$;

$$\cos A = - \frac{2c^2 + 3}{4c^2 + 3} ;$$

$$tg\, 1/2\, B = \frac{c}{\sqrt{3/4}} ;$$

$$\cos \mathcal{A} = - \frac{c^2 + 2}{2c^2 + 2} ;$$

$$\cos \mathcal{B} = - \frac{c^2 - 1}{c^2 + 1}$$

Pour les Rhombèdres, soit c la longueur du semi axe vertical rapporté aux axes horizontaux comme unités.

A l'angle ~~latéral~~ au sommet

B l'angle latéral

On trouve :

$$A + B = 180^\circ ;$$

$$c = \sqrt{\frac{3(1 + \cos A)}{2(1 - 2\cos A)}} ;$$

$$\cos A = \frac{2c^2 - 3}{4c^2 + 3} .$$

Système Hexagonal

Symétrie Sénaire

Caractères fondamentaux : axes, symétrie.

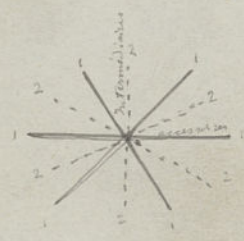
Différentes formes Hexagonales : il y en a 11, qui se divisent en 2 groupes :

1° Formes fermées, de grandeurs définies.

- 1. Pyramide trigonale
- 2. Pyramides Hexagonales, 3 espèces.
- 3. Pyramides dihexagonales, ou à 12 côtés.
- 4. Rhomboèdres, 3 espèces.
- 5. Scalénoèdres hexagonaux
- 6. Trapézoèdres trigonaux.

2° Formes ouvertes, indéfinies.

- 1. Prismes trigonaux
- 2. Prismes Hexagonaux, 3 espèces.
- 3. Prismes ditrigonaux
- 4. Prismes dihexagonaux ou à 12 côtés.
- 5. Pinakoïde.



Axe principal
axes secondaires (= primaires)
axes intermédiaires (secondaires)
1 Plan de symétrie {horizontal} principal / secondaire
6 {3 " " primaires / 3 " " secondaires} binaires

La dérivation nous montre que les formes ouvertes ne sont que les formes limites de certaines formes fermées.

Les formes fermées se divisent en :

Holoédriques {Pyramides Hexagonales, 2 espèces. / Pyramide dihexagonale}

Hémiédriques ou Tétartoédriques {Pyramide trigonale / Pyramide hexagonale (3e espèce) / Rhomboèdre (3 espèces) / Scalénoèdre hexagonal / Trapézoèdre trigonal}

Nous ne considérerons que les Holoédriques, et une série d'Hémiédriques, les autres étant très rares.

Tétartoédrie trapezoédrique	Pyramide trigonale		$\frac{mP2}{2}$
Holoédrie	Pyramide Hexagonale	proteropyramide	mP
Holoédrie (?)		deuteropyramide	$mP2$
Hemiédrie pyramidale		tritopyramide	$+ \left[\frac{mP2}{2}\right]$
Holoédrie	Pyramide dihexagonale		$mP2$
Hemiédrie rhomboédrique	Rhomboèdre	Proteres	$+ - mR$
		Deuteres	$+ - \frac{mP2}{2}$
		Tritos	$+ - \frac{mRn}{2}$
Hemiédrie rhomboédrique	Scalenoèdre hexagonal		$+ - mRn$
Tétartoédrie trapezoédrique	Trapezoèdre Trigonal		$+ + \frac{mP2}{4}$ $- -$
Hemiédrie trapezoédrique	Trapezoèdre hexagonal		$+ - \frac{mPn}{2}$

Les formes hémiédriques sont tantôt superposables, ne différant que par leur orientation à 90° : on les dit alors + et − (Ex. : Rhomboèdre / Sphénoèdre).

Dans d'autres cas, elles ne sont pas superposables, comme la main droite et la main gauche, elles sont ~~dites~~ alors plagièdres ou énantiomorphes et dites {droites / ou gauches} (Scalénoèdre).

2

Description des formes holoédriques

Pyramide hexagonale (dihexaèdre) :

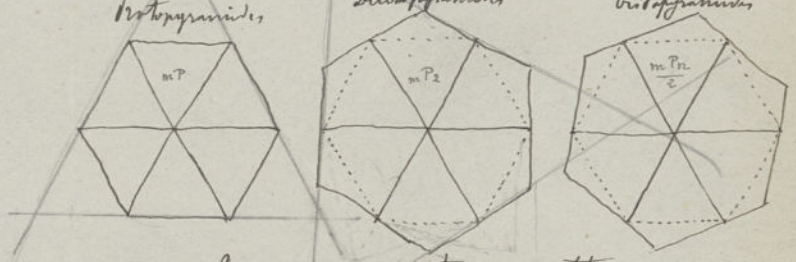
12 faces — triangles isocèles.

18 arêtes { 12 culminantes polaires.
6 basiques

8 angles { 2 culminants, sextuples.
6 basiques, quadruples.

Grand nombre de pyramides hexagonales, basées sur les relations des axes secondaires, aux arêtes secondaires.

Protopyramides Deutopyramides Tritopyramides



Exs. : Quartz, mimetesites, apatite.

Pyramide dihexagonale :

24 faces { triangles scalènes ; la base de figure forme un dihexagone.

36 arêtes { 12 longues, aiguës (primaires)
12 moyen., moins aiguës (secondaires)
12 basiques.

14 angles { 2 dihexagonaux.
6 basiques aigus
6 obtus

Exs : Emeraude, apatite (en cristaux).

Prisme Hexagonal :

6 faces : parallèles à l'axe principal, et formant un Hexagone régulier.

3 espèces de prismes correspondant aux 3 pyramides.

Prisme dihexagonal :

12 faces parallèles à l'axe principal, et formant un dihexagone.

Pinakoïde

Paire de faces, parallèle à la base.

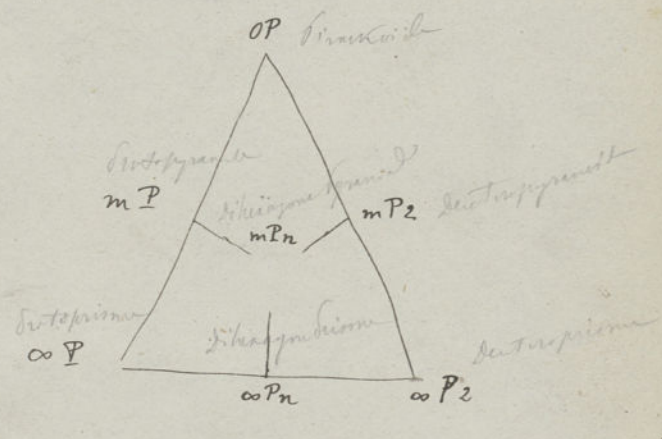
$a : a : \infty a : c = P$
$a : a : \infty a : mc = mP$

De la forme fondamentale : on conserve le signe a pour les axes secondaires, et on appelle c l'axe principal ; sa grandeur est mesurée en prenant a comme unité. Ainsi un cristal où c = 0,85 montrerait qu'une face a : a : c coupait l'axe principal à une distance 0,85 fois plus grande du point central, que les 2 axes secondaires.

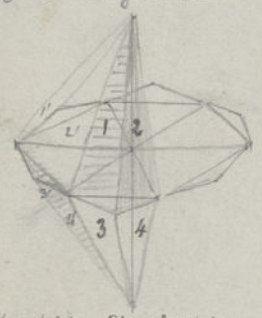
La position des faces sera encore déterminée comme dans le système précédent, par les distances du centre auxquelles ces faces coupent les 3 axes secondaires, et l'axe principal. On abrège, en ne donnant que les distances de 2 axes secondaires, car on peut alors aisément trouver la distance du 3ème. — c représente un nombre déterminé que l'on doit rechercher et obtenir pour un calcul spécial, pour chaque substance cristalline ~~Hexagonale~~.

