LES MINÉRAUX ET LES ROCHES

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

H. BUTTGENBACH

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE LIÉGE
MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE
DE L'INSTITUT ROYAL COLONIAL BELGE
ET DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES COLONIALES DE PARIS

LES MINÉRAUX ET LES ROCHES

ÉTUDES PRATIQUES DE CRISTALLOGRAPHIE PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE

6e ÉDITION

PARIS
DUNOD, ÉDITEUR
92, RUE BONAPARTE, 92
VIe

LIÉGE
VAILLANT-CARMANNE
IMPRIMEUR
4, PLACE ST-MICHEL, 4

1935

8613

Imprimé en Belgique

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Cet ouvrage est dédié

à M. G. CESÀRO,

en témoignage d'admiration pour ses travaux et de reconnaissance pour les conseils qu'il n'a cessé de me donner

H. B.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

PRÉFACE DE L'AUTEUR

C'est pendant la guerre, alors que, comme beaucoup de mes compatriotes, j'étais condamné, par suite de l'occupation de la Belgique, à une inaction forcée et d'autant plus pénible que mon activité était généralement dirigée vers l'étranger, que je me suis décidé à réaliser un projet conçu depuis longtemps et à publier un traité de minéralogie.

J'avais composé ce traité suivant une méthode que des études cristallographiques poursuivies par goût depuis vingt ans, cependant que je m'occupais principalement d'études minières et coloniales relevant plutôt de l'art de l'ingénieur, m'avaient indiquée comme devant être la plus apte à servir de guide, non seulement aux étudiants de nos écoles supérieures, mais aussi aux chimistes qui, trop souvent, négligent, préalablement à leur analyse, l'étude minérale des échantillons qui leur sont soumis ; je voulais aussi donner aux naturalistes et aux prospecteurs, surtout à ceux que leurs travaux conduisent dans les colonies, un ouvrage qui fût plus qu'un traité élémentaire, un ouvrage de haute vulgarisation dans lequel ils pourraient trouver, sans être rebutés par des développements trop arides, de quoi satisfaire leur curiosité scientifique, comme aussi les moyens de résoudre par des méthodes raisonnées les problèmes que soulève la détermination des minéraux et des roches.

Le succès fait aux deux premières éditions de l'ouvrage m'avait prouvé que la méthode est bonne et, lorsque, en 1921, j'ai été chargé de professer à l'Université de Liége, ayant rapidement constaté qu'elle pouvait également servir dans l'enseignement, je ne l'ai pas modifiée dans les éditions suivantes ; je devais cependant justifier par quelques notions mathématiques les bases de la cristallographie géométrique et de la cristallographie optique mais j'ai rassemblé ces notions en un complément distinct du reste de l'ouvrage.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Cette 6e édition reste donc établie sur le même plan que les précédentes, plan que l'on trouvera résumé dans la table des matières placée au commencement du volume ; elle ne diffère des précédentes que par quelques remaniements des chapitres relatifs à la structure des cristaux et à la pétrographie des roches ignées, remaniements nécessités par les progrès réalisés au cours des dernières années. J'ai également mis au point le chapitre relatif à la détermination des minéraux et j'ai aussi légèrement modifié les tables de détermination qui se trouvent à la fin du volume ; je dois remercier à ce sujet M. J. Mélon, mon chef de travaux à l'Université, qui, suivant de près, au laboratoire, le travail des étudiants de mes cours, m'a donné des indications très utiles ; il a bien voulu également vérifier les caractères chimiques qui sont indiqués dans la minéralogie descriptive pour chaque espèce minérale.

Enfin, j'ai un peu étendu le nombre des espèces décrites, non seulement parce que depuis vingt ans le monde minéralogique s'est beaucoup enrichi, mais aussi parce que j'ai pu constater que nombre d'espèces, d'abord considérées comme des raretés, se retrouvent plus abondamment dès que l'on en prévoit une utilisation quelconque.

Cette édition sera sans doute la dernière que je publierai. Je la livre avec une nouvelle confiance au public que les sciences minérales intéressent, en espérant qu'il pourra y trouver un guide utile dans l'étude des cristaux, des minéraux et des roches.

H. B.

Mai 1935.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE DES MATIÈRES

Pages

INTRODUCTION 1

Première partie. — Propriétés des minéraux

CHAP. I. — COMPOSITION CHIMIQUE DES MINÉRAUX 5

CHAP. II. — STRUCTURE CRISTALLINE 18

CHAP. III. — CRISTALLOGRAPHIE GÉOMÉTRIQUE 31
§ 1. — Les systèmes cristallins 31
§ 2. — Forme extérieure des cristaux 39
§ 3. — Loi de rationalité 42
§ 4. — Notations des formes (système de Lévy) 44
§ 5. — Loi de symétrie 47
§ 6. — Formes primitives et formes dérivées 49
§ 7. — Zones 53
§ 8. — Mériédrie 53
§ 9. — Description des systèmes cristallins 57
A. — Système clinoédrique 58
B. — Système clinorhombique 58
C. — Système orthorhombique 61
D. — Système quadratique 64
E. — Système hexagonal 67
F. — Système rhomboédrique 69
G. — Système cubique 78
§ 10. — Groupements des cristaux 83
Macles 87
Groupements de complément 90
Groupements approximatifs 91
§ 11. — Mesure des angles 92
§ 12. — Symétrie et facies des cristaux naturels 96
Figures de corrosion 104

CHAP. IV. — CRISTALLOGRAPHIE OPTIQUE 105
§ 1. — Nature de la lumière. — Lumière polarisée. — Action des cristaux sur la lumière 105
§ 2. — Propriétés de l'ellipsoïde 109
§ 3. — Indices de réfraction. Double réfraction 112
§ 4. — Axes optiques. Cristaux biaxes et uniaxes. Cristaux positifs et négatifs. Orientation optique 121
§ 5. — Nicols 124
§ 6. — Polychroïsme (Pléochroïsme) 125
§ 7. — Lumière parallèle 126
A. — Lumière monochromatique 126
B. — Lumière blanche. Echelle des teintes de Newton ... 130
C. — Signe des directions d'extinction 132
D. — Biréfringence 138
§ 8. — Lumière convergente 141
A. — Principe de la méthode 141
B. — Cristaux uniaxes 143
C. — Cristaux biaxes 147

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

§ 9. — Détermination du signe optique 151
§ 10. — Mesure de l'angle des axes optiques 155
§ 11. — Appareil de Fédorov 158
§ 12. — Dispersion 160
§ 13. — Polarisation rotatoire 161
§ 14. — Cristaux maclés 163
§ 15. — Etude des minéraux opaques 165

CHAP. V. — PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES ET ÉLECTRIQUES 168

CHAP. VI. — ÉTUDE DES CRISTAUX PAR LES RAYONS X 170

CHAP. VII. — RADIOACTIVITÉ DES MINÉRAUX 181

CHAP. VIII. — PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MINÉRAUX 187
A. — Dureté 187
B. — Clivages. Cassures 189
C. — Elasticité 190
D. — Figures de rayure, de percussion, de pression 191
E. — Déformations optiques 193

CHAP. IX. — ISOMORPHISME. POLYMORPHISME 195

CHAP. X. — DÉTERMINATION DES MINÉRAUX 202
Composition chimique 202
Forme cristalline 202
Structure 204
Dureté 205
Densité 206
Couleur 212
Propriétés optiques 214
Odeur et toucher 216
Caractères chimiques 216
Altérations 220

Deuxième partie. — Notions de pétrographie

CHAP. I. — NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES ROCHES 223

CHAP. II. — ROCHES IGNÉES (ÉRUPTIVES) 226
§ 1. — Origine 226
§ 2. — Minéraux essentiels des roches ignées 228
§ 3. — Méthode d'étude 231
§ 4. — Texture et structure 234
§ 5. — Classification des magmas 237
§ 6. — Classification minéralogique 245
§ 7. — Description des roches ignées 249
A. — Roches plutoniques 249
B. — Roches volcaniques 253
C .— Roches filoniennes 254
D. — Tufs 255
§ 8. — Nomenclature provisoire 255

CHAP. III. — ROCHES SÉDIMENTAIRES 257
§ 1. — Origine 257
§ 2. — Facies 258
§ 3. — Description des roches sédimentaires 261
I. — Roches détritiques 261
A. — Roches meubles et conglomérats 262
B. — Roches quartzeuses 263
C. — Roches argileuses 264
II. — Roches de précipitation 265

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAP. IV. — ROCHES MÉTAMORPHIQUES ET CRISTALLOPHYLLIENNES ... 267
§ 1. — Origine ... 267
§ 2. — Description ... 271

CHAP. V. — MÉTÉORITES ... 274

Troisième partie. — Notions de métallogénie

CHAP. I. — FORMATION DES MINÉRAUX ... 277
§ 1. — Minéraux des roches éruptives ... 277
§ 2. — Minéraux des roches cristallophylliennes et sédimentaires ... 279
§ 3. — Minéraux pneumatolitiques ... 279
§ 4. — Minéraux hydrothermaux ... 281
§ 5. — Minéraux de cimentation et d'altération ... 282
§ 6. — Minéraux des roches métamorphisées ... 285
§ 7. — Minéraux des évaporations salines ... 286

CHAP. II. — SYNTHÈSE DES MINÉRAUX ... 287

CHPA. III. — GITES MINÉRAUX ... 290

Compléments

CRISTALLOGRAPHIE GÉOMÉTRIQUE ... 297
A. — Symétrie des polyèdres ... 297
B. — Symétrie des réseaux ... 304
C. — Classification des réseaux ... 308
D. — Mériédrie ... 311

CALCUL CRISTALLOGRAPHIQUE ... 315
§ 1. — Notations de Miller ... 315
§ 2. — Changement d'axes ... 319
§ 3. — Angle de deux faces ... 325
§ 4. — Des zones ... 335
§ 5. — Projections stéréographiques ... 339
§ 6. — Formule fondamentale du calcul cristallographique ... 344
§ 7. — Méthode générale de calcul ... 345
§ 8. — Exemples de calcul cristallographique ... 347
A. — Système clinoédrique ... 348
B. — Système clinorhombique ... 353
C. — Système orthorhombique ... 359
D. — Système rhomboédrique ... 363
E. — Système quadratique ... 370
F. — Système hexagonal ... 372
G. — Système cubique ... 376

CRISTALLOGRAPHIE OPTIQUE ... 380
Complément aux § 1 et 2 ... 380
Complément au § 7, A ... 385
Complément au § 7, D ... 389
Complément au § 8 ... 394
Cristaux uniaxes ... 395
Cristaux biaxes ... 396
Complément au n° 219 ... 398
Complément au § 15 ... 399

MÉTHODE GÉNÉRALE DE CALCUL DES PARAMÈTRES MAGMATIQUES ... 402

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Quatrième partie. — Minéralogie descriptive

I. — Corps simples 409
II. — Composés binaires 420
A. — Sulfures, Tellurures, Arséniures. Sulfosels 420
a) Sulfures des métalloïdes 421
b) Sulfures des métaux 425
c) Sulfosels 446
d) Oxysulfure 451
B. — Anhydrides 451
C. — Oxydes 460
D. — Hydroxydes 479
E. — Haloïdes 486
III. — Carbonates 495
IV. — Silicates 519
A. — Silicates anhydres 520
B. — Silicates hydratés 591
V. — Titanates, Niobates, Tantalates 613
VI. — Phosphates, Arséniates, Vanadates 626
VII. — Antimoniates 656
VIII. — Nitrates 657
IX. — Borates 659
X. — Uranates 663
XI. — Sulfates, Chromates, Tungstates, Molybdates 667
XII. — Sels organiques 689
XIII. — Composés hydrocarbonés 691

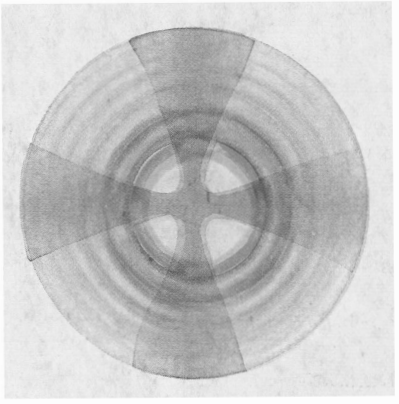
Tables diverses concernant les minéraux

I. — Corps simples et poids atomiques 699
II. — Energies réfractives spécifiques 700
III. — Densités 701
IV. — Duretés 703
V. — Minéraux opaques et isotropes 705
VI. — Indices de réfraction 707
VII. — Biréfringences 710
VIII. — Apparences optiques des lames de clivage 712
IX. — Détermination des minéraux des roches en lames minces 716
Usage et emploi des minéraux et des roches 718

INDEX ALPHABÉTIQUE DES MINÉRAUX ET DES ROCHES 722

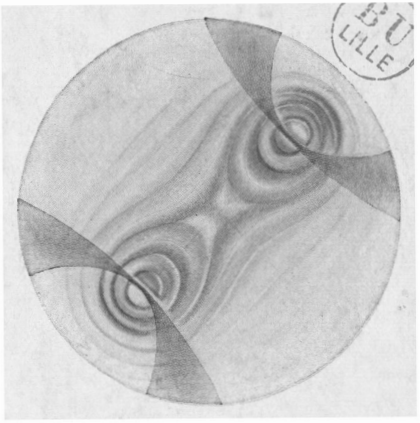
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Lumière convergente



Cristal uniaxe.

Lame normale à l'axe optique



Cristal biaxe.

Lame normale à la bissectrice aiguë.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les Minéraux et les Roches

INTRODUCTION

1. — Un *minéral* est une substance inorganique, naturelle, qui possède une composition chimique déterminée et présente des propriétés physiques spécifiques.

Le nombre des espèces minérales bien définies que l'on a trouvées jusqu'ici n'est pas très considérable : on peut l'évaluer à environ 2.000, mais il en est beaucoup qui constituent des raretés et n'ont qu'un intérêt purement minéralogique.

D'autres, au contraire, — et ce sont celles décrites dans cet ouvrage — ont une importance qui peut être scientifique ou industrielle.

2. — L'importance scientifique d'un minéral dépend de diverses causes. Par ses propriétés chimiques ou physiques, l'étude de l'espèce peut avoir contribué à augmenter nos connaissances sur la constitution ou la structure de la matière ; par son mode de gisement et par l'examen des conditions dans lesquelles on la trouve, elle peut nous éclairer sur l'histoire du globe que nous habitons ; enfin, au point de vue géologique, certaines espèces acquièrent une importance exceptionnelle, parce que, associées entre elles, elles forment l'ensemble des *roches* qui constituent la croûte terrestre.

3. — L'importance industrielle d'un minéral dépend également de ses propriétés physiques ou chimiques. Dans le premier cas, le minéral est utilisé sans transformation qui en modifie la substance : c'est celui des pierres précieuses, des pierres d'ornement, des matériaux de construction. Dans le second cas, le minéral est, en général, détruit, en vue de l'obtention d'un produit spécial : par exemple, le soufre est employé dans la fabrication de l'acide sulfurique, la galène est employée pour l'obtention du plomb.

Les minéraux qui servent à produire des métaux sont des *minerais* : la galène est un minerai de plomb.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

4. — L'importance industrielle que peut acquérir un minéral est très variable. Des minéraux, considérés pendant longtemps comme des raretés ou des curiosités de musée, ont été activement recherchés lorsqu'on leur a trouvé une utilisation spéciale et il n'est pas rare que l'on en ait découvert ensuite des gisements importants. C'est ainsi que la monazite est exploitée en grand depuis que Auer a inventé les manchons à incandescence, dont les éléments essentiels se trouvent dans ce minéral. De même, la découverte du radium, en 1898, a amené la recherche et la mise en valeur de nombreux gisements de minéraux contenant ce métal et que l'on négligeait auparavant.

5. — Chaque espèce minérale se trouve, dans l'écorce terrestre, dans des conditions spéciales, qui constituent son *mode de gisement*. Tantôt, le minéral se rencontre, plus ou moins mélangé à d'autres minéraux, dans des fissures à peu près verticales, plus ou moins épaisses, souvent très étendues, qui traversent l'écorce terrestre, et que l'on appelle *filons* ; tantôt, il forme des dépôts à peu près horizontaux, appelés *couches*, sortes de nappes d'épaisseur très variable mais le plus souvent très étendues, que l'on va rechercher et extraire en profondeur à l'aide de puits ; ou bien, ces dépôts sont tout à fait superficiels, occupant le fond des vallées : ce sont des *alluvions*, dans lesquelles le minéral recherché est irrégulièrement réparti ; enfin, la substance utile peut constituer de véritables *amas*, occupant des poches ou des lentilles ouvertes dans l'écorce terrestre.

6. — La richesse d'un gisement est évidemment très variable : on l'évalue ordinairement par la proportion, en poids, de la substance utile que l'on a pour but final d'obtenir, et de la masse que l'on extrait du gisement : on dira, par exemple qu'un amas de minerai de plomb, composé de galène, a une teneur moyenne de 17 %, ce qui signifie qu'une tonne métrique du minerai provenant de l'amas pourra fournir 170 kilogrammes de plomb métallique. Les matières stériles qui accompagnent le minerai utile constituent la *gangue*.