Dérivation et notation des formes Hexagonales Holoédriques

Pyramide : on l'obtient en prolongeant c de longueurs proportionnelles m, on a ainsi mP.
Prisme, ~~en prolongeant~~, on arrive à ∞P
Pinakoïde, en faisant diminuer m, on arrive à OP.
Dihexagonal Pyramide : chaque protopyramide mP donne naissance à diverses Pyramides dihexagonales, et à un deutéropyramide. Si on prend sur chaque axe secondaire de longueur n rationnelle et plus grande que 1, et qu'on fasse passer par les arêtes polaires de mP deux faces qui rencontrent le 3e axe à ces distances n on obtient la dihexagonal Pyramide mPn. Quand n = 2 on arrive à la Deutéropyramide.
Dihexagonal Prismes : on en obtient les mêmes dérivations que pour les Pyramides :



δ. Dihexagonale



1 + 2	Hémiédrie	Rhomboédrique	: Perdu	4 plans de	Rhomboïdes	Rhomboïdes scalénoïdes hexagonal
1 + 3	"	Pyramidale	: "	6 "	Pyramides	Ditétragonale
1 + 4	"	Trapézoédrique	: "	7 "		Trapézoèdre hexagonal

+ mR face en haut tournée vers l'observateur
− mR Arête — "

Description des formes Hémiédriques :

1° Hémiédrie rhomboédrique.

Rhomboèdre :

6 faces rhomboïdales.

12 arêtes { 6 polaires, culminantes.
6 latérales, en zigzag.

8 angles { 2 triples, culminants, réguliers.
6 triples, basiques, irréguliers.

Les axes joignent les milieux des arêtes de base (protorhomboèdre). Les Deutero- et Tritorhomb. sont des tétartoèdres.

Scalénoèdres Hexagonaux :

12 triangles scalènes.

18 arêtes { 6 longues
6 courtes } polaires
6 basiques, comme celles du Rhomboèdre.

8 angles { 2 sextuples, polaires.
6 quadruples, basiques.

Les axes joignent les milieux des arêtes de base opposées. (Rhomboèdre inscrit).

Exemples : Spath Calcaire.

Notation & Dérivation des formes rhomboédriques :

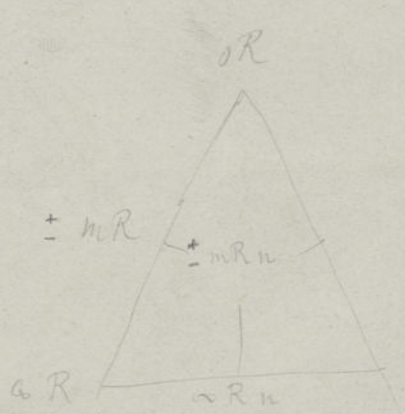
Rhomboèdre : forme hémiédrique de la protopyramide, $\frac{mP}{2}$. On trouve plus commode de poser $R = \frac{P}{2}$. On distingue aussi les Rhomboèdres $+mR$ et $-mR$.

Scalénoèdre : forme hémiédrique du dihexagonal Pyramid $\frac{mPn}{2}$ ou mRn.

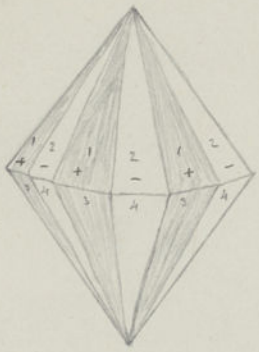
Il est plus commode de le faire dériver du Rhomboèdre inscrit ; on prolonge c de grandeurs n, et on fait passer des plans sécants par les arêtes de base.

Prisme dihexagonal dérivé $= \infty Rn$

On obtient par analogie $0R$ et ∞R.



Les prismes hexagonaux qui dérivent du Rhomboèdre ne diffèrent en rien, quant à la forme et aux dimensions, de ceux du système normal : mais ils s'en distinguent par leurs propriétés physiques et principalement par la structure. Ainsi, tandis que dans l'Émeraude et l'apatite, les clivages quand ils existent se font parallèlement aux bases, ou aux faces latérales, on ne réussit à cliver les prismes du Calcaire que par des plans obliques, et seulement sur 3 des arêtes basiques du prisme direct, de chaque côté, ou sur 3 des angles du prisme alterne.



2°. — Hémiédrie Pyramidale :

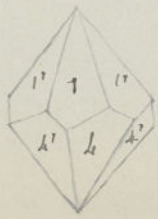
Hémiédrie pyramidale de l'apatite (Naumann) formée par les faces alternes 2 à 2 de la pyramide dihexagonale, elle donne la trièdre pyramide à 6 faces.

On obtient de même le prisme de 3e espèce à 6 faces.

12 faces
18 arêtes { 12
6
8 angles { 2
6

$+\left[\frac{mPn}{2}\right]$ droit $\quad -\left[\frac{mPn}{2}\right]$ gauche

Ces modifications de la trièdre pyramide sur un protopyramide hexagonale, donnent des faces inclinées qui ont permis à Baumhauer de les reconnaître.



3. Hémiédrie Trapezoédrique :

Formée par les faces alternes 1 et 4 ou 2 et 3 du dodécant (S. dihexagonale)

Elle donne le trapezoèdre hexagonal :

12 faces trapezoèdres.
{ 12 arêtes polaires
6 " marginales longues
6 " " courtes.
{ 2 angles hexagonaux polaires.
6 " " marginaux.

$+\frac{mPn}{2}$ droit

$-\frac{mPn}{2}$ gauche

Tétartoédrie

Elle est le produit de la superposition de 2 hémiédries, de sorte qu'il ne demeure que 1/4 des faces de l'Holoèdre.

1. La superposition de l'hémiédrie rhomboédrique & de l'hémiédrie trapezoédrique } Tétar. trapezoédrique.

2. " de l'Hémiédrie rhomboédrique & de l'hémiédrie pyramidale } donne Tétar. rhomboédrique.

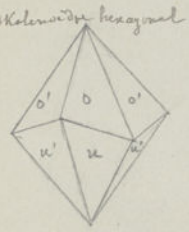
3. " de l'Hémiédrie pyramidale & de l'Hémiédrie trigonotype } Tétartoèdre trigonale.

Tout holoèdre donne des formes tétartoédriques qui se divisent en 2 couples : les tétartoèdres droits et les tétartoèdres gauches : les 2 droits, comme les 2 gauches, sont superposables entre eux ; un droit et un gauche sont énantiomorphes entre eux.

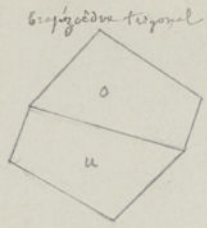
Tétartoédries

Tétartoédrie trapezoédrique

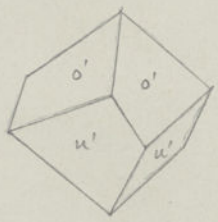
Skalenoëdre hexagonal



Trapezoëdre trigonal



+ droit



− gauche

Trapezoëdre trigonal :

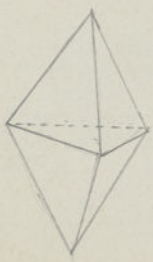
Hémiédrie du Scalénoëdre (o.u) ou (o'.u')

6 faces, trapezoïdes de même hauteur

12 arêtes { 6 polaires, égales
6 latérales, en zigzag, en 2 groupes égaux.

Elle correspond à 1/2 scalénoëdre hexagonal, ou 1/4 Syp. dihexagonale.
on peut faire dériver 2 trapezoïdes trigonaux (droit & gauche) du même scalénoëdre (ils sont enantiomorphes), et on peut en faire dériver 4 de la Syp. dihexagonale.

$\left.\begin{matrix}+\\+\\-\\-\end{matrix}\right\}\ \frac{mRn}{2}$ Plagiédrie du quartz



Pyramide trigonale :

Hémiédrie de la deutéropyramide, suivant la bipyramide donne la Pyramide trigonale.

$\pm\frac{mP2}{2}$ Tour rhombe du quartz

Hémiédrie Deutéroprisme donne prisme trigonal $\frac{\infty P2}{2}$
" Prism dihexagonal — prism ditrigonal $\frac{\infty Pn}{2}$

Les formes de la Tétartoédrie trapezoédrique se rencontrent en continuation avec Dextrines, Tour quartz, et Tourmaline.

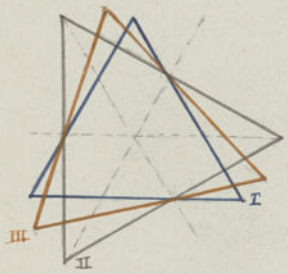
Quartz : Prisme bipyramidé, rhombédrique, présentant troncatures diverses sur les angles latéraux, sur plusieurs ou sur tous. Parfois toutes sont inclinées d'un côté soit à droite soit à gauche, dans un sens oblique relativement à l'axe. Les faces plagièdres affectent une disposition rotatoire oblique à l'axe, et sont en relation intime avec la polarisation circulaire du quartz.

Les faces plagièdres quand elles affectent 3 des angles des bases sup. et inf. produisent par leur entrecroisement des solides à faces quadrilatères (trapezoïdres trigonaux $\pm\frac{mRn}{2}$) quand elles sont inclinées sur l'axe.

Les faces plagièdres quand elles sont également inclinées sur les 3 arêtes 1.3.5 ou 2.4.6 présentent la forme de rhombes, et donnent alors naissance par leur entrecroisement à la Pyr. trigonale (Dièdre) $\pm\frac{mP2}{2}$).

Les facettes dissymétriques précédentes (trapezoïdre trigonal, et Pyramide trigonale) ne sont nullement assujetties au nombre et à la position supposées. Elles paraissent avoir un nombre et une position accidentelles.

Tétartoédrie rhomboédrique



I. Rhomboèdre de la 1re espèce :
Dérive de la Tritopyramide, et donne un rhomboèdre identique à R, mais à demi-faces.

II Rhomboèdre de la 2e espèce :
Dérive de la Deuteropyramide $mP2$ et forme un rhomboèdre à 30° du premier.

$$\frac{mP2}{2}$$

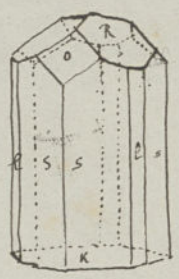
III Rhomboèdre de la 3e espèce :
Dérive du Hexaèdre par développement des faces alternes, en produisant des Tétrarhomboèdres, placés entre les précédents par la position des axes,

$$\frac{mRn}{2}$$

La fig. donne le schéma de la position des faces des 3 rhomboèdres par rapport aux axes, obtenue en dominant sur un plan perpendiculaire à l'axe vertical les traces des 3 faces supérieures des différents rhomboèdres.

Hémimorphie :

Tourmaline : Elle offre des anomalies constantes ; leur forme est prismatique, certaines anomalies se rapportent aux parties latérales, d'autres aux extrémités.



$R = R$
$o = -2R$
$s = \infty P 2$
$l = \frac{\infty R}{2}$
$K = \delta R$

Les anomalies latérales se reproduisent 3 par 3, ce sont des tétartoèdres prismatiques. On en a fait ressortir un sous-système trigonal. La figure ci-joint montre une forme fréquente de la tourmaline (prisme à 9 pans) ; la notation les explique.
Les autres anomalies montrées par la même figure, se rapportent aux extrémités qui portent des modifications différentes. Ce ne sont plus des Hémiédries, mais ce que Breithaupt a appelé des Hémimorphies. Les cristaux hémimorphes acquièrent quand on les chauffe une électricité polaire, c.à.d. que les 2 extrémités ont des électricités contraires.

système rhomboïque

système rhombique.

Système Rhombique

— Soufre = P. angle pol = 144°36' + 84°58
oP. angl. lat = 143°17

h = 1,5 à 2,5 p.s. = 1,9 à 2,1

Fusible à 114,5 — inflamme à 270°

Barytine — prisme et dôme = ∞P̆∞ . mP̄∞

angle aigu à P̄∞ = 76° 24'
clivable suivant ∞P̆∞
" un peu suivant P̄∞

h = 3,0 à 3,5 — p.s. = 4,3 à 4,7

BaO . SO3 .

Celestine = forme voisine de Barytine, P̆∞ dôme = 104°7
bien clivable ∞P̆∞ — et un peu suivant P̄∞

h = 3,0 à 3,5 — p.s. = 3,9 — 4,0

Sr O . SO3

Topaze = prismatique ∞P (124°19'), ∞P̆2 (86°52'), P = 141°, P̆ = 101°52'
90°55' , oP , 2P̆∞

Face ∞P striée verticalement ; oP nette.
clivable oP
h = 8,0 p.s. = 3,4 — 3,6
5(Al2O3 . SiO2) + Al2F6 . SiF4 (Fluosilicate d'alumine)

Péridot = prismes rectangles ∞P = 130° 2' , P̄∞ = 76° 56' , P̆∞ = 119° 12'
2P̆∞ = 80°53 , oP , ∞P̄∞ , ∞P̆∞ .
clivage facile ∞P̆∞
h = 6,5 à 7,0 p.s. = 3,3 à 3,5
2 MgO . SiO2 .
Soluble avec Sulfate

~~Eurycrinus~~ ~~Tahthyocrinus~~ Iowa 11-557

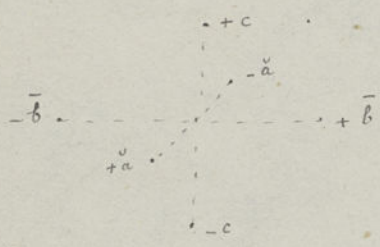
Andalousite 90° 50° $Al^2 Si O^5$

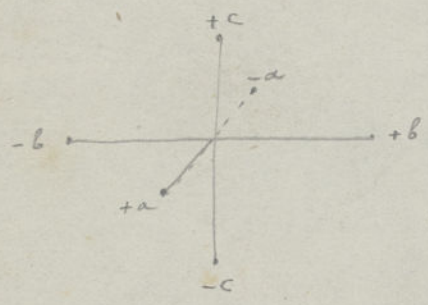
Sillimanite 111° Wollastonite $Ca Si O^3$, Enstatite $Mg Si O^3$, Hypersthene $(Mg Fe) Si O^3$

Staurolite $H^2 (Fe Mg)^3 Al^{12} Si^{16} O^{34}$

Système Rhombique

{ 0 Axe de symétrie principale
{ 3 Plans ordinaires, perpendiculaires





Caractères fondamentaux, axes, symétrie.
manière de placer les cristaux sur leur axe.
macrodiagonale, brachydiagonale.

Différentes formes rhombiques:

A. formes fermées.
1. Pyramides rhombes, dioses.
2. Sphénoïdes rhombes.

B. formes ouvertes.
1. Prismes rhombes, dioses.
2. Trois Pinakoïdes.

Certains prismes sont des dômes.

Description des formes rhombes.

Pyramide rhombe :

8 faces égales, triangles scalènes

12 arêtes { 4 culminantes, longues.
4 ——— , courtes.
4 latérales.

6 angles { 2 culminants
2 } latéraux { grande diagonale
2 } petite diagonale.

Ex. soufre

Sphéroïde rhombe :

4 faces, triangles scalènes.
6 arêtes.
4 angles solides.