Pour les métaux précieux, comme l'or et l'argent, l'évaluation se fait en grammes à la tonne ou au mètre cube. Pour les pierres précieuses, l'unité de poids est le *carat* (*k*) qui vaut 200 milligrammes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

7. — Un gisement ne peut évidemment être exploité que si le montant total de toutes les dépenses d'extraction, augmentées des frais de transport au lieu de vente, des amortissements nécessaires du matériel et de l'outillage, ainsi que de toutes les charges financières, est inférieur au prix de vente. L'exploitabilité d'un gisement dépend, par conséquent, de nombreuses conditions. On comprend que, vu le peu de valeur d'un métal tel que le fer, des gisements de minerai de fer ne puissent être exploités, quelle que soit leur richesse, dans les pays lointains et nouveaux où l'industrie métallurgique du fer ne pourrait s'ériger faute de débouchés suffisants ; au contraire, l'or, le platine, le diamant, vu leur grande valeur, pourront être extraits dans des régions très reculées, à condition toutefois de n'expédier que ces produits débarrassés de leur gangue ; leurs minerais devront donc être travaillés sur place. Enfin, la possibilité d'exploitation d'un gîte dépend aussi de la valeur du produit, laquelle peut varier d'une époque à l'autre.

8. — Le but de la *minéralogie* est d'étudier et de caractériser les espèces minérales. La recherche des minéraux utiles constitue la *prospection*. C'est à l'*art des mines* qu'appartient l'étude des méthodes à employer pour exploiter économiquement un gisement. Enfin l'utilisation du minéral extrait peut tenir, soit de la *métallurgie*, s'il s'agit d'en retirer un métal, soit de l'*industrie chimique*, s'il s'agit de le transformer en un autre produit, soit de toute autre branche de l'activité humaine.

DIVISION DE L'OUVRAGE

9. — La détermination d'un minéral repose sur la connaissance de ses propriétés chimiques ou physiques.

Les propriétés chimiques dépendent de la composition, ce qui nous amènera tout d'abord à donner des *notions de chimie* concernant la composition des corps.

Parmi les propriétés physiques, il en est une qui frappe immédiatement l'observateur : la plupart des minéraux ont des formes géométriques, telles que celle du cube, ou celle d'une double pyramide quadrangulaire, formes auxquelles on a donné le nom de *cristaux*. On verra cependant que les cristaux ne sont pas seulement caractérisés par des formes géométriques mais qu'ils mani-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

festent des phénomènes spéciaux, en relation avec la forme extérieure, et qui sont d'ordre physique. L'étude des cristaux, ou *cristallographie*, comprend donc l'examen de toutes les propriétés géométriques, optiques, électriques, magnétiques, mécaniques, qui se manifestent dans les corps cristallisés. La cristallographie géométrique et la cristallographie optique sont les deux chapitres de cette science les plus utiles et les plus importants en minéralogie.

La suite de l'ouvrage est descriptive.

Dans la description des espèces cristallines entre l'indication des modes de gisement. Il est donc logique d'examiner d'abord la composition générale de l'écorce terrestre dans laquelle se rencontrent les gisements minéraux : on verra qu'elle est formée de *roches* et que les roches sont des associations, des mélanges de quelques minéraux peu nombreux ; l'étude des roches constitue la *pétrographie*, dont les notions seront exposées en même temps qu'une description des roches les plus communes, envisagées tant au point de vue de leur composition que de leur situation dans le globe.

On pourra alors aborder utilement la description des espèces minérales, pour chacune desquelles seront données, et comparées à celles des espèces leur ressemblant, les propriétés physiques et chimiques caractéristiques.

Cependant, avant cette description, des notions générales, d'ordre pratique, seront indiquées concernant les méthodes de détermination d'un minéral.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

PREMIÈRE PARTIE

PROPRIÉTÉS DES MINÉRAUX

CHAPITRE I

COMPOSITION CHIMIQUE DES MINÉRAUX

10. ATOMES, MOLÉCULES. — La recherche des divers corps qui entrent dans la composition d'une substance quelconque appartient à la *chimie* et cette science a reconnu que l'innombrable variété des substances que l'on trouve dans la nature, qu'elles soient naturelles et appartiennent au règne minéral, végétal ou animal, ou qu'elles soient artificielles et produites dans nos laboratoires ou nos usines, sont formées par un nombre restreint d'*éléments* se combinant entre eux dans diverses proportions.

Les éléments ou *corps simples*, actuellement connus, sont au nombre de 85 et la liste en est donnée dans la table I à la fin du volume.

Un *atome* est la plus petite partie qui puisse exister de l'un de ces éléments. On les considère d'ailleurs comme étant eux-mêmes constitués d'un noyau central autour duquel circule un nombre d'*électrons* qui varie d'un élément à l'autre. Les atomes, par suite des forces attractives et répulsives qu'ils exercent les uns sur les autres, peuvent s'associer entre eux et un groupement d'atomes, demeurant stable dans des conditions déterminées de température, de pression, etc., possède des propriétés spécifiques : c'est une *molécule*, qui est donc la plus petite partie d'une substance possédant ces mêmes propriétés et pouvant exister à l'état libre.

Lorsque, à la pression ordinaire, on élève la température d'un corps solide, il passe, en général, à l'état liquide, puis à l'état gazeux. Toutefois, certains corps, comme l'arsenic, passent directement de l'état solide à l'état gazeux ; d'autres corps solides, et il en est ainsi de la plupart des minéraux, lorsqu'on élève leur température, se décomposent en leurs éléments, se dissocient, de sorte qu'on ne les connaît qu'à l'état solide.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Une molécule d'un corps à l'état gazeux contient, sauf de rares exceptions, deux ou plus de deux atomes : ainsi, une molécule d'hydrogène est formée de deux atomes d'hydrogène ; une molécule d'oxygène, de deux atomes d'oxygène ; une molécule d'ozone, de trois atomes d'oxygène ; une molécule d'eau (à l'état de vapeur), de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. Les vapeurs de mercure, de zinc, de potassium et de sodium ont cependant des molécules formées d'un seul atome de chacun de ces éléments.

Dans les molécules contenant plusieurs atomes, on peut considérer ces atomes comme répartis autour d'un centre appelé *centre moléculaire.*

Le nombre d'atomes qui entrent dans la composition d'un corps solide ou liquide ne peut généralement pas être déterminé : il paraît constituer toujours un multiple du nombre d'atomes des mêmes éléments entrant dans la molécule du corps gazeux. Ainsi, la molécule d'eau liquide est formée non plus de deux, mais de huit atomes d'hydrogène joints, non plus à un, mais à quatre atomes d'oxygène.

Le diamètre d'une molécule est compris entre $\frac{1}{20^e}$ et $\frac{1}{100^e}$ de millionième de millimètre.

11. Symboles, formules chimiques. — A chaque élément, on a assigné un symbole, formé d'une ou de deux lettres, qui représente un atome de cet élément ; ainsi H représente un atome d'hydrogène, Ba un atome de baryum, etc. ; on trouvera l'indication de ces symboles dans la table I.

La formule chimique d'un composé quelconque s'écrit en indiquant la suite des symboles représentant les atomes qui entrent dans la molécule de ce composé ; s'il y a plus d'un atome d'un même élément, on en inscrit le nombre, sous forme d'exposant, à côté du symbole de cet atome. Ainsi, la formule chimique de l'hydrogène est H^2, celle de l'oxygène O^2, de l'ozone O^3, de l'eau H^2O ; mais, d'après ce qui est dit ci-dessus, cette dernière formule représente la molécule d'eau à l'état de vapeur, tandis que la molécule d'eau liquide a pour formule H^8O^4 ou $(H^2O)^4$.

Observons ici que les propriétés d'un corps composé sont différentes de celles des éléments simples entrant dans sa composition et varient aussi d'après le nombre des atomes de même espèce. Ainsi les propriétés de l'oxygène O^2 et de l'ozone O^3 sont

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

distinctes l'une de l'autre ; de même, tout le monde connaît les propriétés du sel marin dont la formule NaCl montre qu'il est formé par la réunion d'un même nombre d'atomes de sodium Na et de chlore Cl ; or, le chlore est un gaz à odeur très piquante et qui décompose aisément les tissus organiques, tandis que le sodium est un métal, solide, qui décompose violemment l'eau à froid : et cependant le sel marin, provenant de la combinaison de ces deux éléments, est indispensable dans l'alimentation des animaux.

Les propriétés chimiques des corps contenant tous un même élément ont toutefois certaines analogies, dont l'examen permet au chimiste de préciser si cet élément entre, ou non, dans la composition d'un corps déterminé.

12. Poids atomiques et moléculaires. — On a pu déterminer les *poids relatifs* des atomes des éléments : on les compare, en général, au poids d'un atome d'hydrogène pris pour unité. Ce sont les *poids atomiques*, dont les valeurs se trouvent renseignées dans la table I. Les symboles des éléments représentent non seulement les atomes, mais encore leurs poids atomiques : ainsi O représente un atome d'oxygène pesant 16 (l'atome H d'hydrogène pesant 1).

Les formules moléculaires des corps *à l'état gazeux* représentent de même non seulement les compositions des molécules, mais aussi les *poids moléculaires* : ainsi H^2O représente une molécule de vapeur d'eau pesant $2 \times 1 + 16 = 18$.

Mais nous avons vu (**10**) que la plupart des minéraux n'étaient connus qu'à l'état solide ; les poids moléculaires de ces composés à l'état gazeux ne peuvent donc pas en général être déterminés. La formule de la barytine est représentée par $BaSO^4$ et son poids moléculaire serait donc : $137 + 32 + (4 \times 16) = 233$; en réalité, cette formule est empirique et il est probable que la molécule de la barytine solide est $x \times (BaSO^4)$ ou $(BaSO^4)^x$ et que son poids moléculaire est un multiple de 233.

13. Composition centésimale. — Ces formules empiriques sont déduites par les chimistes des recherches qu'ils font des différents éléments qui entrent dans la composition d'un composé (*chimie qualitative*), ainsi que des proportions dans lesquelles se trouvent les mêmes éléments (*chimie quantitative*) : on établit ainsi la *composition centésimale* d'un composé.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Par exemple, on a reconnu que la pyrite est constituée par du fer et du soufre et que, sur un poids 100 de matière, ces deux éléments se trouvent réunis dans la proportion suivante :

Fer.....	46,70
Soufre	53,30
	100,00

Il est facile, de là, de déduire la formule moléculaire de la pyrite. En effet, en divisant les poids respectifs de fer et de soufre par les poids atomiques de ces deux éléments, on obtiendra deux nombres qui représenteront les nombres relatifs d'atomes de fer et de soufre entrant dans la composition de la pyrite. Les poids atomiques du fer et du soufre étant respectivement 56 et 32, on a donc :

$$\text{fer} : \frac{46,70}{56} = 0.834 \qquad \text{soufre} : \frac{53,30}{32} = 1.666$$

On voit que le nombre d'atomes de soufre est double de celui de fer et que la formule moléculaire de la pyrite est FeS^2.

De même pour l'oligiste, on a :

	Composition centésimale	Poids atomiques	Nombre atomiques	Rapports
Fer	70	56	1,250	1
Oxygène	30	16	1,875	$1,5 = \frac{3}{2}$
	100			

La formule de l'oligiste est donc $FeO^{\frac{3}{2}}$ ou Fe^2O^3.

De même, pour la barytine :

	Composition centésimale	Poids atomiques	Nombres atomiques	Rapports
Baryum	58,8	137	0,429	1
Soufre	13,7	32	0,428	1
Oxygène	27,5	16	1,719	4
	100,0			

La formule de la barytine est $Ba\,SO^4$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

14. — Inversement, il est facile de déduire la composition centésimale de la formule moléculaire. Exemple : connaissant la formule moléculaire $BaSO^4$ de la barytine, on connaît son poids moléculaire qui est $137 + 32 + (4 \times 16) = 233$; il est évident que, sur un poids de 233 grammes de barytine, il entrera 137 gr. de baryum (Ba), 32 gr. de soufre (S) et $4 \times 16 = 64$ gr. d'oxygène (O) ; donc, sur un poids égal à 100, on aura :

$$\frac{137 \times 100}{233} = 58{,}8 \text{ de baryum}$$

$$\frac{32 \times 100}{233} = 13{,}7 \text{ de soufre}$$

$$\frac{64 \times 100}{233} = 27{,}5 \text{ d'oxygène}$$

$$100{,}0$$

15. VALENCE. — Les atomes des éléments se combinent entre eux dans des proportions variables, mais qui ne sont pas quelconques. Ainsi, l'atome d'oxygène se combine à *deux* atomes d'hydrogène pour former de l'eau H^2O, mais il se combine à *un* seul atome de calcium pour former la chaux CaO ; d'autre part, deux atomes d'oxygène se combinent à un seul atome de silicium pour former la silice SiO^2. On peut donc dire que l'atome d'oxygène est *saturé* par deux atomes d'hydrogène ou par un atome de calcium ; de sorte que l'atome de calcium a une « capacité » double de celle de l'hydrogène ; de même, le silicium a une capacité double de celle de l'oxygène et, par conséquent, quadruple de celle de l'hydrogène.

Cette capacité constitue la *valence* ; l'hydrogène, pris comme élément de comparaison, est dit *monovalent* ; l'oxygène est *bivalent* ; il y a des atomes *trivalents*, *tétravalents*, etc. Deux éléments seuls, l'argon et l'hélium, inconnus en combinaison, sont supposés sans valence.

Dans une formule moléculaire, les valences de tous les atomes doivent être saturées : ainsi, le corps dont la formule serait Ca^2O ne peut exister, car l'oxygène et la chaux étant tous deux bivalents, les deux valences de l'oxygène sont saturées par les deux valences d'un seul atome de calcium. On peut considérer la valence comme constituant des centres d'attraction d'un atome :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

dans une combinaison chimique, tous les centres d'attraction d'un atome doivent agir sur les centres d'attraction d'autres atomes pour donner un composé stable.

Certains éléments agissent, suivant les cas, avec des valences différentes. Ainsi le fer est tantôt bivalent comme dans $FeCl^2$, tantôt trivalent, comme dans $FeCl^3$; il donne ainsi lieu à des composés fer*reux* et à des composés fer*riques*. De même, le cuivre est monovalent dans Cu^2S qui est un composé cui*vreux* et bivalent dans CuS qui est un composé cui*vrique*.

Voici la classification, suivant leurs valences, des éléments les plus fréquents. Ceux qui peuvent agir avec des valences diverses sont placés entre parenthèses.

Monovalents : H, (Cl), (Br), (I), (Fl), Li, Na, K, Ag, (Cu), (Au), (Hg).

Bivalents : (O), (S), (Se), (Te), Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, (Hg), (Fe), (Mn), (Pb), (Cu), (Co), (Ni), (C), (Pt), (Sn), Ra.

Trivalents : B, (Au), Al, (Fe), (Mn), (Cr), (Mo), (W), Y, Di, (N), (P), (Va), (As), (Sb), (Bi).

Tétravalents : (C), Si, Ti, Zr, (Sn), Ce, La, (Pb), (U), (Mn).

Pentavalents : (N), (P), (Va), (As), (Sb), (Bi), Nb, Ta.

Hexavalents : (S), (Sr), (Te), (Cr), (Mo), (W), (U).

Heptavalents : (Cl), (Br), (I), (Mn).

Octovalents : Os.

16. NOMENCLATURE. — La classification qui sera adoptée dans la description des minéraux est basée sur la composition chimique. On distinguera :

I. — Les *éléments* ou *corps simples* qui sont divisés en *métaux* et *métalloïdes* ; le fer, l'or, l'argent sont des métaux ; le carbone, le soufre sont des métalloïdes. On peut classer tous les éléments en une série telle que, d'un côté de la série, ils ont un caractère métallique très prononcé, passant ensuite insensiblement aux métalloïdes. Les propriétés physiques et chimiques des métaux sont distinctes de celles des métalloïdes, mais certains corps, comme l'arsenic ou l'antimoine, qui seraient placés vers le milieu de la série, agissent tantôt comme métaux, tantôt comme métalloïdes.

II. — Les combinaisons dans lesquelles il n'entre que deux éléments donnent des composés binaires. Les métalloïdes peuvent s'unir entre eux, comme le silicium et l'oxygène, mais les métaux ne peuvent s'unir qu'aux métalloïdes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

A. — Les *sulfures, arséniures, tellurures,* sont des composés binaires dans lesquels le soufre, l'arsenic ou le tellure sont combinés :

α) avec un métalloïde, comme dans l'orpiment : As^2S^3 ;

β) avec un métal, comme dans la pyrite : FeS^2 ;

γ) Lorsqu'un sulfure de métalloïde s'unit à un sulfure de métal, on a un *sulfosel,* comme la tétraédrite : Sb^2S^3. $4Cu^2S$.

B. — Les *anhydrides,* qui sont des composés de métalloïdes et d'oxygène ; exemple : la silice, ou quartz : SiO^2.

C. — Les *oxydes* sont des composés d'oxygène et de métaux ; d'après la valence du métal, on aura :

α) Les *protoxydes,* si le métal est mono ou bivalent ; formule générale : R^2O ou RO. Exemples : la cuprite, Cu^2O ; le périclase : MgO.

β) Les *sesquioxydes,* si le métal est trivalent ; formule générale : R^2O^3 : l'oligiste, Fe^2O^3.

γ) Les *oxydes salins,* composés d'un protoxyde et d'un sesquioxyde ; formule générale : RO. R^2O^3 ou R^3O^4 ; exemples : le spinelle, Al^2O^3.MgO ; la magnétite : Fe^3O^4.

δ) Les *bioxydes,* si le métal est tétravalent ; formule générale : RO^2 ; exemple : la cassitérite, SnO^2.

D. — Les *hydroxydes,* qui sont des oxydes dont la molécule contient de l'eau ; exemple : la limonite : $2Fe^3O^3.3H^2O$.

E. — Les *sels haloïdes,* qui sont des composés des corps dits halogènes : chlore, brome, iode, fluor : le sel gemme, NaCl.