C'est l'hémiédrie de la pyramide rhombe.

Ex. (rares) : ~~Boitardalgen, zinkvitriol~~ Sulfates artificiels de magnésie, de zinc. acerdèse.

Prisme rhombe :

4 faces parallèles à l'un des axes, et dont la coupe est un rhombe.

on les obtient par troncatures sur les arêtes de base de la pyramide ... prisme.
arêtes les plus ~~longues~~ courtes — id ——— macro-dôme.
— id ——— ~~courtes~~ longues — id ——— brachydômes.

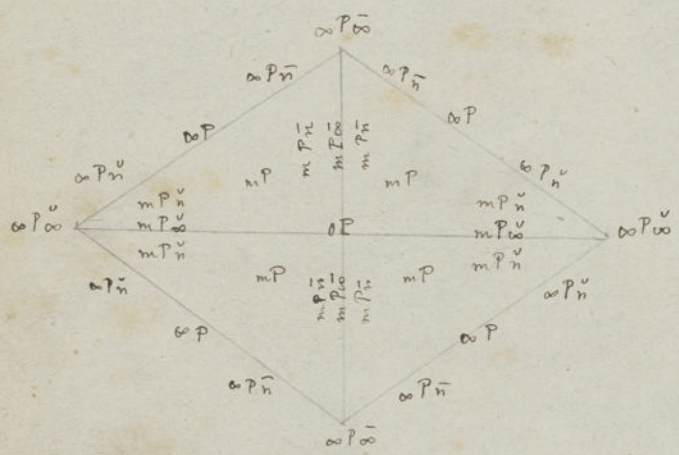
3 Pinakoïdes : Ils sont formés par les troncatures des 3 différentes paires d'angles solides, opposés.

$BaO.SO^3$ $SrO.SO^3$ Al.Si.F.

Exemples : Barytine, Célestine, Topaze.
Péridot.
$2MgO.SiO^2$

Hémiédrie de la Topaze : lorsqu'elle se présente avec un 2 sommets, comme dans les topazes du Brésil les modifications des angles aigus du prisme macrodomes ne s'opèrent jamais que d'un côté, tout le reste suit les lois ordinaires. Cette différence entre les extrémités de l'axe cristallin, est en rapport avec les différences d'électricité de ces extrémités, quand on chauffe le cristal.

La valeur de ces 2 angles dièdres ne peut se déduire l'une de l'autre, elles sont indépendantes et doivent se ~~trouver~~ trouver par la mesure directe.



De la forme fondamentale : Pour chaque série de formes rhombes, on choisit comme forme fondamentale, une des pyramides données. On l'appelle P, ~~on choisit~~ on se décide sur le choix de l'axe vertical, puis on la ~~[illegible]~~ détermine par la valeur de 2 des angles dièdres, ou mieux par le rapport de ses dimensions linéaires, que l'on déduit de la valeur de ces angles. Le rapport de ces dimensions linéaires, est le rapport du demi-petit-axe horizontal = a, au demi-grand-axe horizontal = b, au demi-axe vertical = c ; on prend ordinairement comme unité b = 1.

~~Ex~~ : La forme primitive ainsi définie, du soufre rhombique, donne pour paramètre irrationnel a : b : c = 0,813 : 1 : 1,9037

De la forme fondamentale P, on fait dériver par multiplication de l'axe vertical par un nombre rationnel m, toutes les pyramides qui ont même base que P. Toutes ces Protopyramides s'appellent mP. Les formes limites sont les Protoprismes ∞P, et - - - - - - - les Pinakoïdes 0P. Nous pouvons donc considérer et appeler fondamentale, la série suivante :

0P ... mP .... P .... mP ..... ∞P.

Dérivations & rotation :

variation de l'axe macrodiagonal (b) :

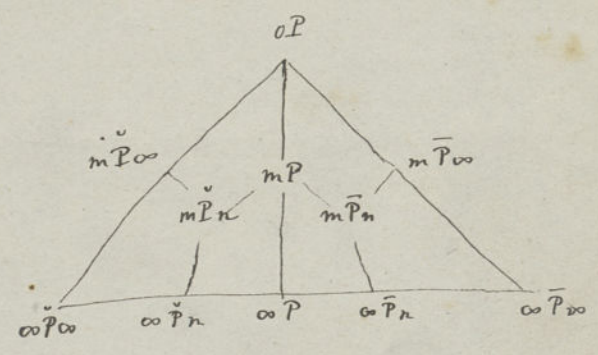
De chaque forme mP on fait des formes diverses en prolongeant l'axe macrodiagonal de valeurs n (plus grande que 1). On obtient ainsi la série :

mP ... $m\bar{P}n$ ..... $m\bar{P}\infty$ (macrodome).

De chaque forme mP on fait de même, des formes différentes en prolongeant l'axe brachydiagonal de valeurs n (plus grande que 1). On obtient ainsi la nouvelle série

mP ... $m\check{P}n$ .... $m\check{P}\infty$ (brachydome).

De même que la Protopyramide mP, le protoprisme ∞P peut donner naissance à une série de modifications macro- et brachy-diagonales ; dont les formes limites sont les macropinakoïdes $\infty\bar{P}\infty$ et les brachypinakoïdes $\infty\check{P}\infty$.



Les macroprismes $\infty\bar{P}n$ modifient les angles aigus du Prisme ∞P
Les brachyprismes $\infty\check{P}n$ " " obtus du Prisme ∞P

4

Hémiédries & Hémimorphie

Sphénoèdre $\pm \frac{mP}{2}$

Faces : 4 triangles inéquilatéraux

arêtes { 2 horizontales polaires
2 courtes marginales, en zig-zag
2 longues " "

angles : 4

L'hémiédrie des autres faces suit système ou les chang. pas.

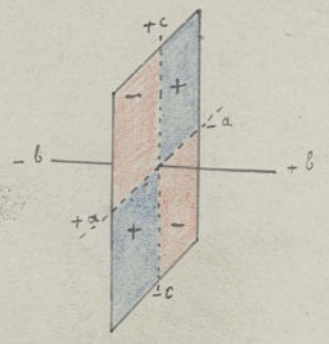
Hémimorphie : Topaze.

Système monoclinique

		axe c	axe a	β	Triomes
Realgar	AsS	0,67	0,69	66°.5	74°.26
azurite	$H^2Cu^3C^2O^8$	1.04	1.18	87°.39	99°.32
malachite	$H^2Cu^2CO^5$	0,51	1.29	88°.32	104°.28
Gypse	H^4CaSO^6	0.9	2.41	66°.14	138°.28
Sulfate de magnésie		1.11	0.90	72°.15	86°.31
Vitriol		1.34	0.85	75°.40	82°.21
orthose	$K^2Al^2Si^6O^{16}$	0.84	1.52	63°.53	118°.48
Pyroxène	$(Ca, Mg, Fe)SiO^3$	0,54	0.91	73°.59	87°.5
amphibole	$(Mg, Ca, Fe)^8Si^9O^{26}$	0,55	1.88	75°.2	124°
Epidote	$H^2Ca^4(Al, Fe)^6Si^6O^{26}$	0,48	0.31	89°.27	69°.56'

Système monoclinique

Syst. Klinorhombique (Kenngott), S. augitique (Haidinger)
Monoclique



Plan Klinodiagonal de Symétrie

Caractères fondamentaux – axes – Symétrie
axe vertical c.
— Klinodiagonal a.
— orthodiagonal b.
Pas plan de Symétrie.
L'angle de a c est constant pour chaque série de formes cristallines.

Différentes formes monoclines.