III. — Les *oxysels* sont des composés d'oxydes et d'anhydrides, comme la barytine : $BaO.SO^3$ ou $BaSO^4$. On peut considérer les oxysels comme dérivés d'acides, c'est-à-dire de composés d'anhydrides et d'eau, dans lesquels l'hydrogène de l'eau est remplacé par des métaux : la barytine peut être considérée comme un dérivé de l'acide sulfurique H^2O. SO^3 ou H^2SO^4, dans lequel l'hydrogène (monovalent) H^2 est remplacé par le baryum (bivalent) Ba. D'après la nature de l'acide, on a :

A. — Les *carbonates* qui dérivent de l'acide carbonique $CO^2.H^2O$ ou H^2CO^3, comme la calcite $CaCO^3$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

B. — Les *silicates* qui dérivent de divers acides siliciques dont la formule générale est $SiO^2.mH^2O$.

α) Si $m < 1$, on a des *polysilicates*, comme l'orthose $Al^2K^2Si^6O^{16}$, qui dérive de l'acide $SiO^2.\frac{2}{3}H^2O$. En effet, si l'on remplace l'aluminium et le potassium par de l'hydrogène, la formule devient $H^8Si^6O^{16}$, ou $H^8O^4.Si^6O^{12}$, ou $4H^2O.6SiO^2$.

β) Si $m = 1$, on a des *métasilicates*, comme l'enstatite $MgSiO^3$, qui dérive de $H^2O.SiO^2$.

γ) Si $m > 1$ mais < 2, on a des *silicates intermédiaires*, comme la dichroïte $Al^4Mg^2Si^5O^{18}$, qui dérive de l'acide $SiO^2.1{,}6H^2O$.

δ) Si $m = 2$, on a des *orthosilicates*, comme la willémite Zn^2SiO^4 qui dérive de l'acide $SiO^2.2H^2O$.

ε) Si $m > 2$, on a des *subsilicates*, comme l'andalousite Al^2SiO^5 qui dérive de l'acide $SiO^2.3H^2O$.

C. — Les *borates* dérivent de l'acide borique H^3BO^3 ; les *niobates* et *tantalates* dérivent des acides $Nb^2O^5.mH^2O$ et $Ta^2O^5.mH^2O$.

D. — Les *phosphates*, *arséniates* ou *vanadates* dérivent des acides de mêmes noms, comme le xénotime YPO^4 qui dérive de l'acide phosphorique H^3PO^4.

E. — Les *tungstates*, *molybdates*,*chromates*, comme la schéélite $CaWO^4$ qui dérive de l'acide tungstique H^2WO^4.

F. — Les *sulfates* dérivent de l'acide sulfurique H^2SO^4, comme la barytine $BaSO^4$.

IV. — Indépendamment des carbonates, les dérivés de carbone sont innombrables et rentrent dans le domaine de la *chimie organique* ; une grande majorité de ces composés se trouvent dans les êtres vivants. Quelques-uns cependant, qui sont des composés *hydrocarbonés* comme l'asphalte, ou *oxygénés* comme l'ambre, sont étudiés en minéralogie, par suite des conditions dans lesquelles on les trouve et quoique leur origine première doive, le plus souvent, être recherchée dans des phénomènes biologiques.

17. — Dans les analyses des sels, on donne ordinairement les résultats sous formes d'oxydes (*bases*) et d'anhydrides. Par exemple : la barytine sera décomposée comme suit :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

	Composition centésimale	Poids moléculaires	Nombres moléculaires	Rapports
BaO	65,67	137+16=153	0,429	1
SO^3	34,33	32+(3×16)=80	0,429	1

et sa formule s'écrira indifféremment : $BaO.SO^3$ ou $BaSO^4$.

Inversement, la formule $AlKSi^3O^8$ de l'orthose pourra s'écrire : $Al^2O^3.K^2O.6SiO^2$ et, les poids moléculaires de Al^2O^3, K^2O et SiO^2 étant respectivement 102, 94 et 60, la composition centésimale se calculera comme suit :

$$(Al^2O^3 + K^2O + 6SiO^2 = 556).$$

$$\frac{102 \times 100}{556} = 18{,}34\% \text{ de } Al^2O^3$$

$$\frac{94 \times 100}{556} = 16{,}91 \quad \text{de } K^2O$$

$$\frac{360 \times 100}{556} = 64{,}75 \quad \text{de } SiO^2$$

$$100{,}00$$

A la suite de la table I, nous donnons les poids moléculaires des composés binaires de l'oxygène qui se présentent le plus fréquemment dans les minéraux.

18. SELS NORMAUX, ACIDES, BASIQUES. — Un sel est normal, ou neutre, lorsque tous les atomes d'hydrogène de l'acide dont il dérive sont remplacés par des métaux. C'est le cas de la barytine $BaSO^4$.

Un sel est acide lorsqu'une partie de l'hydrogène est maintenue, constituant donc avec une partie de l'oxygène une ou plusieurs molécules d'eau qui font partie intégrante de la molécule ; cette eau est dite *eau de constitution*. La formule de la dioptase peut s'écrire CuH^2SiO^4 qui dérive de l'acide H^4SiO^4 dans lequel deux atomes d'hydrogène ne sont pas remplacés ; la formule peut aussi s'écrire : $CuO.H^2O.SiO^2$.

Un sel est basique lorsqu'il y a un excès d'oxyde. La formule de la malachite est $Cu^2H^2CO^5$, qui peut s'écrire : $2CuO.H^2O.CO^2$;

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

or, la formule de l'acide carbonique est $H^2O.CO^2$, auquel correspond le sel neutre $CuO.CO^2$; il reste donc un *hydrate* de cuivre : $CuO.H^2O$ ou $Cu(OH)^2$ et il y a par conséquent un excès d'oxyde ; la formule de la malachite s'écrira : $CuCO^3 + Cu(OH)^2$, ou plus exactement $(CuOH)^2CO^3$.

19. Sels hydratés. Eau de cristallisation. — L'eau qui entre dans la composition des sels acides doit être considérée comme combinée aux autres constituants de la molécule ; pour l'éliminer du corps, il faut souvent soumettre celui-ci à une température très élevée.

Certains minéraux perdent au contraire de l'eau à une température relativement basse ; on appelle alors cette eau : *eau de cristallisation* et le sel est dit : *hydraté*. Il est probable cependant que les atomes d'hydrogène et d'oxygène qui entrent dans l'eau de cristallisation font partie de l'édifice moléculaire du composé, mais que cet édifice a une constitution plus fragile qui lui permet de se briser en laissant se dégager cette eau.

Un bon exemple de comparaison entre les sels acides et les sels hydratés est donné par la dioptase et le chrysocole, dont les compositions centésimales sont les suivantes :

	Dioptase	Chrysocole
CuO	50,38	45,20
SiO^2	38,16	34,25
H^2O	11,46	20,55
	100,00	100,00

Ces analyses correspondent aux formules :

dioptase ..... $CuO.SiO^2.H^2O$
chrysocole ..... $CuO.SiO^2.2H^2O$.

Seulement la dioptase ne commence à perdre son eau qu'au dessus de 300°, tandis que le chrysocole en perd à la température ordinaire lorsqu'il est placé dans une atmosphère sèche et l'a complètement perdue à 300°. Les formules s'écriront :

Dioptase :	CuH^2SiO^4	silicate acide
Chrysocole :	$CuSiO^3 + 2aq$ (1)	silicate hydraté.

(1) *Aqua* : eau de cristallisation.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Certains corps sont à la fois acides et hydratés, comme la sépiolite (écume de mer) dont la formule est : $Mg^2H^2(SiO^3)^3 + aq$. D'autres sont à la fois basiques et hydratés, comme la turquoise, de formule : $Al^2(PO^4)^2 + Al^2(OH)^6 + 2aq$.

Les sels basiques, comme les sels hydratés, dégagent de l'eau à basse température.

20. CONSTITUANTS DE REMPLACEMENT. — Il existe un minéral, la forstérite, dont la formule est Mg^2SiO^4 ; d'autre part, la fayalite a pour formule Fe^2SiO^4 ; enfin la formule du péridot est $MgFeSiO^4$. Les compositions relatives à ces trois formules sont les suivantes :

	Mg^2SiO^4	$MgFeSiO^4$	Fe^2SiO^4
Silice SiO^2	42,9	34,9	29,4
Magnésie MgO	57,1	23,3	
Oxyde ferreux FeO		41,8	70,6
	100,0	100,0	100,0

Mais les analyses faites sur de nombreux échantillons de péridot montrent que le rapport des oxydes MgO et FeO s'écarte souvent notablement du rapport $\frac{23,3}{41,8}$; tantôt c'est la magnésie qui prédomine et la composition se rapproche de celle de la forstérite ; tantôt, c'est l'oxyde ferreux et la composition se rapproche de celle de la fayalite. De plus, les propriétés physiques des trois espèces sont peu distinctes l'une de l'autre. Il semble donc que le péridot peut être considéré comme constitué par un mélange de molécules de Mg^2SiO^4 et de Fe^2SiO^4 et, comme les proportions des deux substances varient d'un échantillon à l'autre, il est plus logique d'écrire comme suit la formule du péridot :

$$(MgO,FeO)SiO^2 \quad \text{ou} \quad (Mg,Fe)SiO^4$$

Cette notation montre que MgO et FeO peuvent se remplacer l'un l'autre dans la composition du minéral. Ce sont des *constituants de remplacement.*

Pour établir la formule moléculaire d'un corps présentant des constituants de remplacement, on additionne les nombres moléculaires correspondant aux composés binaires de même espèce,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

tels que RO, R^2O ou R^2O^3. Les proportions des molécules s'établissent ensuite comme d'ordinaire (**17**), en indiquant toutefois quels sont les divers constituants de remplacement.

A titre d'exemple, voici comment s'établit la formule pour un grenat :

	Composition centésimale	Poids moléculaires	Nombres moléculaires		Rapports
SiO^2	41,32	60	0,689	0,691	$RO^2 = 3,02$
TiO^2	0,16	80	0,002		
Al^2O^3	21,21	102	0,208		
Cr^2O^3	0,91	152	0,006	0,240	$R^2O^3 = 1.04$
Fe^2O^3	4,21	160	0,026		
FeO	7,93	72	0,110		
MnO	0,34	71	0,004	0,685	$RO = 3,00$
MgO	19,32	40	0,483		
CaO	4.94	56	0,088		
	100,34				

La formule est donc :

$$3(Mg,Fe,Ca,Mn)O.(Al^2,Fe^3,Cr^2)O^3.3(Si,Ti)O^2 ;$$

comme les quantités de MnO, Cr^2O^3 et TiO^2 sont très faibles, on peut les considérer comme dues à des impuretés et en faire abstraction ; la formule devient alors :

$$3(Mg,Fe,Ca)O.(Al^2,Fe^2)^3O.3SiO^2$$

ou bien

$$(Mg,Fe,Ca)^3(Al^2,Fe^2)(SiO^4)^3$$

et l'on voit que le composé dérive de l'acide orthosilicique (**16**), dans lequel l'hydrogène est remplacé en partie par des oxydes RO, en partie par des oxydes R^2O^3 ; le rapport des quantités d'hydrogène remplacées par les formes d'oxyde est ici égal à 1.

Nous reviendrons sur cette importante question des constituants de remplacement en parlant de l'isomorphisme.

21. Réactions chimiques. — Deux ou plusieurs composés mis en présence dans certaines conditions modifient leurs compositions moléculaires. Il se produit alors une réaction chimique qui s'exprime en réunissant par le signe + les formules des composés

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

avant ou après la réaction et en séparant ces symboles par le signe =.

Ainsi, lorsqu'on brûle du charbon en présence de l'air, un atome de carbone C s'unit à deux atomes d'oxygène O pour former un gaz qui est l'anhydride carbonique CO^2. La réaction s'exprime comme suit :

$$C + 2\,O = CO^2.$$

Les corps peuvent réagir *par voie sèche* lorsqu'on les mélange et les soumet à une température suffisante, ou *par voie humide* lorsqu'on mélange leurs solutions dans l'eau ou dans des liqueurs appropriées. L'examen des phénomènes qui se passent permet de préciser la nature des corps que l'on expérimentait.

Les réactions se produisent :

1° par perte d'éléments :

la calcite $CaCO^3$, chauffée, perd de l'anhydride carbonique et laisse de la chaux :

$$CaCO^3 = CaO + CO^2.$$

2° par addition d'éléments :

la cuprite, sous l'influence de l'air (qui contient de l'eau, de l'oxygène et de l'anhydride carbonique), se transforme en malachite :

$$\underbrace{Cu^2O}_{\text{cuprite}} + O + CO^2 + H^2O = \underbrace{CuCO^3 + Cu(OH)^2}_{\text{malachite}}$$

3° par échange d'éléments :

$$BaSO^4 + Na^2CO^3 = BaCO^3 + Na^2SO^4.$$

Cette dernière réaction peut s'écrire :

$$BaO.SO^3 + Na^2O.CO^2 = BaO.CO^2 + Na^2O.SO^3.$$

Elle se produit lorsqu'on soumet à la fusion le mélange de barytine et de carbonate sodique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE II

STRUCTURE CRISTALLINE

22. — Lorsqu'une substance passe, assez lentement, de l'état liquide à l'état solide, elle revêt en général une forme géométrique régulière : il se produit ainsi un cristal.

Les plans qui limitent la forme géométrique sont les *faces* du cristal ; leurs intersections sont ses *arêtes* ; les points d'intersection de plusieurs arêtes sont ses *angles* ou *sommets*.

La forme géométrique d'un cristal caractérise sa substance : on comprend donc l'importance que l'étude de ces formes présente pour le minéralogiste.

Ce n'est cependant pas la forme seule qui caractérise un cristal, car la cristallisation est produite par la répartition des molécules dans l'espace, suivant certaines lois dont la forme extérieure n'est que l'une des conséquences : si l'on brise un cristal quelconque et si l'on en prend un fragment interne, la répartition des molécules dans ce fragment est la même que dans le cristal primitif et ce fragment jouit des mêmes propriétés que le cristal complet ; par exemple, si on le place dans les mêmes conditions de formation, il pourra se nourrir de nouvelles molécules de la même substance et reprendre la forme géométrique primitive ; de plus, la matière se répartissant dans le cristal suivant des lois spéciales, on pourra, dans le fragment interne aussi bien que dans le cristal complet, produire des phénomènes physiques caractéristiques, lumineux, mécaniques, etc.

On voit par là que, même sans présenter de formes géométriques, les minéraux peuvent être cristallisés. Il arrive que les observations prouvant cette cristallinité de la substance ne peuvent se faire qu'à l'aide du microscope : le minéral est alors *microcristallin*.

Quelques minéraux montrent une structure n'obéissant pas aux lois de la cristallisation : ce sont des corps *amorphes*.

23. CONSTANCE DES ANGLES. — Lorsqu'on examine des cristaux d'une même substance, on est frappé tout d'abord par la grande

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

variété de formes qu'ils présentent et qui ne paraissent avoir entre elles aucune analogie. Un examen plus attentif montre cependant des relations importantes qui rapprochent l'une de l'autre ces formes différentes.

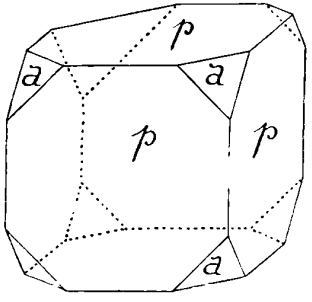


Fig. 1.

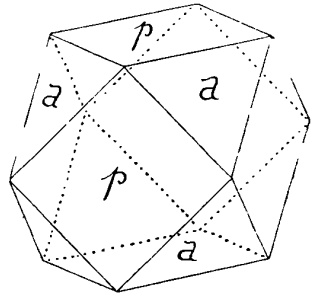


Fig. 2.

Les figures 1 et 2 représentent, par exemple, deux cristaux de galène (PbS) ; si l'on mesure l'angle que fait, dans chacun des cristaux, une face marquée *p* avec une autre face *p* voisine, on trouve qu'il est toujours de 90° ; de même, l'angle d'une face *p* avec une face *a* adjacente est toujours de 125°16′ ; enfin, l'angle de deux faces marquées *a*, non opposées, est toujours égal à 109°28′.

La figure 3 représente un cristal de marcasite (FeS^2) ; les angles que font les diverses faces de ce cristal sont les suivants :

angle de	*p*	avec	*m* :	90°
»	*p*	»	*e* :	129°1′
»	*m*	»	*e* :	118°12′
»	*m*	»	*m* :	105°5′.

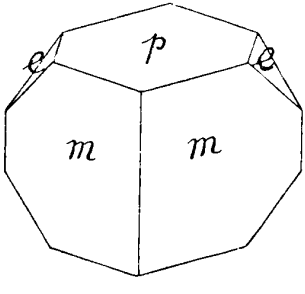


Fig. 3.

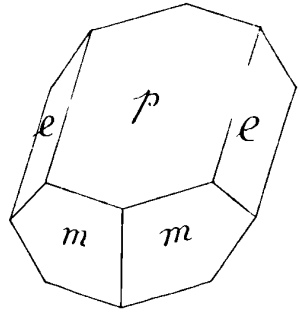


Fig. 4.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Or, dans le cristal du même minéral représenté par la figure 4, les angles des faces notées des mêmes lettres ont également les mêmes valeurs.