A. Formes fermées

—

B. Formes ouvertes

1. Pyramide { Hémipyramide positive = angle aigu.
— id — négative = angle obtu.

2. Prismes verticaux.
3. — — horizontaux, orthodomes { Prismes positifs.
" négatifs.
4 — — obliques, Klinodomes.

5. 6. 7. Pinakoïdes { basique
orthodiagonal
Klinodiagonal

Description des formes monocliniques :

Pyramides monoclines : (fermées)

8 faces, en 2 groupes de triangles scalènes respectivement égaux.

12 { 4 arêtes basiques égales.
4 —— orthodiagonales égales.
4 —— Klinodiagonales égales 2 à 2.

6 angles solides { 2 verticaux
2 orthodiagonaux, égaux
2 Klinodiagonaux, inégaux

Ces Hémipyramides sont indépendantes, on les rencontre souvent isolées dans la nature, et formant ainsi des formes ouvertes, prismatiques.

Prisme vertical :

4 faces égales parallèles à l'axe vertical, et dont la coupe est un rhombe.

Klinodome : 4 faces égales, parallèles à l'axe Klinodiagonal et dont la section est un rhombe.

Orthodome : 4 faces parallèles à l'axe orthodiagonal, et dont la coupe n'est qu'un rhomboïde. Il faut distinguer 2 faces positives, et 2 négatives.

Clinakrèdes : il y en a 3 différents.

L'hémipyramide + est opposée à l'angle aigu } que font entre eux
" − " obtus } les plans basique et orthodiagonal.

De la forme fondamentale : Pour chaque série de formes monoclines, on choisit pour forme fondamentale, une des pyramides données et complète. On l'appelle ± P, en désignant par les notations différentes l'hémipyramide + et la −. On détermine cette forme par le rapport des 3 demi-axes (b étant considéré comme unité), valeur qui s'en déduit de la mesure de 2 angles dièdres, qu'il faut chercher directement. Il faut encore chercher directement la valeur de β angle que fait l'axe Klinodiagonal avec le vertical.

Quand on connaît pour une substance les rapports de grandeur de a : b : c ainsi que l'angle β, on n'a pas de difficulté à dessiner sa forme. ainsi on détermine certain monoclinique par a : b : c = 1,3 : 1 : 1,04 et β = 75°.

De la forme fondamentale ± P, on fait dériver par multiplication de l'axe vertical par un nombre rationnel m toutes les pyramides qui ont même base que P. Toutes ces pyramides s'appellent ± mP.

Les formes limites sont les Prismes ∞P
et . . . . . Pinakoïdes 0P

Nous pouvons donc considérer comme et appeler fondamentale, la série suivante :

0P . . . ± mP . . . ± P . . . . ± mP . . . . ∞P

Il faut toutefois se rappeler que chaque pyramide se divise en 2 Hémipyramides, chaque orthodome en 2 Hémidomes ; tandis que les prismes et les Klinodomes sont toujours complets et n'existent qu'avec leurs 4 faces.

De chaque forme ± mP on fait des formes diverses en prolongeant l'axe orthodiagonal (le Klinodiagonal étant invariable) de valeurs n plus grandes que 1. On obtient ainsi la série :

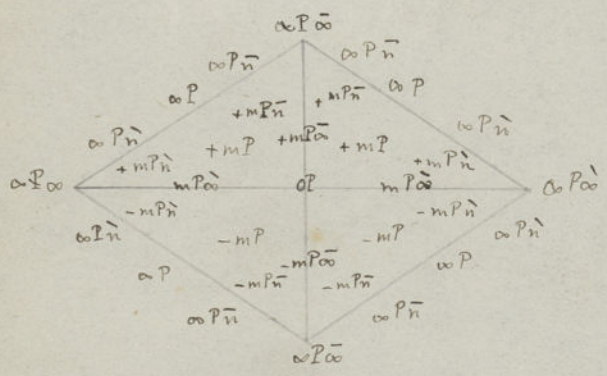
± mP . . . . . ± mPn . . . . . ± mP∞ (orthodome)

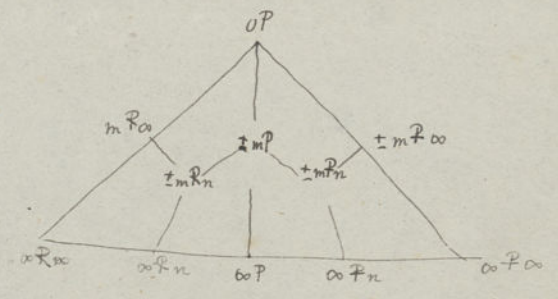
De chaque forme ± mP on obtient une seconde série de formes en prolongeant l'axe Klinodiagonal seul, des mêmes longueurs n. On obtient ainsi la nouvelle série :

± mP . . . . ± mPn . . . . . mP∞ (Klinodome).

Comme les Protopyramides, les Protoprismes donnent aussi naissance à des séries de formes nouvelles par les variations de longueurs de leurs axes : leurs formes limites sont les Pinakoïdes.

∞P . . . . . ∞Pn . . . . ∞P∞





Système triclinique

M. C. Barrois

	axe c	axe a	Angles des plans principaux
Albite			
Oligoclase	0,64	1,10	116°15' – 88°42' – 86°49'
Labrador			
Anorthite			
Axinite	0,64	0,35	68°58' – 68°8' – 119°7'
Sulfate de cuivre	3.	?	83°20' – 107°14' – 77°43'

Alb - 68 % $NaO\ Al^2O^3\ (SiO^2)^6$

olig - 60 % $(NaO\ CaO\ KO)^2 (Al^2O^3)^2 (SiO^2)^7$

Labrador 3/4 Ca, 1/4 Na

	Soude	alumine	chaux	silice
Albite =	11.81	16.62		68.57
anorthite =		36.92	20.07	43.01
Oligoclase	10.03	22.22	3.02	64.73
andesine	7.71	25.62	6.96	59.70
Labrador	4.55	30.25	12.33	52.86

Passage de Naumann à Miller

Trouver les Indices, connaissant les coefficients :

Soit $a : b : c$ le paramètre d'une face de Pyramide

$ma : nb : pc$ expression plus générale de la même

$3a : 2b : 1c$ si remplacant par coefficients numériques.

$3 : 2 : 1 = (321)$ puisque $a\ b\ c$ sont inutiles.

$\frac{1}{3} : \frac{1}{2} : \frac{1}{1}$ Prendre l'inverse de la valeur précédente pour Miller

$\frac{2}{6} : \frac{3}{6} : \frac{6}{6}$ Réduire au même dénominateur

$2 : 3 : 6$ en multipliant par 6, on a les Indices de Miller.

Trouver les Coefficients, connaissant les indices :

$2 : 3 : 6 = (236)$

$\frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{6}$

$\frac{3}{6} : \frac{2}{6} : \frac{1}{6}$

$3 : 2 : 1$ coefficients de Naumann

Établissement de la formule générale, pour trouver les Indices, connaissant coefficient

Soit hKl le symbole général de Miller.

Partons des données connues des coefficients $ma : nb : pc$

$ma : nb : pc = hKl$

$\frac{1}{m} : \frac{1}{n} : \frac{1}{p}$

$\frac{np}{mnp} : \frac{mp}{mnp} : \frac{mn}{mnp}$

$np : mp : mn = hKl$ (1)

Formule générale pour trouver les Coefficients, connaissant les Indices.

$np : mp : mn = hKl$

$\frac{1}{np} : \frac{1}{mp} : \frac{1}{mn} = \frac{1}{h} : \frac{1}{K} : \frac{1}{l}$

$\frac{m}{npm} : \frac{n}{npm} : \frac{p}{npm} = \frac{Kl}{hKl} : \frac{hl}{hKl} : \frac{hK}{hKl}$

$m : n : p = Kl : hl : hK$ (2)

Exemples numériques du précédent (Application des Formules) :

$m = 3,\ n = 2,\ p = 1$ valeur des coefficients

$2 : 3 : 6$ en appliquant (1)

(236) Indices

$h = 2,\ K = 3,\ l = 6$

$h = 2,\ K = 3,\ l = 6$ valeur des Indices

$18 : 12 : 6$ en appliquant (2)

$= 3 : 2 : 1$ Coefficients

$m = 3,\ n = 2,\ p = 1$

Autre exemple, soit le paramètre d'un prisme

$1 : 1 : \infty$ coefficients

$\frac{1}{1} : \frac{1}{1} : 0$

110 Indices

---

soit le paramètre d'une face de Pyramide

$1 : 1 : 1$ coefficients de cette face

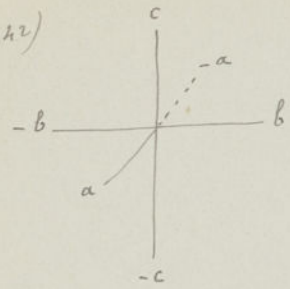
$\frac{1}{1} : \frac{1}{1} : \frac{1}{1}$

111 Indices de cette face

On appelle Faces primaires celles dont les indices ne renferment que 1 et 0.

Notation de Miller

(Renvoi p. 42)



(Faces notées)

{Ensemble des faces}

Miller supprime le rapport a : b : c devenu inutile, puisque le rapport des axes est déterminé, et qu'on est convenu de l'écrire a b c.

Ainsi, au lieu d'écrire 3a : 2b : c

on écrira 3 : 2 : 1 ou simplement 3 2 1

Au lieu des valeurs directes, précédentes, des coefficients, on prend leurs valeurs inverses, on obtient ainsi des fractions qu'on réduit au même dénominateur (6):

$$\frac{1}{3} : \frac{1}{2} : \frac{1}{1}$$

$$\frac{2}{6} : \frac{3}{6} : \frac{6}{6}$$

En multipliant par 6 on trouve les indices de la face

2 3 6

Autres exemples 1 : 1 : ∞

1 : 1 : 1

On procède inversement, pour trouver les paramètres d'une face donnée quand ses indices et le rapport des axes sont connus.

2 3 6

Envisageant sous la forme ~~générale~~ (h k l) au Miller le symbole général,

soit ma : nb : pc la notation de la même face d'après Weiss.

$$m : n : p$$

$$\frac{1}{m} : \frac{1}{n} : \frac{1}{p} \ldots\ldots = h : k : l$$

$$\frac{np}{mnp} : \frac{mp}{nmp} : \frac{mn}{mnp} \ldots = h : k : l$$

$$np : mp : mn \ldots\ldots = h : k : l$$

d'où $m : n : p \ldots = kl : hl : hk$

Ces 2 dernières formules donnent la transition directe des coefficients de Weiss aux indices de Miller et réciproquement.

Le Plan de symétrie est un plan qui divise le cristal en 2 parties qui sont l'une à l'autre, ce que l'objet est à son image réfléchie par un miroir plan.

L'axe de symétrie est une ligne telle, que si l'on imprime au polyèdre, autour de cette ligne, une rotation d'amplitude déterminée, tous les sommets de ce polyèdre se trouvent simplement substitués les uns aux autres, continuant à occuper les mêmes lieux de l'espace.

axe d'ordre binaire — Rotation 180°
— ternaire — " 120°
— sénaire " 60°
— quaternaire " 90°

		Plans	axes Binaires	Ternaires	Quaternaires	Sénaires
Système Régulier	Hélicoïdrique	3 + 6	6	4	3	
Système Quadratique	Hélicoïdrique	1 + 4	4		1	
Système Hexagonal	Hélicoïdrique	1 + 6	6			1
Système rhombique		1 + 1 + 1	1 + 1 + 1			
Système monoclinique		1	1			
Système triclinique						

Système Triclinique

anorthique d'Hadinger, Klinorhombique Naumann, asymétrique Groth.

La forme fondamentale est le Klinoïdre, double pyramide à base de parallélogramme.

Caractères fondamentaux – axes – Symétrie.
axe vertical c
macrodiagonal b
brachydiagonal a
Pas de plan de Symétrie.

Différentes formes triclinigues :

formes ouvertes, au nombre de 13.

1. Pyramides { Divisés en Tétartopyramides, pour l'obliquité des axes. – chacune de ces 4 formes n'est représentée que par 2 faces parallèles. – 4 –

2. Prismes { 2 Prisme vertical, 2 Macrodome, 2 Brachydome } chacune de ces formes n'est représentée que par 2 faces parallèles

3. Pinakoïdes { 1, 2, 3 } parallèles aux 3 plans principaux de coupes.

Description des formes triclinigues.

Pyramides triclinigues :

8 faces. Triangles, de 4 espèces, égaux dans les octants opposés, et dont les arêtes de base sont dans un même plan. Il y a donc 4 tétartopyramides ; comme elles sont indépendantes, on considère ces tétartopyramides comme fermées par les plans des 3 coupes principales.

Elles sont indépendantes ne se montrant que 2 par 2 dans la nature.

Prisme vertical
~~Macro~~dome
Brachydome } corps rhomboïde, ne sont représentés que par des Hémiprismes, ou des Hémidomes.

Pinakoïdes.

De la forme fondamentale : Pour se reconnaître au milieu du dédale de toutes ces faces parallèles indépendantes ; on les considère toujours réunies en une pyramide complète. Pour chaque série de formes triclinoïques, on choisit pour forme fondamentale une pyramide triclinique complète. Pour qu'elle soit déterminée, il faut connaître le rapport des 3 demi-axes (b étant l'unité), ainsi que la valeur des 3 angles que font entre eux les 3 axes principaux (α, β, γ) ; c'est à dire 6 valeurs différentes, qu'on ne peut déduire les unes des autres, et qu'on déduit de la mesure directe de 5 angles dièdres différents. Il est donc très difficile pour cette raison de reconnaître le système d'axes ; d'autant plus que toutes les faces peuvent se déterminer dans les positions les plus différentes du cristal.

Position de la pyramide fondamentale : on peut y distinguer quand elle est placée verticalement, le haut, le bas, la droite, la gauche.

P' $'P$ $P_{,}$ $_{,}P$

La notation de la forme fondamentale est donc $'P'_{,}$

Dérivation : De la forme fondamentale $'_{,}mP'_{,}$ on fait dériver par multiplication de l'axe vertical par un nombre rational, toutes les pyramides qui ont même base que $'_{,}P'_{,}$

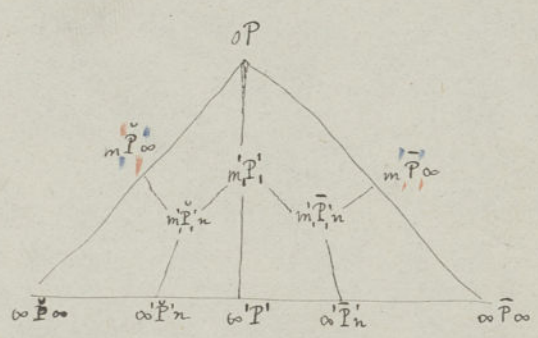
$$oP \ldots\ldots mP', m'P, mP_{,}, {}_{,}mP \ldots\ldots \infty P', {}'\infty P$$

De chaque forme $'mP'_{,}$ on fait des formes diverses en prolongeant l'axe macrodiagonal (le Brachydiagonal étant invariable) ; on obtient ainsi des macropyramides $m'_{,}\bar{P}'_{,}n$ et la série qui en dépend $m\bar{P}\infty$

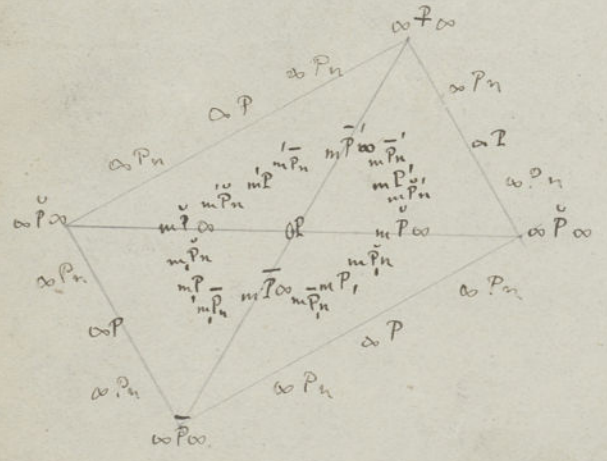
De chaque forme $m'_{,}P'_{,}$ on fait des formes diverses en prolongeant l'axe brachydiagonal seul, on obtient alors les brachypyramides $m'_{,}\breve{P}'_{,}n$ et la série qui en dépend $m\breve{P}\infty$.