Ces deux cristaux de marcasite, d'une part, comme les deux cristaux de galène, d'autre part, ont les *mêmes formes*, mais le développement respectif de leurs faces est inégal. Ceci ne doit pas surprendre, car, lors de la cristallisation, une première molécule en ayant attiré d'autres qui viennent se grouper autour d'elle, le cristal peut très bien se nourrir diversement d'une direction à l'autre, de sorte que ses faces se développent inégalement.

Mais ce qui reste constant, c'est la valeur des angles que les faces *analogues* font entre elles.

24. Formes diverses d'un même minéral. — Cependant, si une substance quelconque peut présenter des cristaux de même forme quoique de développement inégal, il arrive aussi qu'elle présente des cristaux de formes totalement différentes. Ainsi, la galène se trouve en cristaux ayant la forme du cube (fig. 5), solide dont toutes les faces adjacentes font entre elles des angles de 90°; d'autres cristaux du même minéral ont la forme de l'octaèdre régulier (fig. 6), solide dont deux faces adjacentes quel-

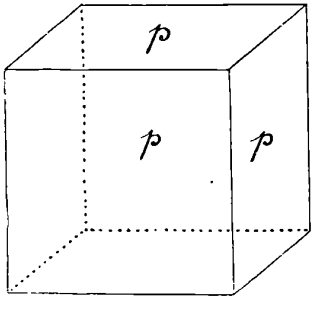


Fig. 5.

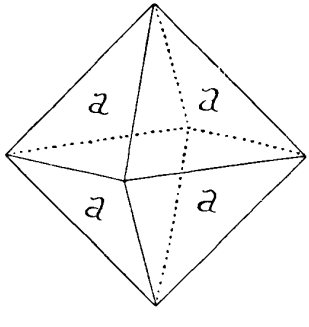


Fig. 6.

conques font entre elles un angle de 109°28′ : on ne voit pas, tout d'abord, les relations qui peuvent exister entre ces deux formes non plus qu'avec celles des figures 1 et 2. Supposons cependant que, dans le cube de la figure 5, on abatte chaque angle en le remplaçant par un triangle équilatéral, comme il est montré à l'aide de facettes hachurées sur la figure 7 ; on peut calculer que l'angle d'un de ces triangles avec une face du cube adjacent est égal à

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

125°16′ et que l'angle de deux triangles adjacents est de 109°28′.

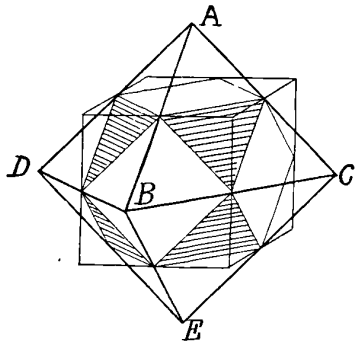


Fig. 7.

Si, par la pensée, on supprime alors le cube et on le remplace par les seules faces triangulaires développées de façon à se couper suivant les droites AB, BC, BD et BE, on obtiendra un solide à huit faces qui sera précisément l'octaèdre de la figure 6. On voit donc que l'on peut passer aisément de la figure 5 à la figure 6 et que les phases intermédiaires sont précisément les figures 1 et 2 ; or, toutes ces formes sont présentées par la galène.

De même, toutes les formes des cristaux d'une même substance, si nombreuses et compliquées qu'elles soient, peuvent être dérivées l'une de l'autre.

25. Clivage. — Les cristaux de nombreuses substances présentent une curieuse propriété : on peut les diviser, par simple choc, ou par décollement au moyen d'une lame de canif, en lamelles parallèles à un plan qui a toujours la même direction dans le cristal : on dit qu'ils se clivent parallèlement à ce plan. Tout le monde connaît les plaques très minces de mica : on les obtient par clivage. De même, il est facile de sectionner un cristal de topaze perpendiculairement à l'allongement habituel des prismes de ce minéral (fig. 8), et ce clivage peut s'effectuer en un point quelconque de l'allongement.

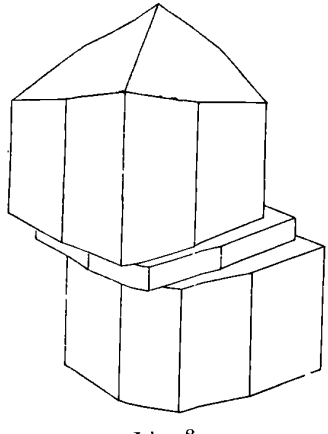


Fig. 8

Certains clivages sont très aisés à produire ; d'autres sont très difficiles. La plus ou moins grande facilité d'une direction de clivage est toujours la même dans tous les cristaux d'une même substance.

Les cristaux d'autres minéraux possèdent deux directions de

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

clivage et, dans une même espèce minérale, les deux plans obtenus font toujours entre eux le même angle ; ainsi, les cristaux de diopside ($CaO . MgO . 2SiO^2$), qui ont souvent la forme de la figure 9, peuvent être clivés parallèlement aux deux plans marqués m et m' et l'on comprend que, en effectuant ces clivages dans ce minéral, on puisse obtenir des prismes dont les deux faces m et m' font entre elles (fig. 10) un angle de 87°10′ : quelle que soit la forme du cristal de diopside, on pourra toujours en extraire des prismes de 87°10′. D'autre part, les cristaux de trémolite ($3MgO . CaO . 4SiO^2$) peuvent aussi se cliver parallèlement à deux plans, mais ici le prisme obtenu (fig. 11) a une section de 124°11′.

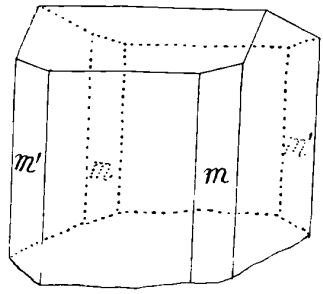


Fig. 9.

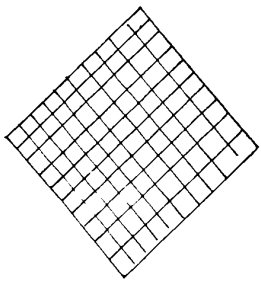


Fig. 10.

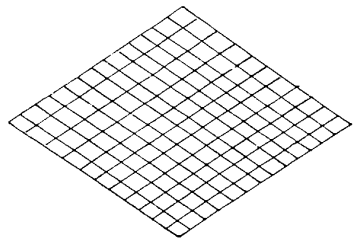


Fig. 11.

Enfin, certains minéraux ont trois directions de clivage. Ainsi, les cristaux de galène se clivent parallèlement aux faces p des figures 1 et 2, c'est-à-dire qu'il existe trois clivages perpendiculaires entre eux : à noter que ces trois clivages sont également faciles. Les cristaux de barytine ont fréquemment la forme de la figure 12 : on peut les diviser parallèlement à la face tabulaire p et parallèlement aux directions m et m' ; ici, l'angle de p avec chacun des plans m et m' est de 90°, tandis que l'angle des plans m et m' est de 101°54′. — Dans l'anhydrite ($CaSO^4$), il existe (fig. 13), comme dans la galène, trois plans de clivage perpendiculaires entre eux, mais ils sont inégalement faciles.

Quelques minéraux possèdent plus de trois directions de clivage ; le diamant, par exemple, dont les cristaux ont souvent la forme

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de cube ou d'octaèdre, se clive parallèlement aux quatre faces *a* de l'octaèdre (1).

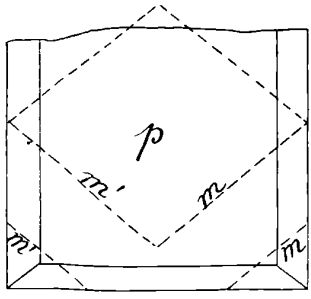


Fig. 12.

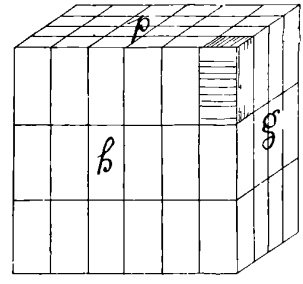


Fig. 13.

Lorsqu'un minéral possède plus de deux plans de clivages, on peut évidemment tirer de chacun de ses cristaux de petits solides de clivage qui auront toujours la même forme puisque les angles des plans de clivage sont constants dans ce minéral. Le solide de clivage de la galène sera un cube ; celui du diamant, un octaèdre ; celui de la barytine (fig. 12), un prisme droit dont la base est un rhombe (ou losange) de 101°54′ ; celui de l'anhydrite, un parallélépipède rectangle, hachuré sur la figure 13.

26. Théorie de Haüy. — Du fait qu'en clivant un cristal de galène, quelle que soit sa forme, on obtient toujours des cubes, il doit être possible, en empilant à nouveau ces cubes dans un

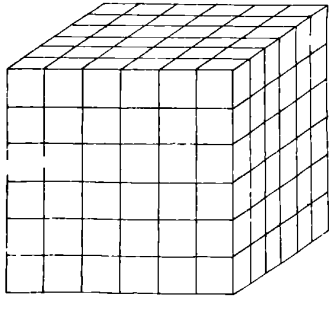


Fig. 14.

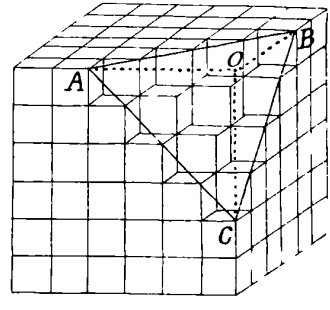


Fig. 15.

(1) L'octaèdre géométrique est un solide à huit faces, mais ces faces sont deux à deux parallèles ; en réalité, il n'y a donc que quatre directions (ou faces) de clivage.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

certain ordre, d'obtenir le cristal primitif ; tous les cristaux de galène peuvent donc être considérés comme dus à l'assemblage de petits cristaux cubiques. En effet, si l'empilement des cubes se fait régulièrement, on obtiendra un cristal cubique (fig. 14) ; si, pour une cause quelconque, pendant le développement du cristal, un certain nombre de petits cubes est régulièrement omis le long de chacune des arêtes OA, OB, OC (fig. 15), on obtiendra, sur l'angle du cristal cubique, une surface ABC qui, vu la petitesse des cubes primitifs, paraîtra unie ; on comprend ainsi la formation de cristaux semblables à celui de la figure 2.

27. Décroissements. — Haüy appelait *molécules intégrantes* les solides de clivage dont l'empilement produit les cristaux de formes variées que présente un minéral. Si le cristal s'accroît par couches entières, il conserve la forme de la molécule intégrante ; mais si les couches décroissent en grandeur, on obtient une forme dérivée ; nous avons vu (fig. 15) comment pouvait s'effectuer un décroissement sur l'angle et la figure 16 montre comment l'octaèdre complet peut s'obtenir par l'empilement des cubes. La

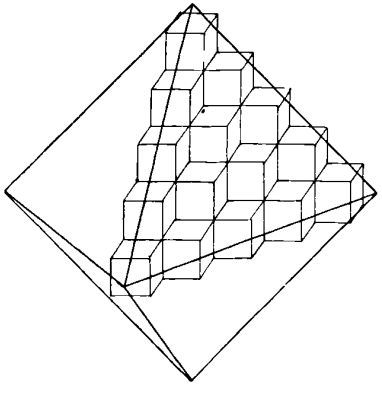


Fig. 16.

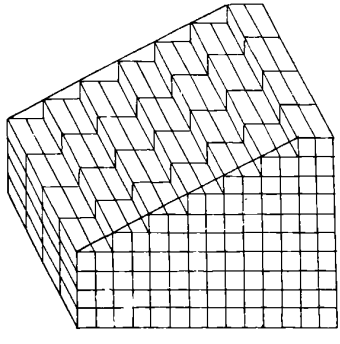


Fig. 17.

figure 17 montre un décroissement sur une arête et l'on voit que le nombre de molécules soustrait dans une direction peut être différent de celui soustrait dans une autre ; si le décroissement s'effectue sur toutes les arêtes d'un cube et si ce décroissement est le même en hauteur qu'en largeur, on voit, par la figure 18, que l'on obtient un solide à 12 faces (12 arêtes du cube) ayant

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

chacune la forme d'un losange ; c'est le rhombododécaèdre, également fréquent dans la galène.

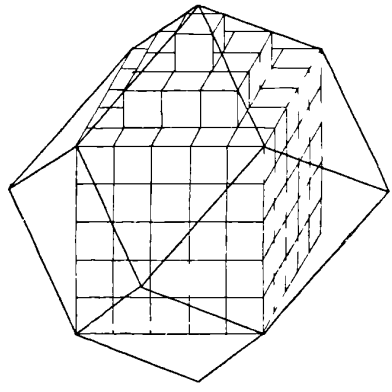


Fig. 18.

Il peut y avoir une infinité de décroissements différents, soit sur l'angle, soit sur l'arête de la molécule intégrante ; d'autre part, la molécule intégrante peut varier de forme et de dimensions d'un minéral à l'autre ; de là, la grande variété des formes que l'on rencontre dans les cristaux. Mais nous verrons plus loin que les molécules intégrantes peuvent être ramenées à sept types différents, de sorte que, en réalité, toutes les formes cristallines d'un minéral peuvent être dérivées de l'un de ces sept types, dont la forme et les dimensions sont caractéristiques de l'espèce.

A titre d'exemple, nous citerons encore la calcite ($CaCO^3$) dont les formes cristallines sont extrêmement nombreuses et variées ; or, tous ces cristaux se clivent très facilement suivant trois plans qui font entre eux, deux à deux, un angle de 105°5′. La molécule intégrante est ici un rhomboèdre, solide que l'on peut construire en prenant trois droites égales en longueur OA, OB, OC (fig. 19) et faisant entre elles des angles égaux ; il est donc formé par six faces, deux à deux parallèles ; dans la calcite, les trois faces supérieures, ainsi que les trois faces inférieures, font entre elles, deux à deux, l'angle de 105°5′. Or, la figure 20 représente une forme prismatique, de section hexagonale, très fréquente dans la calcite et la figure 21 montre comment l'empilement de molécules intégrantes, ayant la forme du rhomboèdre de la figure 19, peut donner un cristal ayant la forme de la figure 20.

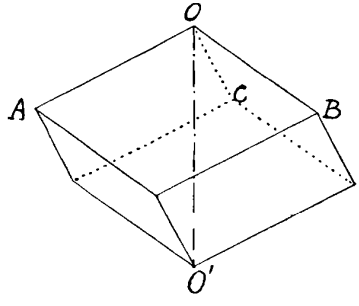


Fig. 19.

D'autres minéraux pourront d'ailleurs avoir des rhomboèdres pour molécules intégrantes, mais l'angle des deux faces supé-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

rieures de ces rhomboèdres sera différent de celui de la calcite : il s'ensuivra que, s'ils présentent des cristaux de forme analogue à celle de la figure 20, les angles que font entre elles les faces supérieures de cette forme seront différents de ceux des mêmes formes de la calcite, puisque ces angles dépendent de celui de la molécule intégrante ; la mesure de ces angles pourra donc servir à préciser la forme et l'angle fondamental de la molécule

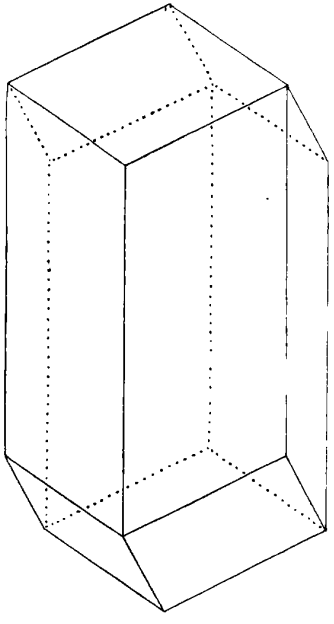


Fig. 20.

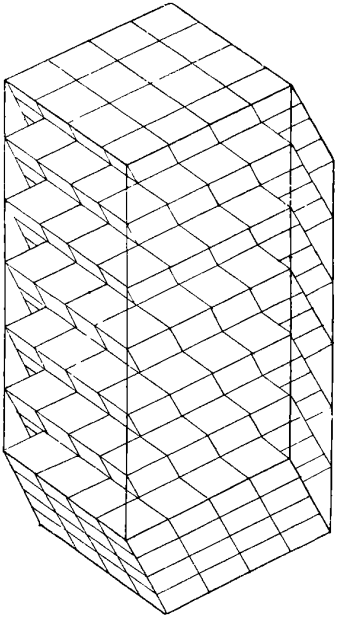


Fig. 21.

intégrante et à caractériser le minéral. Disons cependant dès maintenant que, pour tous les cristaux dont la molécule intégrante est le cube, les mêmes formes dérivées sont identiques entre elles ; cela provient de ce que tout cube a ses angles droits et ses arêtes égales et il ne peut donc y avoir de différence d'un cube à l'autre, non plus que d'un dérivé du cube à l'autre.

28. Théorie de Bravais. — La théorie de Haüy ne peut strictement s'appliquer qu'aux cristaux qui, possédant trois plans de clivage, peuvent donner des solides de clivage. De plus, elle ne parvient pas à expliquer certains faits qui seront exposés plus loin (**70**). Bravais a complété la théorie de Haüy en suppo-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

sant une structure moléculaire des cristaux, basée sur une notion très simple de l'homogénéité.

Un corps est homogène lorsque la matière est également répartie autour de deux quelconques de ses points A et B (fig. 22) convenablement choisis ; si donc on choisit en A, une direction quelconque AX et, en B, une direction parallèle BY, la matière sera également répartie sur AX à partir de A et sur BY à partir de B ; la répartition se fait d'ailleurs en général tout différemment suivant une autre direction, non parallèle à AX.

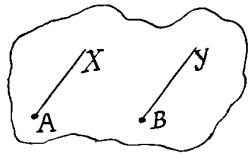


Fig. 22.

Un cristal est homogène suivant cette définition. Or, soit A (fig. 23) un *centre moléculaire* (**10**) que nous appellerons *nœud.* Nous pouvons choisir un autre nœud B, situé à une distance *a* de A telle que, sur la direction AB, il n'y ait pas de nœud entre

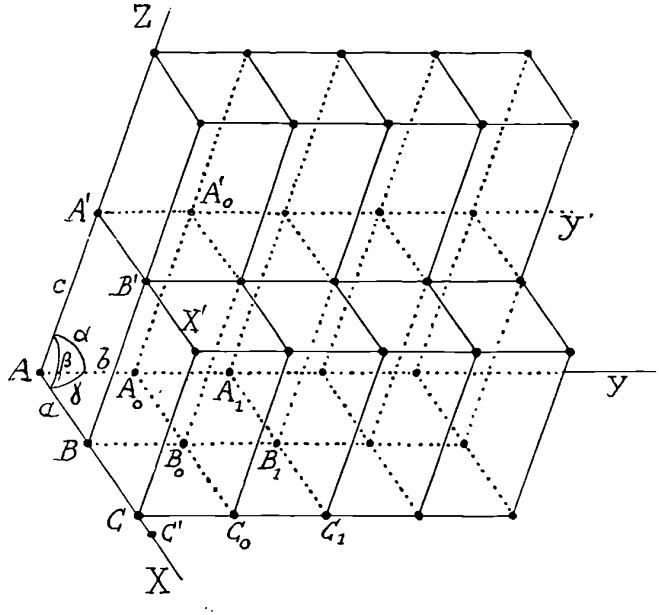


Fig. 23.

A et B. Comme la répartition de la matière est la même autour de B que autour de A, il doit y avoir un autre nœud C à distance *a* de B et le même raisonnement nous montrera qu'il y a, suivant AX, une suite de nœuds situés à distances *a* l'un de l'autre ; et

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

il n'y en a pas d'autre, car, s'il y en avait un en C′ à distance a' de C plus petite que a, le principe d'homogénéité exigerait qu'il y en eût un entre A et B, à même distance a' de A, ce qui est contraire à l'hypothèse. La ligne des nœuds AX est une *rangée* de paramètre a.

Soit maintenant une rangée parallèle A_0C_0 choisie de telle sorte qu'entre les deux rangées il n'y ait pas de nœud ; suivant cette rangée les nœuds sont répartis de même façon que suivant AX, à distance a les uns des autres car, sans cela, la matière ne serait pas répartie autour de B_0 comme elle l'est autour de A. Cela posé, divisons le plan A_0AC en parallélogrammes construits avec les paramètres $AB = a$ et $AA_0 = b$. Tous les sommets A, A_0, B_0, B_1, C, C_1, ... de ces parallélogrammes sont des nœuds, toujours en vertu de la répartition homogène de la matière et il n'y en a pas d'autre dans le plan XAY, car, s'il y en avait un à l'intérieur d'un parallélogramme quelconque, il y en aurait également un à l'intérieur du parallélogramme AA_0BB_0 et cela est contraire à l'hypothèse faite qu'il n'y a pas de nœud entre les rangées AX et A_0C_0. Le plan XAY est un *plan réticulaire* de paramètres a et b.

Choisissons ensuite un nœud quelconque A′ tel que, en menant par A′ un plan parallèle au plan réticulaire XAY, il n'y ait pas de nœud entre ces deux plans. La matière est également répartie autour de A et de A′ ; le plan X′A′Y′ contient donc des nœuds disposés comme dans le plan XAY. Si, de plus, nous réunissons les nœuds A et A′, B et B′, A_0 et A'_0, etc., et si nous prolongeons ces droites de part et d'autre des plans XAY et X′A′Y′, nous y trouverons des nœuds à distances l'un de l'autre égales à $AA' = c$.

Nous avons donc divisé l'espace en *mailles parallélépipédiques*, formant un *réseau* dont tous les sommets sont des nœuds ou centres moléculaires. Et il n'y a pas d'autre nœud car, s'il y en avait un à l'intérieur ou sur les côtés d'une maille quelconque, il y en aurait un également soit entre les plans X′A′Y′ et XAY, soit entre les rangées AX et A_0C_0, soit entre A et B, ce qui est contraire aux principes de la construction du réseau.

De la construction même du réseau, on voit que l'on pourra amener un nœud en un autre nœud par une suite de trois translations parallèles à AX, AY, AZ et respectivement égales à $q \times a$, $r \times b$, $s \times c$, à condition que q, r, s soient des *nombres entiers*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

29. — Ce qui vient d'être établi pour les centres moléculaires peut l'être également pour d'autres points du cristal, pour certains atomes par exemple, de sorte que l'on peut dire que, dans un cristal, il y a une quantité de réseaux parallèles reliant des points analogues qui peuvent être des centres moléculaires, des atomes, ou même des points quelconques choisis entre les atomes.

En d'autres termes, on peut subdiviser le cristal en parties contiguës pouvant se substituer l'une à l'autre par des translations parallèles à trois directions et égales à des nombres entiers de fois des paramètres *a*, *b* et *c*. Ces parties contiguës et identiques constituent le *motif* du cristal.

30. — Le *motif* est d'ailleurs constitué lui-même par une réunion de *cellules* qui peuvent dépendre l'une de l'autre, par exemple par des rotations autour de droites, par des réflexions sur des plans, ou par l'une ou l'autre de ces opérations suivies de translations.

La cellule est essentiellement asymétrique ; le motif, constitué par un ensemble de cellules, pourra être caractérisé par l'ensemble des éléments de symétrie qui relie les cellules entre elles, c'est-à-dire par son *symbole de symétrie* ; enfin, les motifs se reproduisant périodiquement dans le réseau (**29**), ce réseau sera également caractérisé par son symbole de symétrie.

31. — L'étude complète d'un cristal exigera donc :

1° la connaissance du réseau, c'est-à-dire des trois directions des rangées AX, AY, AZ (fig. 23), caractérisées par les angles α, β, γ, et des trois paramètres *a*, *b*, *c* ; nous verrons que, en se basant sur ces éléments, les cristaux peuvent se classer en sept catégories, ou systèmes ;

2° la connaissance du motif, qui implique la connaissance de son symbole de symétrie dont il existe 230 groupes ;

3° la structure du motif, c'est-à-dire le mode d'assemblage des atomes dans la cellule.

Les atomes des cellules et du motif ne sont séparés que par des distances trop faibles pour influer sur la forme extérieure du cristal ; il n'en est pas de même dans le réseau qui ne met pas de limite au nombre des motifs qui s'assemblent. C'est donc le réseau seul que l'on peut se borner à considérer dans l'étude des polyèdres cristallins.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

32. — Les trois rangées AX, AY et AZ, faisant entre elles des angles α, β, γ et sur lesquelles on a construit le réseau à l'aide de paramètres a, b et c, sont des *rangées conjuguées*. On voit aisément que le même réseau peut être construit à l'aide d'une infinité de rangées conjuguées et de paramètres. En effet, si l'on avait joint le point A à un nœud quelconque du plan X'A'Y', on aurait changé la forme de la maille en conservant sa base ; mais on aurait aussi pu changer cette base en joignant A à un nœud quelconque de la rangée A_0C_0 et l'on aurait même pu joindre A à un autre nœud que B, à condition qu'entre ces deux nœuds, il n'y en eût point d'autre. On aurait alors cependant retrouvé tous les nœuds du même réseau.

33. — Il résulte de la construction même du réseau :

1° que toutes les rangées parallèles ont même paramètre ;

2° que tous les plans réticulaires parallèles ont mêmes paramètres.

De plus :

3° quelles que soient les rangées choisies dans un plan réticulaire, la surface de la maille fondamentale est constante. En effet, prenons une surface S du plan et soit n le nombre de nœuds contenus en S ; à chaque nœud correspond une surface ω de paramètres a et b, de sorte que l'on a $S = n\,\omega$; si l'on prend des paramètres a' et b', et si la surface de la maille correspondante est ω', on a : $S = n\,\omega'$; il s'ensuit que $\omega = \omega'$.

4° de même, toutes les mailles parallélépipédiques que l'on peut choisir pour construire le même réseau ont même volume ;

5° la distance de deux plans réticulaires parallèles est d'autant plus grande que la surface de la maille plane correspondante est plus petite. En effet, si ω est la surface de la maille plane, V le volume de la maille parallélépipédique et D la distance de deux plans contigus, on a $V = \omega D$. Pour un autre système de plans réticulaires parallèles, on a $V' = \omega' D'$; mais, dans tous les cas, $V = V'$; donc : $\omega D = \omega' D'$. Les mailles de plans réticulaires non parallèles sont donc en raison inverse des distances des plans contigus correspondants. On peut encore dire que cette distance est d'autant plus grande que les plans correspondants possèdent plus de nœuds (ou de molécules) par unité de surface. Ceci tend à faire croire que les clivages s'effectuent parallèlement aux plans réticulaires dans lesquels la densité moléculaire est la plus grande.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE III

CRISTALLOGRAPHIE GÉOMÉTRIQUE

§ 1. — LES SYSTÈMES CRISTALLINS

34. — Tout cristal, d'après ce qui précède, peut être dérivé d'un réseau construit à l'aide d'une maille parallélépipédique que nous prenons comme *forme primitive*.

Les formes primitives ne sont pas quelconques ; elles doivent être choisies parmi sept types différents. En d'autres termes, il existe seulement sept systèmes cristallins.

Chacun de ces systèmes est caractérisé par certains éléments de symétrie qu'il convient de définir.

35. ÉLÉMENTS DE SYMÉTRIE. — Un cristal peut présenter les éléments de symétrie suivants :

1° le *centre*, c'est-à-dire un point tel que, à chaque nœud, correspond à même distance, dans la direction opposée, un autre nœud. Le point d'intersection C (fig. 24) des diagonales d'un

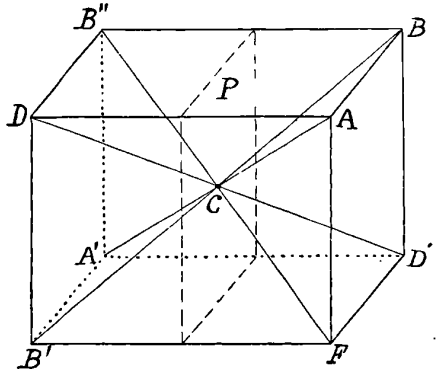


Fig. 24.

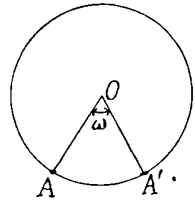


Fig. 25.

prisme rectangulaire droit est un centre, car, par rapport à ce point C, le nœud A a son symétrique en A', B en B', D en D', etc. Il s'ensuit que l'arête AB a pour symétrique l'arête A'B', que la face ABFD' a pour symétrique la face A'B'B''D.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

2° Un *plan de symétrie* est un plan tel que si, d'un nœud, on abaisse une perpendiculaire sur ce plan et qu'on la prolonge de la même distance, on obtient également un nœud. Ainsi, par rapport au plan de symétrie P, le nœud A a son symétrique en D, le nœud B en B'' ; l'arête symétrique de AB est DB'', de AF est DB', etc.

3° Un *axe de symétrie* est une droite telle qu'en tournant d'un certain angle ω autour d'elle, un nœud A vient se placer en un autre nœud A' (fig. 25). Après un certain nombre n de rotations ω, le nœud reprend sa position primitive A, ayant effectué un tour complet de 360° ; l'angle ω est donc égal à $\frac{360^\circ}{n}$, n étant un nombre entier ; la droite (qui se projette en O sur la figure 27 est dite *axe de symétrie d'ordre n*. Par conséquent :

Un axe d'ordre 6 amène la restitution des nœuds par une rotation de $\frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$

Un axe d'ordre 5 » » » » $\frac{360^\circ}{5} = 72^\circ$

Un axe d'ordre 4 » » » » $\frac{360^\circ}{4} = 90^\circ$

Un axe d'ordre 3 » » » » $\frac{360^\circ}{3} = 120^\circ$

Un axe d'ordre 2 » » » » $\frac{360^\circ}{2} = 180^\circ$

Dans un prisme hexagonal régulier (fig. 26), la droite verticale OO' est un axe d'ordre 6, car, après rotation de 60°, un nœud A_1 vient en A_2, ensuite, après une nouvelle rotation de 60°, en A_3 et ainsi de suite, de sorte qu'après six rotations (fig. 27) il est revenu en A_1. De même la droite EE' est un axe d'ordre 2, car après rotation de 180°, le nœud B est venu en B', le nœud A_5 en A'_5, le nœud A_3 en A'_3, etc.

En fait, après une rotation de $\frac{360^\circ}{n}$ autour d'un axe d'ordre n, le réseau prend une position *identique* à celle qu'il possédait antérieurement dans l'espace : on dit qu'il est *restitué*.

36. — Le centre sera toujours désigné par le symbole C.

Le symbole A^n représentera un axe de symétrie d'ordre n : ainsi A^6 représente un axe sénaire, A^4 un axe quaternaire, A^3 un axe ternaire : ce sont des axes *multiples* ; les axes d'ordre 2 ou *binaires*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

sont désignés par L^2 ; on voit aisément que les axes multiples d'ordre pair sont aussi des axes binaires.

Les plans de symétrie sont désignés par P. Cependant les plans perpendiculaires à des axes multiples seront désignés par Π.

On doit parfois distinguer entre eux des axes de même ordre ; ainsi, dans le prisme hexagonal régulier (fig. 26), rien ne permet de distinguer entre eux les trois axes binaires L^2 qui aboutissent aux milieux des arêtes ; mais il y a aussi trois axes binaires qui aboutissent aux centres des faces ; on les désignera par L'^2, pour les distinguer des trois précédents.

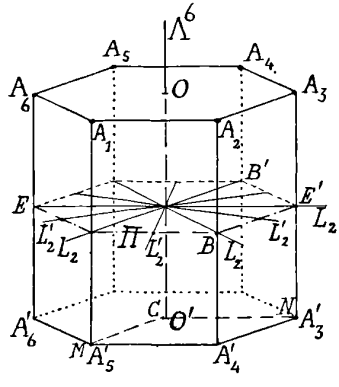


Fig. 26.

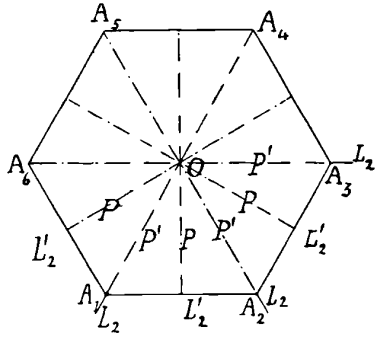


Fig. 27.

De même, par l'axe sénaire OO', il passe six plans de symétrie qui (fig. 27) aboutissent, trois aux milieux des arêtes horizontales, trois aux sommets du prisme. Les premiers, qui sont perpendiculaires aux L^2, seront désignés par P ; les seconds, perpendiculaires aux L'^2, par P'.

On voit que les éléments de symétrie du prisme hexagonal régulier sont :

$$\Lambda^6,\ 3L^2,\ 3L'^2,\ C,\ \Pi,\ 3P,\ 3P'.$$

37. — Les éléments d'un cristal sont, en plus des éléments de symétrie, ses faces, ses arêtes, ses angles dièdres (ou angles de deux faces) et ses sommets (points où se joignent plusieurs faces).

Les *éléments semblables* sont ceux qui se correspondent par rapport à un élément de symétrie. Ainsi, dans le cristal de la figure 26, tous les angles A du haut se correspondent par rapport au Λ^6 ; ils sont semblables ; ils correspondent également aux

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

angles A du bas. De même les arêtes verticales sont semblables (à cause du A^6) ; les arêtes horizontales sont semblables entre elles (à cause du A^6 et du Π) mais différentes des arêtes verticales ; les faces verticales sont également semblables entre elles mais différentes des faces supérieure et inférieure.

38. — Bravais a recherché quelles étaient les combinaisons possibles entre les éléments de symétrie pouvant exister dans un réseau et il a démontré [1] qu'il y avait seulement sept combinaisons possibles.

Ce sont :

Réseau sans axe de symétrie		C
Réseau avec axe binaire	un seul	L^2, C, P
	plusieurs	L^2, L'^2, L''^2, C, P, P', P''
Réseau avec un axe multiple	un A^4	A^4, 2 L^2, 2 L'^2, C, Π, 2 P, 2 P'
	un A^6	A^6, 3 L^2, 3 L'^2, C, Π, 3 P, 3 P'
	un A^3	A^3, 3 L^2, C, 3 P,
Réseau avec plusieurs axes multiples		3 A^4, 4 A^3, 6 L^2, C, 3 Π, 6 P.

Tous les cristaux d'un même minéral pourront donc être rapportés à l'un de ces réseaux, ou à sa maille prise comme maille fondamentale du réseau. Pour reconnaître cette forme primitive, il suffira de rechercher les éléments de symétrie que présente le cristal. Bien entendu, et conformément à ce qui a été dit plus haut (**28** et **30**), les réseaux de deux minéraux, cristallisant dans le même système, se distingueront l'un de l'autre par les valeurs d'une ou plusieurs des quantités α, β, γ, a, b, et c.