Comme les brachypyramides, les protoprismes $\infty'P'$ donnent aussi naissance à une série de formes nouvelles par les variations de longueur des axes,

$\infty'P' \ldots\ldots \infty\bar{P}n \ldots\ldots \infty\bar{P}\infty$.



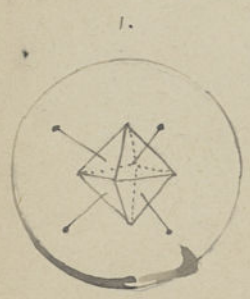
Il faut toujours se rappeler que chaque pyramide est formée de 4 tétartopyramides, et chaque prisme ou dome de 2 hémiprismes ou hémidomes.

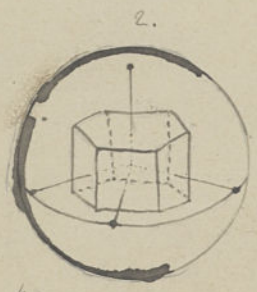


(Cristallographie minéralogie)

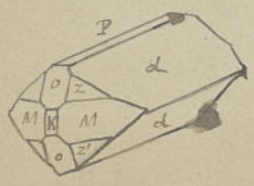
Représentation graphique des formes cristallines.

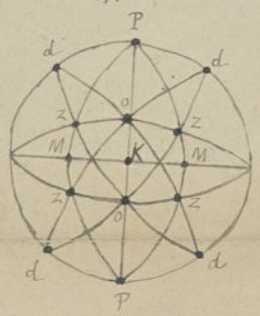
La représentation graphique des formes cristallines se fait par voie de perspective. On n'emploie pas la perspective ordinaire, suivant laquelle les arêtes parallèles d'un cube, verraient les côtés d'une pyramide ayant son sommet à l'œil; mais on emploie la perspective parallèle ou isométrique, où on suppose le cristal placé devant un plan, et où on abaisse de chaque angle du cristal des normales sur ce plan. Si on réunit ensuite sur ce plan, ces points par des lignes; ces lignes correspondent aux arêtes du cristal, qui sont ainsi représentées comme si on le voyait à une distance infinie.





Projection linéaire sur un plan: on place une des faces du cristal sur un plan, on déplace ensuite sur ce plan de projection toutes les autres faces du cristal parallèlement, jusqu'à ce qu'elles passent toutes par un même point situé en dehors de ce plan. Chaque paire de faces, se réunira ainsi en une seule face; et alors coupera le plan de projection suivant une ligne que l'on trace. Les faces parallèles au papier ne sont donc pas représentées.
Ex. Un cube est représenté par 2 lignes à angle droit.



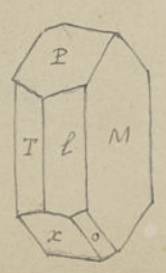


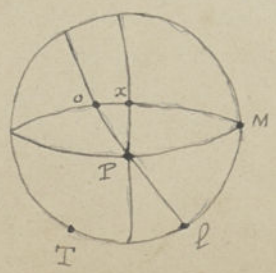
Projection sphérique: les faces sont représentées par des points. On place le cristal au centre d'une sphère, de sorte que le centre de la sphère soit dans le cristal. On abaisse alors des normales du centre de la sphère sur les faces du cristal, et on les prolonge jusqu'à la rencontre de la sphère: ces points indiquent la position des faces.

Dans la figure on n'a donc plus la représentation du cristal, mais seulement une série de points. L'avantage de ce mode de projection, c'est que toutes les faces en zone sont représentées par des points situés sur un grand cercle. Les normales en effet abaissées du centre de la sphère sur les faces d'une zone, se trouvent toutes dans un même plan passant par le centre. Ce plan coupera la sphère suivant un grand cercle. Pour réunir les points sur un dessin, on ~~peut~~ donc employer le compas.

Lois des zones: Chaque face cristalline n'appartient pas à une zone unique, mais peut appartenir à plusieurs, c. à. d. se trouver à l'intersection de plusieurs zones. Au croisement de deux zones, il ne peut y avoir qu'une seule face (= une seule paire de faces); donc la position d'une face est déterminée quand, quand on sait qu'elle se trouve à l'intersection de 2 zones connues.

Une zone est connue, quand on connaît 2 faces (non parallèles) de cette zone. Si donc on connaît 2 faces d'une zone, et 2 faces d'une autre zone, on connaît par cela même la position de la face qui est à leur intersection. Si par ex. on connaît la position des prismatoïdes, et des faces prismatiques, on connaît par là la position des faces de la pyramide.
Au moyen de la projection sphérique, on se rend donc facilement compte des relations de zones de faces quelconques.





Exemple de projection triclinique: soit le cristal d'albite figuré, la zone verticale aura ses points sur un cercle si on regarde le cristal d'au dessus (suivant l'axe vertical). Les autres faces auront leurs traces comme suit:

Lenz der rocket

1

Quarz : forme cristalline : S. Hexagonal – rhomboédrique d'après la loi de la tétartoédrie trapézoïdre.

Les cristaux de Quarz des roches sont généralement très simples, et ne présentent pas les variations habituelles. La forme habituelle est le Prisme ∞P avec les 2 Rhomboèdres R et –R; assez souvent le Prisme manque et on trouve le Dihexaèdre.

Les macles sont fréquentes.

Les Quarz des roches ne sont pas clairs comme les cristaux de roche, mais mats et troubles.

Comp. chimique : acide silicique SiO_2.

Berzélius considère le premier la Silice (ou Quarz) comme un acide (acide silicique). C'est un acide extrêmement faible, mais d'une grande fixité, et qui à raison de cette circonstance, déplace tous les acides à une température élevée. En s'unissant aux oxydes métalliques, il donne naissance aux silicates, qui forment la plus grande partie des minéraux.

La silice existe dans les silicates sous 2 états différents : à l'état de silice soluble, et à l'état de silice insoluble. Les uns sont décomposés par les acides forts, et quand la silice s'en sépare par voie humide, elle se présente sous forme gélatineuse; desséchée ensuite avec soin, elle est légèrement soluble dans l'eau et les acides.

L'opale est inodore, isotrope; on considère comme un produit de sa décomposition l'Hydrophane, très commune en petites parties microscopiques, en grains, en flocons perdus de trous.

La silice des animaux (Éponges, Radiolaires) est une combinaison d'opale gélatineuse avec la matière organique : elle ne polarise pas.

Gisement : Commune de tous les âges, et de tous les modes de formation.

L'opale contient 3 à 12% d'eau.

Caractères microscopiques : transparent, beau poli.

1. Opale gélatineuse : amorphe, ressemble à de la gelée. Pas d'action sur lumière polarisée, traînées irrégulières qui ressemblent à de la mise; les reflets des opales nobles sont dus au phénomène des lamelles minces.

Elle est souvent très fendillée, c'est une sorte de fluidalité.