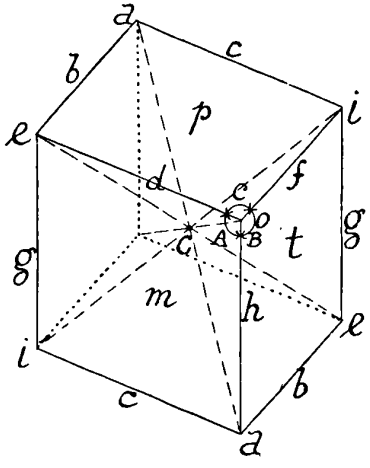


Fig. 28.

Nous allons voir, pour chacune des sept combinaisons, quelle est la forme primitive du réseau.

39. — Combinaison : C.

C'est le **système clinoédrique** ou **anorthique.**

La forme primitive est (fig. 28) un prisme doublement oblique dont les arêtes font entre elles

[1] Voir compléments nos **486** à **503.**

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

des angles quelconques A, B et C. Il y a 12 arêtes présentant trois longueurs différentes.

Le seul élément de symétrie est le centre C qui se trouve à l'intersection des diagonales.

Pour montrer la symétrie du prisme, on donne à ses faces, à ses arêtes et à ses angles certaines notations qui s'établissent comme suit :

Les six faces se correspondant deux à deux par rapport au centre, on en note trois par les lettres *p*, *m*, *t* (premières lettres des syllabes du mot *primitif*) et l'on note ces faces *de haut en bas et de gauche à droite*. La face supérieure est donc *p*, la face antérieure de gauche *m*, la face antérieure de droite *t*. Les trois autres faces ont nécessairement les mêmes notations, à cause du centre.

Les arêtes sont notées *dans le même ordre* en employant les premières consonnes de l'alphabet ; il y a donc six arêtes notées *b*, *c*, *d*, *f*, *g*, *h*, les six autres, semblables deux à deux aux premières, prenant les mêmes notations.

Les angles sont, *dans le même ordre*, notés à l'aide des premières voyelles : *a*, *e*, *i*, *o* ; les quatre angles inférieurs portent les mêmes lettres.

Cette notation indique clairement la symétrie du prisme.

40. — Combinaison : L^2, C, P.

C'est le **système clinorhombique.**

La forme primitive est un prisme (fig. 29) dont la base est un losange et dont les arêtes verticales sont inclinées sur cette base ; cependant les deux diagonales *ao* et *ee* de la base sont perpendiculaires entre elles ; l'une d'entre elles *ee* est placée horizontalement, l'autre *ao* s'inclinant vers le spectateur. On désigne par β l'angle aigu que fait cette dernière diagonale avec la verticale.

Le plan de symétrie est le plan *aoa* passant par la diagonale inclinée et par l'arête verticale antérieure. L'axe de symétrie L^2, perpendiculaire à ce plan et parallèle à la diagonale horizontale, passe par les milieux des arêtes verticales latérales.

Les notations des éléments du prisme s'écrivent comme dans le prisme clinoédrique, mais en tenant compte de ce que certains éléments, par suite de la symétrie, conservent les notations d'éléments déjà notés. Ainsi (fig. 29) l'arête supérieure de droite doit se noter *b*, et non *c* à cause du P ; l'arête inférieure de droite de la base doit se noter *d* et non *f* ; la face *t* devient *m*. On

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

voit, après rotation autour de L^2, comment se disposent vers le bas les éléments supérieurs.

Le prisme est toujours placé dans la position de la figure 29 ; le plan de symétrie est donc de profil ; l'angle antérieur des deux faces *m* sera indifféremment aigu ou obtus, suivant l'espèce minérale.

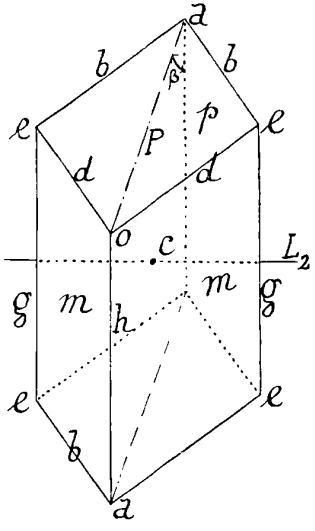


Fig. 29.

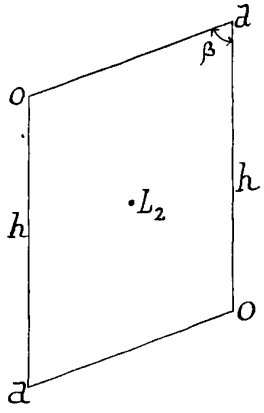


Fig. 30.

La section *aoao* faite dans le prisme par le plan de symétrie est donnée par la figure 30. L'angle β est variable d'un minéral à l'autre, comme d'ailleurs l'angle des faces *m*.

41. — Combinaison : L^2, L'^2, L''^2, C, P, P', P''.

C'est le **système orthorhombique.**

La forme primitive est un prisme dont la base est un losange mais dont les arêtes verticales font des angles droits avec cette base. Les trois axes binaires sont perpendiculaires entre eux et aboutissent, l'un (vertical) au milieu de la base, les deux autres (horizontaux) aux milieux des arêtes verticales. Les trois plans de symétrie sont perpendiculaires entre eux : l'un, P, est parallèle à la base, les deux autres P' et P'' sont des plans diagonaux.

En notant les éléments du prisme tout en tenant compte de la symétrie, on verra (fig. 31) que toutes les arêtes basiques seront notées *b*, les arêtes verticales seront de deux espèces *g* et *h* ; il y a quatre angles *a* et quatre angles *e*. Les faces *m* sont distinctes de la base *p*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La figure 32 montre la forme de la base p. Ici l'on pourrait indifféremment placer devant soi l'une ou l'autre des arêtes verticales : l'usage veut que l'on place toujours l'angle *obtus* des deux faces m.

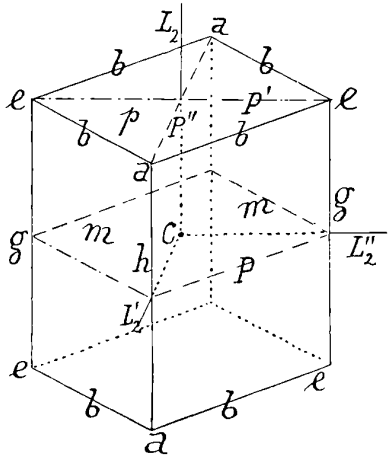


Fig. 31.

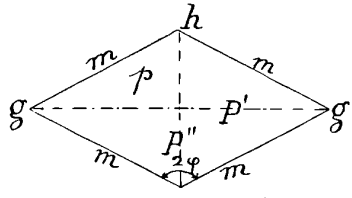


Fig. 32.

42. — Combinaison : A^4, $2L^2$, $2L'^2$, C, Π, 2P, 2P'.
C'est le **système quadratique.**

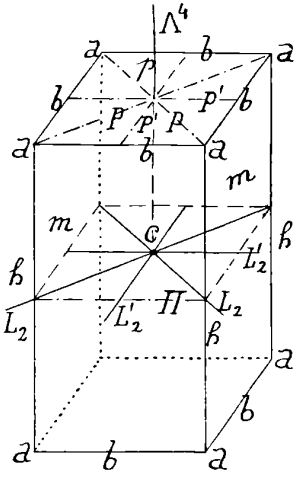


Fig. 33.

La forme primitive est un prisme à base carrée (fig. 33). On y voit la disposition des éléments de symétrie.

La notation des éléments se trouve aisément. Tous les angles sont semblables : a ; les arêtes basiques sont

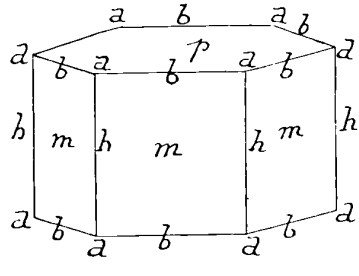


Fig. 34.

semblables : b ; les arêtes verticales sont également semblables entre elles ; on les désigne par h (ou g).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

43. — Combinaison : A^6, $3L^2$, $3L'^2$, C, Π, 3P, 3P'.
C'est le **système hexagonal.**

La forme primitive (fig. 26) est un prisme hexagonal droit et régulier. Sa base (fig. 27) est un hexagone. La position des éléments de symétrie se voit sur ces figures et la figure 34 montre les notations des éléments.

44. — Combinaison : A^3, $3L^2$, C, 3P.
C'est le **système rhomboédrique.**

La forme primitive est un rhomboèdre (fig. 35), solide géométrique construit sur trois droites *b* issues d'un même point *a*, égales entre elles et faisant entre elles des angles égaux. Les arêtes *b* sont dites *culminantes* ; les autres arêtes *d*, qui forment dans l'espace un dessin en zig-zag, sont les arêtes latérales. Les longueurs de toutes les arêtes sont égales entre elles.

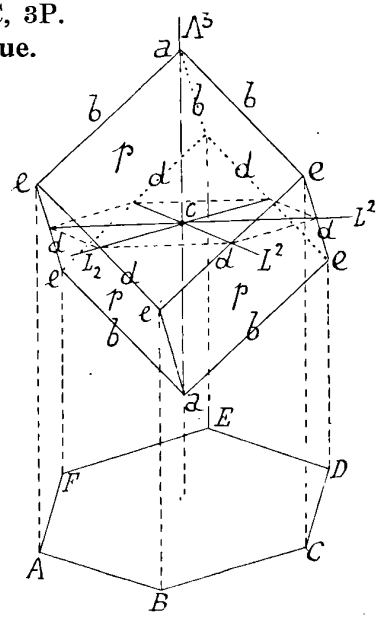


Fig. 35.

On place le rhomboèdre primitif avec son axe *aa*, qui est l'axe ternaire, verticalement ; ses axes binaires se trouvent dans un plan horizontal passant par le centre C, font entre eux des angles de 60° et aboutissent aux milieux des arêtes latérales. Chaque plan de symétrie passe par l'axe ternaire et par une arête culminante.

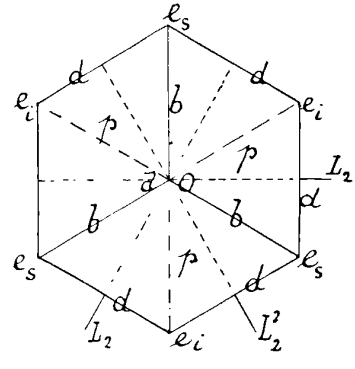


Fig. 36.

Les arêtes latérales se trouvent à même distance du centre et sont également inclinées, quoique respectivement en sens inverse, sur le plan horizontal. La projection de ces six arêtes a la forme d'un hexagone régulier ABCDEF dans lequel tout le solide se projette. La figure 36 représente cette projection ; l'axe ternaire est perpendiculaire au plan du

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

dessin ; les trois axes binaires se trouvent dans ce plan, mais il faut noter que les angles e se trouvent en réalité, trois d'entre eux (e_s) au-dessus et trois d'entre eux (e_i) au-dessous du plan des axes binaires. Les plans de symétrie sont les trois plans e_s *o* e_i, perpendiculaires aux L^2.

45. — Combinaison : $3A^4$, $4A^3$, $6L^2$, C, 3Π, 6P.

C'est le **système cubique.**

La forme primitive est le cube (fig. 37).

Les axes quaternaires sont perpendiculaires aux faces du cube ; les axes ternaires sont les diagonales du cube, aboutissant aux sommets ; les axes binaires sont perpendiculaires aux arêtes.

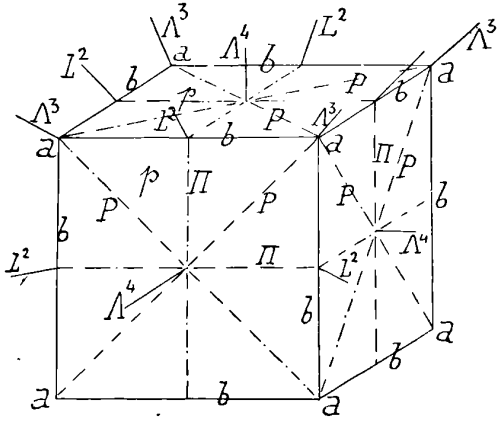


Fig. 37.

Les plans Π sont perpendiculaires aux A^4 et parallèles aux faces du cube ; ils contiennent, chacun, deux A^4 et deux L^2 ; les plans P sont les plans diagonaux du cube ; ils contiennent, chacun, deux A^3, un A^4 et un L^2.

Par un A^4, il passe deux Π et deux P ; par un A^3, il passe trois P ; par un L^2, il passe un Π et un P.

On voit facilement que toutes les arêtes sont semblables : *b* et, de même, tous les angles : *a*.

§ 2. — FORME EXTÉRIEURE DES CRISTAUX

46. — Lorsqu'une substance cristallise, nous pouvons admettre que les centres de gravité de ses molécules se placent aux nœuds d'un des sept réseaux dont nous venons de décrire les mailles fondamentales. L'évidence de ce réseau nous est apportée par l'action plus ou moins symétrique de la substance sur les phénomènes physiques ; nous verrons, par exemple, que la vitesse de la lumière reste la même pour toutes les directions parallèles mais qu'elle varie à l'intérieur d'un cristal, d'une direction à l'autre, et tout en respectant les éléments de symétrie du réseau.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Mais la théorie du réseau de Bravais permet aussi d'expliquer la forme polyédrique extérieure que prennent généralement les substances cristallisées : cette forme résulte du fait que les faces du cristal sont constituées par des plans de nœuds (ou *plans réticulaires*).

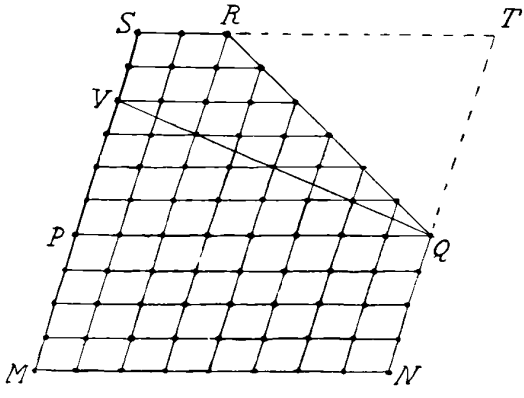


Fig. 38.

47. — Si les plans réticulaires qui limitent le cristal sont parallèles aux plans de la maille fondamentale, le cristal aura la forme de cette maille. Mais on comprend que, pour une cause quelconque, les nœuds du réseau peuvent ne pas se charger de molécules avec la régularité supposée ci-dessus. Pour fixer les idées, considérons par exemple une suite de réseaux plans parallèles dont la figure 38 représente l'un d'entre eux ; après que les molécules se seront déposées sur tous les nœuds de la portion MNPQ, il peut arriver que de nouveaux lits de molécules se déposent sur la portion PQRS en laissant à découvert la partie QRT du réseau : il se sera constitué ainsi une face QR qui modifiera la forme primitive. Au lieu de la face QR, il aurait pu d'ailleurs se former une face telle que QV, ou toute autre constituée par un plan réticulaire.

48. — La figure 39 représente un réseau dont un angle O a été remplacé par une face MNT résultant de ce que les molécules ont laissé à découvert certains nœuds du réseau et l'on voit aisément que, si l'on considère les arêtes OM′, ON′, OT du cristal supposé complet et si l'on appelle *a*, *b*, *c*, les paramètres de la maille fondamentae, il résulte nécessairement du mode même de formation de la face MNT, que les longueurs OM, ON et OT coupées par la face sur les trois arêtes du cristal sont des *multiples entiers* de *a*, *b*, et *c*.

On constate aussi la présence de faces parallèles à une arête de la maille, comme le montre la figure 40.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

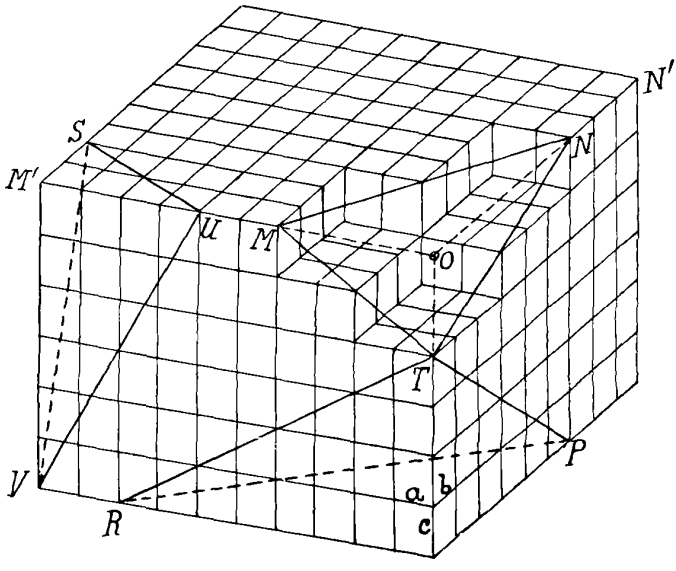


Fig. 39.

Les différentes faces d'un cristal peuvent donc être considérées comme des *troncatures* des angles ou des arêtes de la forme primitive.

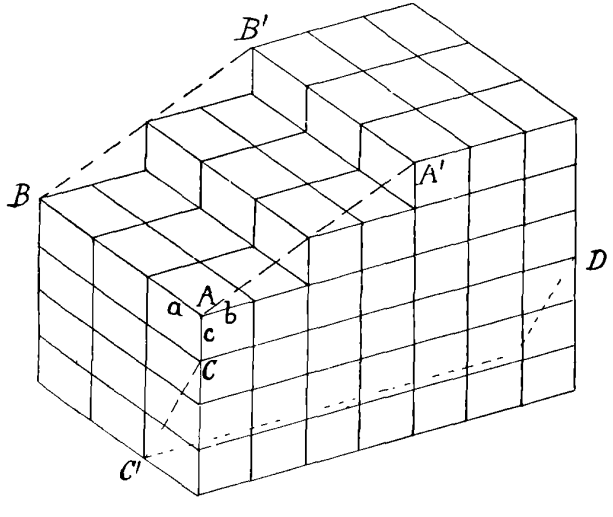


Fig. 40.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

§ 3. — LOI DE RATIONALITÉ

49. — Soit un prisme primitif (fig. 41) portant sur un angle une face telle que MNT. Supposons que, au lieu de la face MNT, il se soit produit une face M′N′T′ parallèle à la première.

Ces deux plans parallèles MNT et M′N′T′ sont physiquement identiques, car, d'après le principe d'homogénéité qui a conduit à la construction des réseaux, les directions MN et M′N′ sont identiques, de même que le sont NT et N′T′, etc. En d'autres termes, la face MNT peut se produire à une distance quelconque du sommet O, du moment qu'elle passe par un nœud : quelle que soit sa position, elle ne pourra être distinguée d'un cristal à l'autre ; elle fera toujours les mêmes angles avec les faces du prisme primitif, elle présentera les mêmes caractères physiques, le même éclat, etc. On ne devra donc pas distinguer la position M′ N′T′ de la position MNT.

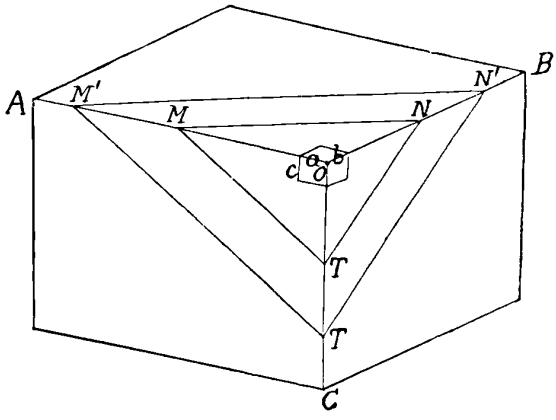


Fig. 41.

50. — Supposons (fig. 42) qu'un cristal clinoédrique porte sur l'angle *o* des faces *pmt* deux troncatures ABMN et MNC′. Les arêtes *d*, *f*, *h* sont des rangées de nœuds et la troncature AMBN est un plan réticulaire ABC qui laisse à découvert (48) sur les rangées des longueurs *o*A, *o*B et *o*C. Or, si *a*, *b*, *c* sont les paramètres (distances de deux nœuds consécutifs) des rangées *d*, *f*, *h*, on a :

$$o\mathrm{A} = q \times a \qquad o\mathrm{B} = r \times b \qquad o\mathrm{C} = s \times c$$

où *q*, *r*, *s* sont des nombres entiers.

De même, pour le plan A′B′C′, on a :

$$o\mathrm{A}' = q' \times a \qquad o\mathrm{B}' = r' \times b \qquad o\mathrm{C}' = s' \times c$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

D'où :

$$oA = \frac{q}{q'} \times oA' \qquad oB = \frac{r}{r'} \times oB' \qquad oC = \frac{s}{s'} \times oC'$$

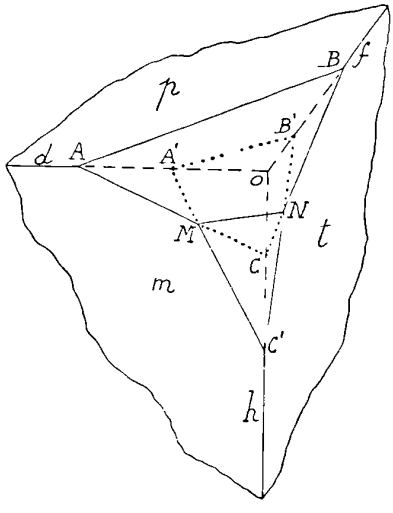


Fig. 42.

Si donc au lieu de prendre comme unités les longueurs *a*, *b*, *c*, qui nous sont inconnues (1), *on compare les distances coupées sur les arêtes du prisme par une face* ABC *aux distances déterminées par une autre face* A'B'C', c'est-à-dire aux distances *o*A', *o*B', *o*C', *les nombres trouvés seront des rapports de nombres entiers, c'est-à-dire des nombres rationnels.* Observons de plus que, pour fixer l'orientation des diverses faces, il ne sera pas nécessaire de connaître les longueurs qu'elles coupent sur trois arêtes mais simplement les rapports de ces longueurs ; ceci résulte de l'observation faite précédemment (**49**).

La loi de rationalité revient à dire que des troncatures quelconques ne sont pas possibles dans un cristal : peuvent seuls se présenter les assemblages de faces qui obéissent à cette loi.

51. — *Exemple.* Soit (fig. 43) un fragment de prisme quadratique dont une arête horizontale porte trois troncatures marquées *r*, *s*, *v*. On a mesuré les angles que chacune d'elles fait avec la base *p* et qui sont respectivement (2) :

$$\alpha = 58°11' \qquad \alpha' = 28°14'5 \qquad \alpha'' = 15°2'$$

Faisons voyager le plan *r* jusqu'à ce que son intersection avec *m*

(1) L'etude des cristaux par les rayons X permet aujourd'hui de déterminer les grandeurs *a*, *b*, *c* en valeurs absolues.

(2) Nous donnons les angles des normales aux faces, suppléments des angles vrais. Ces angles sont mesurés à l'aide d'instruments appelés *goniomètres* (§ 11).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

vienne en BE ; on voit aisément que l'on a : AE = AB tang. α ; si nous faisons de même pour s et v, nous trouverons :

$AF = AB \text{ tang } \alpha'$ et $AD = AB \text{ tang } \alpha''$;

d'où :

$$AE:AF:AD = \text{tang } \alpha : \text{tang } \alpha' : \text{tang } \alpha'' = 1{,}6117 : 0{,}5372 : 0{,}2686 = 6:2:1$$

nombres rationnels.

Dans un cristal analogue, dans lequel on aurait déjà une face r faisant avec p l'angle $\alpha = 58°11'$, il est impossible de trouver une face, troncature de l'arête horizontale, faisant avec p l'angle $\beta = 20°43'$, car on trouverait pour le rapport des segments coupés sur la hauteur :

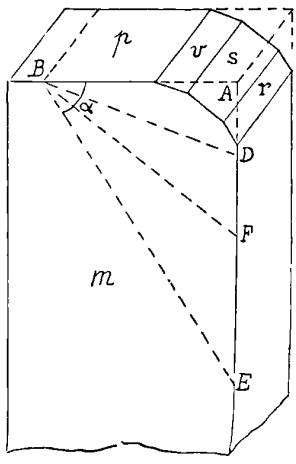


Fig. 43.

$$\text{tang } \beta : \text{tang } \alpha = 0{,}3799 : 1{,}6117 = 1 : 3\sqrt{2} \text{ nombre irrationnel.}$$

§ 4. — NOTATIONS DES FORMES (Système de Lévy)

52. — Si la forme d'un cristal est celle de la maille choisie comme maille primitive, ses faces seront notées p, m ou t, ainsi qu'il a été dit précédemment. Il s'ensuit que :

la notation du cube est : p ;
la notation du prisme quadratique : pm ;
la notation du prisme hexagonal : pm ;
la notation du rhomboèdre : p ;
la notation du prisme orthorhombique : pm ;
la notation du prisme clinorhombique : pm ;
la notation du prisme clinoédrique : pmt.

53. — Pour chaque prisme primitif (nos **39** à **45**), nous avons noté les arêtes par des consonnes et les angles par des voyelles. Les lettres représentant les arêtes ne désigneront pas seulement leurs positions, mais aussi leurs longueurs, telles qu'elles résultent (**50**) des rapports des paramètres adoptés.

Pour avoir la notation d'une troncature, on pourra donc supposer que la face produite se déplace parallèlement à elle-même

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

jusqu'à ce qu'elle coupe des fractions simples des longueurs interceptées sur trois des arêtes et on la notera en écrivant les noms de ces trois arêtes et en inscrivant, pour chacune d'elles, la fraction représentant le segment intercepté.

54. — Ainsi, la face DEF (fig. 44) qui, dans le prisme clinoédrique, coupe, à partir de l'angle *o*, des segments égaux respectivements à $\frac{1}{2}$, à $\frac{1}{3}$ et à $\frac{1}{4}$ de chacune des arêtes *d*, *f*, *h*, aura pour notation : $(d^{\frac{1}{2}} f^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{4}})$ et ce sera la notation de tout plan parallèle. De même, la face ABE, coupant *à partir de i*, des segments égaux à 1, $\frac{2}{3}$ et $\frac{1}{4}$ des longueurs des arêtes *c*, *f* et *g*, sera notée : $(c^1 f^{\frac{2}{3}} g^{\frac{1}{4}})$ ou mieux, en prenant tous les numérateurs égaux à 1 : $(c^{\frac{1}{2}} f^{\frac{1}{3}} g^{\frac{1}{8}})$.

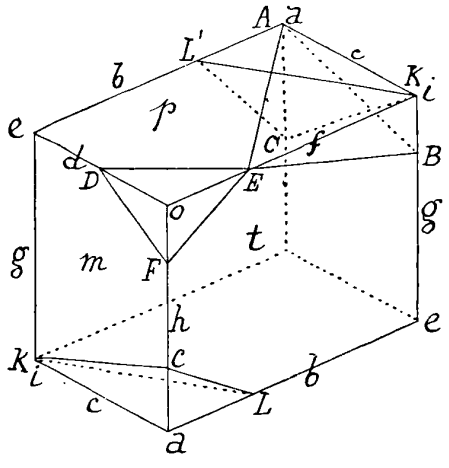


Fig. 44.

Réciproquement, si l'on veut dessiner la face de notation : $(b^{\frac{1}{3}} c^1 h^{\frac{1}{2}})$, il faut d'abord chercher le sommet où aboutissent les trois arêtes *b*, *c* et *h* ; c'est le sommet *a* inférieur ; on prend alors, à partir de *a*, sur chacune des arêtes, les longueurs $\frac{1}{3}$, 1 et $\frac{1}{2}$ et l'on obtient la troncature LKC : toute face parallèle à ce plan LKC aura même notation. On peut observer ici que l'on aurait pu prendre l'angle *a* supérieur d'arrière, où aboutissent également trois arêtes *b*, *c*, *h* et dessiner la face L'K'C'. Ces deux faces ont effectivement même notation, parce qu'elles se correspondent par rapport au centre.

55. — Les notations peuvent être simplifiées dans certains cas. Soit, par exemple, dans le prisme clinoédrique (fig. 45), une face ABC coupant des segments égaux (1) sur deux arêtes basiques *d* et *f*.

(1) En disant « segments égaux », on ne doit pas oublier que les paramètres peuvent être inégaux. Cette expression signifie que les segments coupés représentent le même nombre multiple des paramètres correspondants.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Sa notation est $(d^{\frac{1}{2}}\, f^{\frac{1}{2}}\, h^{\frac{1}{3}})$, mais on peut se borner à écrire l'angle dont elle est la troncature, en lui adjoignant une fraction dont le numérateur représente le segment intercepté sur les deux arêtes basiques et le dénominateur représente le troisième segment ;

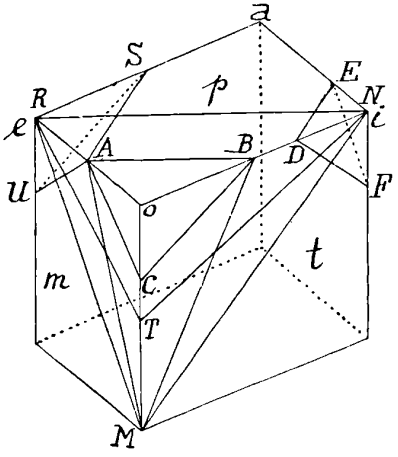


Fig. 45.

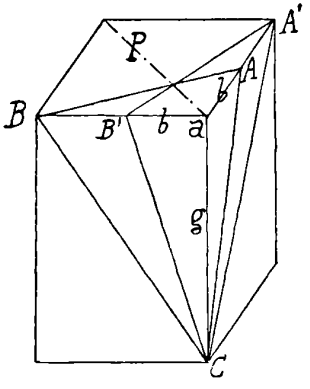


Fig. 46.

la notation de la face ABC peut donc s'écrire : $o^{\frac{1}{\frac{2}{1}}}_{\frac{3}{2}} = o^{\frac{3}{2}}$.

De même, la face DEF sera notée : $i^{\frac{1}{\frac{3}{1}}}_{4} = i^{\frac{4}{3}}$.

Autres exemples :

$\mathrm{ASU} = e^{\frac{1}{\frac{2}{1}}}_{3} = e^{\frac{3}{2}}$. $\mathrm{ANM} = o^{\frac{1}{2}}$. $\mathrm{RBT} = o^{\frac{1}{\frac{1}{2}}} = o^{2}$. $\mathrm{RNM} = o^{\frac{1}{\frac{1}{1}}} = o^{1}$.

56. — Lorsqu'un plan de symétrie passe par l'angle, on prend comme arêtes basiques les deux arêtes symétriques par rapport à ce plan. Si cependant, comme dans la figure 46, les deux segments égaux (1) coupaient deux arêtes non symétriques, on mettrait le rapport des segments coupés en indice, à droite ou à gauche suivant le cas. Ainsi, la troncature ABC se notera : $b^{1}\, b^{\frac{1}{2}}\, g^{1} = {}_{2}a$ et la troncature A'B'C se notera : a_2.

(1) Voir la note de la page précédente.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

57. — Il arrive fréquemment qu'une troncature est parallèle à une arête, comme la face MNPQ (fig. 47) qui est parallèle à l'arête *f*. Il suffit alors de noter cette arête et de lui adjoindre une fraction dont le numérateur désigne le segment coupé sur l'arête basique et le dénominateur le segment coupé sur l'arête verticale. On a ainsi :

$$\text{MNPQ} = f^{\frac{1}{3}} = f^{\frac{b}{\delta}}. \quad \text{ABCD} = d^{\frac{1}{1}} = d^{\frac{1}{2}}. \quad \text{SELH} = d^{\frac{1}{\frac{1}{2}}} = d^2.$$

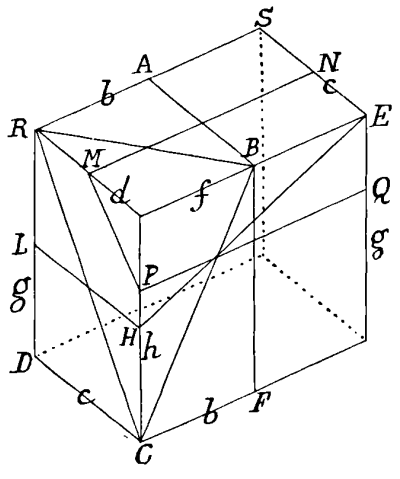


Fig. 47.

Pour les troncatures des arêtes verticales, on indique le rapport du segment coupé sur l'arête basique de gauche au segment coupé sur l'arête basique de droite.

$$\text{DRBF} = h^{\frac{1}{\frac{1}{2}}} = h^2.$$

58. — Dans la description des systèmes cristallins (**75**), il sera donné de nombreux exemples des notations, auxquelles il est nécessaire de s'habituer, parce qu'elles simplifient considérablement le langage cristallographique (1).

§ 5. — LOI DE SYMÉTRIE

59. — Considérons un prisme quadratique et supposons (fig. 48) que, sur l'un des angles, se produise la troncature de notation $(b^1\ b^{\frac{1}{3}}\ h^{\frac{1}{2}})$, c'est-à-dire parallèle à ABC. Du fait de l'existence du plan P de symétrie diagonal passant par l'angle *a*, cette troncature ABC se reproduira symétriquement en EDC ; ces deux faces se couperont suivant une droite FC, qui sera dans le plan de symétrie et l'angle *a* sera ainsi modifié, non par une face, mais par deux faces constituant un *biseau*.

(1) Un autre système de notations, dû à Miller, et très usité également, est exposé dans les compléments nos **508** à **515**.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le même cas peut se présenter sur une arête.

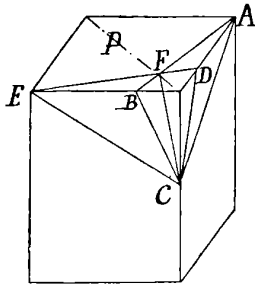


Fig. 48.

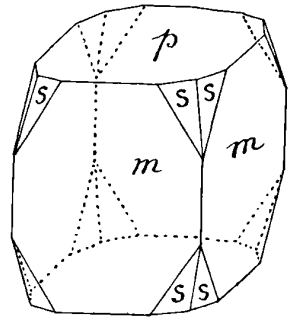


Fig. 49.

60. — Une *arête simple* est une arête par laquelle passe un plan de symétrie P ou qui est normale à un L^2 (exemples : arête g du prisme clinorhombique, arête b du cube). Cette arête peut porter :

1° une troncature *droite*, c'est-à-dire normale au P ou à L^2. Sa notation sera g^1, b^1, etc.

2° une troncature *oblique* qui donnera un *biseau sur l'arête*. Sa notation sera g^2, ou g^3, ou b^4, ou $b^{\frac{3}{2}}$, etc.

Un angle *régulier* est un angle qui, possédant n faces, possède aussi un Λ^n. Cet angle peut porter :

1° une troncature *droite*, c'est-à-dire normale au Λ^n. Pour l'angle a du cube, sa notation sera a^1 ;

2° une troncature symétrique, qui, sans être normale au Λ^n, sera normale à l'un des P passant par le Λ^n. Cette troncature donnera un pointement régulier à n faces qui pourra :

a) s'appuyer sur les faces de l'angle (fig. 109) ;

b) s'appuyer sur les arêtes de l'angle (fig. 111) ;

3° une troncature *oblique* à un P, qui donnera un pointement régulier à $2n$ faces (fig. 113).