Cette apparence fendillée se régularisant et s'étendant commence à produire les globules d'Hyalite. (c)

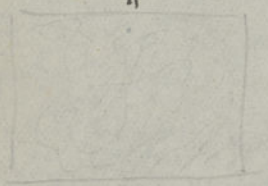
2. Opale Hyaline

Sans action sur la lumière polarisée

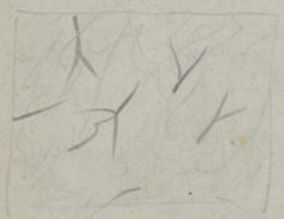
Les parties arrondies forment le passage à la Tridymite.

On trouve souvent l'opale Hyaline dans l'opale gélatineuse.

A

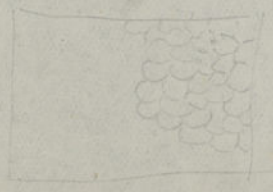


B

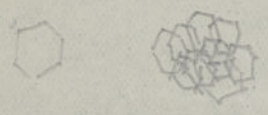


C

parties limitant les globules.



3. Opale sphérolitique : sans action sur la lumière polarisée.
Les angons des figures sont formés de globules alignés.



4. Tridymite : ne polarise pas, mais à cause de sa minceur, car elle est vitellement cristallisée.
Les lamelles hexagonales sont agglomérées en forme de mosaïque.
Densité très faible 2,2 au lieu de 2.6.
Elle se présente parfois en gros cristaux dans les Drusés des Trachytes. Peu d'inclusions, seulement des pores à gaz et quelques microlites isolés.
Localité : Surtout dans les Trachytes, aussi dans les Domites d'Auvergne et des bords du Rhin et dans toutes les roches volcaniques, alcalines modernes ; manque dans les roches anciennes.

5. Opale agissant sur la lumière polarisée :
Cette action est due à la densité différente des diverses couches des globules ; elle n'est pas la même que celle qui se montre chez les cristaux : ces globules sont simplement traversés par une croix noire, qui reste immobile quand on fait tourner la préparation, elle a une teinte pâle. Elle se trouve parfois dans les roches anciennes.
Si les globules s'étirent dans 4 directions on passe au Quartz hyalitique.

6. Chalcédoine : Quartz en cristaux groupés.
Ils agissent sur la lumière polarisée.
La Chalcédoine est à la limite entre le Quartz hydraté (1 à 5) et le quartz anhydre (7 à 9). Dans le Quartz hydraté on ne trouve guère en inclusions que la limonite ; dans le Quartz anhydre, cristallisé, on trouve des oxydes de fer à divers états.

7. Quartz granulitique : Quartz en grains cristallins mais à formes irrégulières et entassés les uns sur les autres.
Il s'étend dans 4 directions rectangulaires

8. Quartz cristallin :

a^1 domine, ∞P est très réduit.

Il y a des passages entre cette forme et le Quartz granulitique, mais ici les cristaux sont complets et isolés.

Ces cristaux sont hexagonaux en coupes, et souvent usés et arrondis. Le quartz est en grains irréguliers dans les granites ; il est en cristaux dans les Felsitporphyres et les Trachytes.

9. Micropegmatite : felsitporphyres.

Variétés du Quartz : Vert, par Inclusions de Hornblende.
Saphir : grains et fibres de Krokydolithe.
Aventurine : oxyde de fer, secondaire, infiltré.
Hornstein : agrégat cristallin de grains de Quartz différemment orientés.
Jaspe : on y trouve souvent des algues.
Chalcédoine : Elle a une structure fibreuse ; on la rencontre souvent avec le Cachelong qui a une structure compacte, ou sphérolitique.
Chrysoprase : agrégat de sphérolites arrondis, pressés les uns contre les autres.
Héliotrope : Chalcédoine impure (oxyde de fer)
Silex : avec fossiles.
Agate : coloration due à de fines poussières ferrugineuses.

Inclusions du Quartz cristallin :

Roches modernes : Inclusions liquides rares ; inclusions vitreuses représentant tous les éléments cristallins de la roche ambiante ; Inclusions gazeuses. En règle générale, les inclusions sont peu abondantes dans le quartz des roches modernes.

Roches anciennes : Prédominance des inclusions liquides disposées en traînées. Tous les cas d'inclusions liquides se rencontrent ; il y a des microlites en longs prismes allongés incolores, peut-être de feldspath triclinique. Il y a beaucoup d'inclusions de Na Cl, et quelle que soit la nature de la roche, ainsi que d'eau, et d'acide ~~carbonique~~ carbonique liquide. — Incl. vitreuses, cristallines.

Le quartz n'est pas dichroïque sauf le cas de l'améthyste ou du quartz enfumé, remarquable par sa polarisation vive.

4 / Lithologie de Zirkel p. 18

Gisement : Le Quarz est très répandu dans les roches, il forme à lui seul le Quarzfels ; il est élément essentiel et caractéristique des granites, Porphyres quarzifères, Trachytes quarzifères, gneiss, Granulite. Dans ces roches il est avec des feldspaths acides, Orthoclase (Sanidine), Oligoclase ; ce n'est que très rarement que le Quarz se rencontre avec le basique Labrador, on ne le connait pas avec le plus basique encore anorthite. On ne rencontre jamais la Néphéline et la Leucite dans les roches où il y a du Quarz. L'Hornblende accompagne très souvent le Quarz, l'augite semble au contraire exclure le quartz. Les laves cristallines récentes ne contiennent pas de Quarz.

A l'œil, dans les roches on distingue le Quarz des Feldspaths, par la forme plus arrondie de ses grains, par sa cassure écailleuse, son éclat gras-vitreux, et sa couleur grise.

5

Zirkel.

Quarz dans les roches granitiques & porphyriques.

Dans le Quarz des Granites, Syénites, il n'y a que des inclusions liquides (pas de vitreuses); preuve que le magma éruptif du granite n'a pas été à l'état de lave: l'eau jouait un rôle important pendant sa solidification.

Dans le Quarz des Felsitporphyres, on rencontre moins d'inclusions liquides que dans les granités; il y a en plus des inclusions vitreuses. La roche a donc été fondue, et dans cette lave se trouvait de l'eau.

Dans le quarz des Trachytes, peu d'inclusions liquides, très nombreuses inclusions vitreuses.

On pourrait reconnaître par le seul examen du quartz, si on a à faire à un granite, un felsitporphyre, ou un trachyte.

Origine de ces roches d'après l'état du Quarz.

Granite: on n'a pas de preuve que sa pâte ait été à l'état vitreux, larvique. Le contact du granite avec les roches encaissantes, montre qu'il n'a pas fait éruption à la température des laves actuelles, ou contraire les actions métamorphiques observées à son contact ne peuvent avoir été produites que par des eaux chaudes venues du magma éruptif.

Les imprégnations de minéraux récents dans les roches encaissantes, au voisinage du granite, sont dues à l'eau chaude que le magma du granite a émis en se refroidissant.

Felsitporphyre: Il a été fondu comme une lave, puisqu'il est en relations intimes avec les Pechsteins, qui ont été évidemment fondus. Au contact des Felsitporphyres, les roches encaissantes ne sont qu'imprégnées de silice; le contact de ces roches encaissantes prouve que le Felsitporphyre a été émis à une haute température.

On peut considérer les granites, les Felsitporphyres, les Trachytes, les laves actuelles, comme types des produits volcaniques des différentes époques. ~~On peut~~ Il y a une relation entre ces différentes séries, et l'état de leur pâte, considéré d'après les rapports de l'eau et de la masse en fusion: — l'Eau joue un plus grand rôle chez les granites que chez les Felsitporphyres, plus grand chez les Felsitporphyres que chez les Trachytes & Basaltes où la pâte en fusion domine déjà; chez les laves actuelles l'eau n'existe plus que pour mémoire.