Un angle est *hémisymétrique* lorsque sans posséder d'axe de symétrie, il possède un plan de symétrie qui passe par une arête (angle a du prisme quadratique). Cet angle peut porter :

1° une troncature *symétrique*, qui est normale au P ; notation : a^m ($a^{\frac{1}{2}}$, a^1, a^2, $a^{\frac{3}{2}}$, ...) ;

2° une troncature *oblique*, qui donnera un *biseau sur l'angle* (fig. 48).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

61. — Mais, reprenant l'exemple du n° **59** et constatant que, sur un angle a, une troncature oblique donne un biseau sur l'angle, on verra que, en outre, tous les angles a du prisme, à cause du A^4 et du Π seront modifiés de la même manière et le cristal qui résultera du fait de la modification $(b^1\ b^{\frac{1}{3}}\ h^{\frac{1}{2}})$ sur le prisme à base carrée aura la forme de la figure 49. On voit d'ailleurs aisément qu'aucun élément de symétrie n'amènera l'existence d'une autre face de même notation $(b^1\ b^{\frac{1}{3}}\ h^{\frac{1}{2}})$ que, pour abréger l'écriture, nous avons désignée sur le cristal par la lettre s.

La *loi de symétrie* peut donc s'énoncer comme suit : *Dans tout cristal une troncature quelconque se reproduit relativement à tous les éléments de symétrie, de sorte que les angles de même espèce ou les arêtes de même espèce sont modifiés à la fois et de la même manière.*

62. — Dans le système de notations que nous avons exposé — et qui est dû au cristallographe français Lévy — le symbole $s = b^1\ b^{\frac{1}{3}}\ h^{\frac{1}{2}}$ ne désigne pas seulement la face ABC, ou la face EDC de la figure 48, mais bien l'ensemble de toutes les faces s que la loi de symétrie amène du fait de l'existence de l'une d'entre elles.

Le cristal de la figure 49 présente une *combinaison de forme* due à l'ensemble de deux faces p, de quatre faces m et de seize faces s; on le notera :

$$p.m.s\ (b^1\ b^{\frac{1}{3}}\ h^{\frac{1}{2}}).$$

§ 6. — FORMES PRIMITIVES ET FORMES DÉRIVÉES

63. — En résumé, les faces qui constituent un polyèdre cristallin sont des plans réticulaires (**46**); trois quelconques de ces plans réticulaires se coupent suivant des arêtes qui peuvent être prises comme rangées conjuguées d'un réseau (**32**); nous ne connaissons pas les paramètres a, b, c, de ces rangées mais, s'il existe une quatrième face coupant ces trois rangées, nous pouvons (**50**) prendre comme unités les longueurs **a**, **b**, **c** que cette face coupe sur les trois arêtes (1).

Toute autre face coupera sur les mêmes arêtes (2) des segments qui, comparés à **a**, **b**, **c**, satisferont à la loi de rationalité.

(1) Ces paramètres **a**, **b**, **c** seront donc des multiples ou des sous-multiples des paramètres vrais a, b, c. L'étude des cristaux par les rayons X permet de préciser ces derniers en valeurs absolues.

(2) Ou sur des directions parallèles.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

D'ailleurs, comme l'orientation seule des faces est intéressante (**49**), il suffira de connaître les *rapports* **a : b : c** des paramètres, ce qui permettra de dessiner un prisme semblable au prisme primitif choisi et toute autre face du cristal sera déterminée par son orientation dans le prisme, ce qui permettra de lui donner une notation.

Les faces ayant même notation dans le système de Lévy sont celles qui, du fait de l'existence de l'une d'entre elles, se répètent en vertu de la loi de symétrie (**62**).

64. — Un cristal peut donc être complètement constitué par des faces ayant même notation : le cube est formé de six faces qui dépendent l'une de l'autre (**45**) et la notation du cube est p ; le cristal peut aussi être constitué par des faces de notations différentes : *pm* dans le prisme orthorhombique (**41**), *pmt* dans le prisme clinoédrique (**38**).

Nous avons indiqué précédemment (**39** à **45**) les formes des prismes que l'on a choisis pour caractériser les sept systèmes cristallins et qui sont les *prismes primitifs*.

65. — Une troncature d'un angle ou d'une arête d'un prisme primitif peut amener l'existence d'un nombre de faces suffisant pour constituer une forme complète : l'octaèdre du système cubique est formé par huit faces, troncatures droites (**60**) (normales aux Λ^3) des angles a et coupant par conséquent des segments égaux sur les arêtes du cube ; la notation de l'octaèdre est donc a^1. L'octaèdre est une *forme dérivée* du cube.

66. — Dans le système cubique, du fait que les arêtes du cube sont égales entre elles (**a = b = c**), quelles que soient les dimensions du cube primitif, chaque face a^1 fera toujours le même angle (54°44′) avec une face p, ou encore deux faces a^1 feront toujours entre elles le même angle (70°32′). En d'autres termes, les formes de même notation font, dans ce système, toujours les mêmes angles entre elles.

67. — Il n'en est pas de même dans les autres systèmes.

Considérons, par exemple, un prisme *pm* à base carrée (fig. 50) : ses arêtes basiques b sont égales entre elles mais leur longueur (que nous désignons par **b**) est différente de la longueur **h** des arêtes

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

verticales *h*. Voyons à quelle forme dérivée donne lieu la troncature b^1, interceptant sur une arête *b* la longueur **b** et sur l'arête *h* la longueur **h**, ou, ce qui revient au même, des longueurs égales aux moitiés de ces unités, c'est-à-dire à $\frac{\mathbf{h}}{2}$ et $\frac{\mathbf{b}}{2}$. Cette troncature est ACDE. qui, en vertu du Λ^4, se répétera sur les trois autres arêtes basiques *b* supérieures et, en vertu du Π sur les quatre arêtes basiques inférieures. On obtiendra donc une double pyramide à quatre faces, comme on le voit aisément sur la figure, ces deux pyramides se rencontrant suivant un carré DEFG : ce solide est un *quadroctaèdre* ; il sera évidemment plus ou moins allongé suivant que la longueur **h** sera plus ou moins différente de la longueur **b**. D'ailleurs, ses dimensions réelles importent peu ; ce qui importe, c'est le *rapport* de sa hauteur OO′ au côté DF du carré de base et ce rapport dépend évidemment du rapport $\frac{\mathbf{h}}{\mathbf{b}}$ du prisme primitif. Or, chaque minéral cristallisant dans le système quadratique a une forme primitive pour laquelle ce rapport possède une valeur déterminée qui caractérise l'espèce.

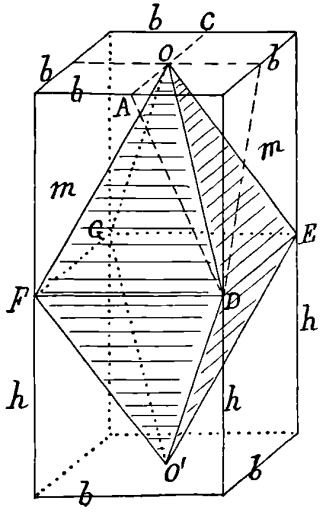


Fig. 50.

Comment préciser cette valeur ? Nous ne pouvons mesurer les dimensions de la maille fondamentale du réseau, mais l'étude d'une modification *quelconque* se présentant sur un cristal nous permettra d'établir, entre **b** et **h**, un rapport tel que toutes les autres modifications que l'on observera sur les cristaux de même espèce devront avoir des notations satisfaisant à la loi de rationalité (**50**).

Prenons, comme exemple, le *zircon* ($ZrSiO^4$) qui, cristallisant dans le système quadratique, présente *très fréquemment* la forme de la figure 51 ; on y reconnaît un prisme quadratique *m* surmonté d'un quadroctaèdre *b* ; deux faces *m* adjacentes font entre elles l'angle de 90° et l'angle d'une face *m* avec la face *b* supérieure est égal à 47°50′ ; or, comme on trouve très souvent

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

des cristaux de zircon de cette forme, on peut admettre (**50**) que la notation de la face *b* est très simple ; comme elle est certainement due à la troncature d'une arête basique du prisme, dans la position que nous lui avons donnée, *nous supposerons* que sa notation est b^1, c'est-à-dire qu'elle coupe sur les arêtes OX et OY du prisme des longueurs précisément égales à **b** et **h** ; dans ces conditions, le triangle OXY, où l'on connaît l'angle OYX = 47°50′, permet de calculer le rapport $\frac{\mathbf{h}}{\mathbf{b}}$ que l'on trouve égal à 0,9056.

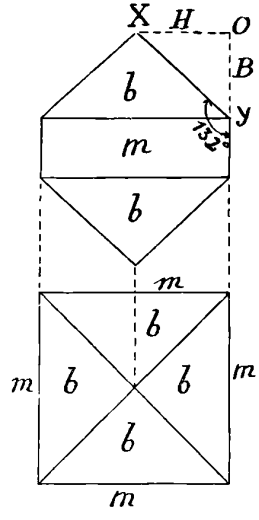


Fig. 51.

Cette valeur, admise pour le zircon, permettra de préciser les notations de toutes les autres troncatures que l'on trouvera dans les cristaux de ce minéral ; ainsi, le cristal de la figure 52 qui représente une combinaison très commune, a pour notation :

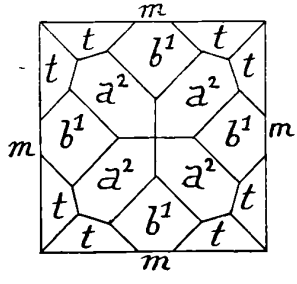


Fig. 52.

$$m.b^1.a^2.t(b^1 b^{\frac{1}{2}} h^1).$$

En effet, en mesurant les angles que les diverses faces font, soit avec les faces *m*, soit entre elles, on a d'abord reconnu les faces b^1 à l'angle de 47°50′ qu'elles font avec les faces *m* adjacentes ; les mesures pour les autres faces ont permis de déterminer, par des calculs plus ou moins simples, les rapports des segments qu'elles coupent sur les arêtes du prisme et, par conséquent, de préciser leurs notations. En partant ensuite de ces notations, on a calculé quelles sont exactement les valeurs des angles des faces entre elles dans le cas où $\frac{\mathbf{h}}{\mathbf{b}}$ = 0,9056 et l'on peut dresser le tableau de correspondance suivant, qui est très satisfaisant.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

	Angles calculés	Angles mesurés
m b^1 adj.	47°50′	47°45′
m a^2 sur t	67°35′	67°40′
b^1 a^2 adj.	28°20′	28°30′
t t de côté	32°57′	33°
b^1 t	29°57′	29°58′

On aurait d'ailleurs pu donner une autre notation, telle que b^2, à la face que nous avons notée b^1 ; dans ce cas, le rapport $\frac{h}{b}$ aurait changé de valeur et les notations des autres formes, telles que a^2 et t, auraient également été modifiées ; elles auraient cependant toujours satisfait à la loi de rationalité (**50**).

68. — Le but du *calcul cristallographique* est de déterminer les dimensions du prisme primitif lorsqu'on donne à certaines faces des notations déterminées (compatibles avec leur position relativement aux éléments de symétrie) et de rechercher, dans un prisme de dimensions connues, les notations de faces faisant des angles déterminés avec des faces de notations connues.

Nous donnons en annexe (1) un exposé et des exemples des méthodes employées en cristallographie pour résoudre ces problèmes.

De tout ce qui précède on peut conclure, entre autres, qu'il importe de mesurer le plus exactement possible les angles que font entre elles deux faces quelconques d'un cristal. Les méthodes employées pour cette mesure sont exposées plus loin (§ 11).

§ 7. — ZONES

69. — Lorsque les faces cristallines se coupent suivant des droites parallèles, on dit que ces faces sont en zone. Ainsi, les faces m du prisme hexagonal (fig. 36) sont en zone ; de même, une face a^2 et les deux faces adjacentes b^1 du cristal de zircon de la figure 52 sont en zone.

§ 8. — MÉRIÉDRIE

70. — La blende (ZnS) cristallise dans le système cubique ; cependant certains cristaux, au lieu d'avoir les huit angles du

(1) Voir compléments nos **519 à 543.**

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

cube modifiés par la troncature a^1, ainsi que l'exigerait la loi de symétrie, ont seulement quatre angles modifiés, comme le montre la figure 53 : et ce sont toujours deux angles supérieurs opposés et deux angles inférieurs, alternes des deux premiers. Ce fait semble contraire à la loi de symétrie, car on doit en déduire que les angles modifiés ne sont pas semblables aux quatre angles non modifiés ; si l'on désigne, par exemple, les premiers par *a*, on devra désigner les seconds par A ; cette notation montre que, dans le cristal, les II n'existent pas et que les Λ^4 sont remplacés par des L^2, de sorte que le centre n'existe plus et que le symbole de symétrie du cristal est :

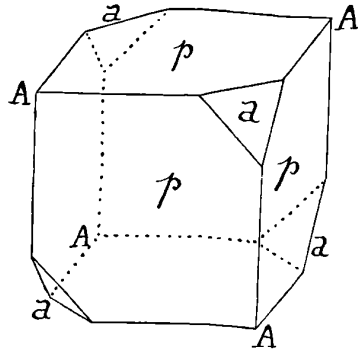


Fig. 53

$$3L^2,\ 4\Lambda^3,\ 6P,$$

ce qui, à première vue, ne rentre pas dans les sept réseaux cristallins (**38**).

71. — On peut expliquer ce fait si, dans la construction de l'édifice cristallin, on tient compte de la structure du motif (**29**) dont il a été fait abstraction jusqu'ici.

Nous avons vu que l'on devait considérer des cellules sans symétrie ; mais en s'associant entre elles, ces cellules donnent naissance à la véritable unité du milieu cristallin, le *motif*, qui peut d'ailleurs exister en dehors du réseau, à l'état libre ; le motif peut être conçu comme un polyèdre et peut posséder des éléments de symétrie ; ces éléments de symétrie sont soumis à certaines lois, mais ces lois sont moins étroites que celles qui régissent les réseaux. Il peut notamment posséder des axes de symétrie hélicoïdaux, c'est-à-dire opérant la substitution par une rotation suivie d'une translation.

Cela posé, *le motif se place aux nœuds du réseau qui possède le plus d'éléments de symétrie communs avec lui.* Or, ce que nous voyons dans le cristal, ce sont les éléments de symétrie *communs au réseau et au motif.* Des motifs qui possèdent quatre axes ternaires et trois axes quaternaires se placeront aux nœuds d'un

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

réseau cubique, de telle façon que les Λ^4 du réseau soient parallèles aux Λ^4 de la particule ; et de même pour les Λ^3.

Mais le motif, tout en conservant les Λ^3, peut ne posséder que trois L^2 perpendiculaires entre eux ; cela arrivera s'il a la forme d'un *tétraèdre* (fig. 54), solide à quatre faces triangulaires, où les trois L^2, perpendiculaires entre eux, aboutissent aux milieux des arêtes et où chaque Λ^3 aboutit, d'un côté à un sommet, de l'autre à la face opposée ; dans l'édifice cristallin, ces tétraèdres

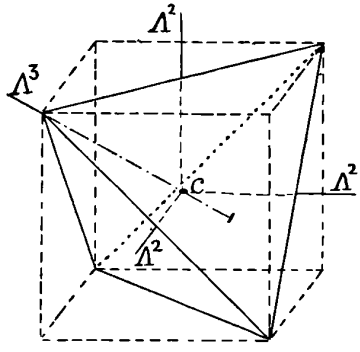


Fig. 54.

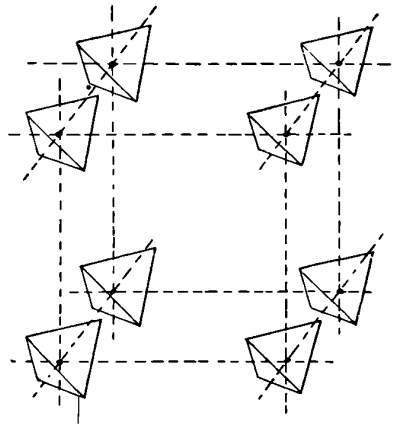


Fig. 55.

se placeront (fig. 55) aux nœuds d'un réseau cubique, avec leurs Λ^3 parallèlement aux Λ^3 du réseau, les trois L^2 prenant la place des Λ^4 du réseau. On comprend que, dans ces conditions, l'état physique des angles a du cube soit différent de celui des angles A et cela explique l'anomalie apparente qui se présentait dans la blende.

72. — Les études entreprises à l'aide des rayons X ont permis de déceler la structure des motifs de nombreux cristaux et il en résulte que l'on a pu figurer les divers réseaux dessinés dans l'espace par les atomes composant la molécule. Par exemple, on a constaté que, dans un cristal de sel gemme (NaCl), les atomes de sodium sont placés aux nœuds d'un réseau cubique ainsi qu'au milieu des faces des cubes élémentaires (réseau n° 1) ; les atomes de chlore sont disposés de même façon sur un réseau cubique (réseau n° 2) et les deux réseaux s'interpénètrent (fig. 222) de telle façon que l'ensemble possède la symétrie com-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

plète du réseau cubique. — Dans la blende, les atomes de zinc d'une part, et les atomes de soufre, d'autre part, dessinent deux réseaux identiques aux réseaux n° 1 et n° 2 du sodium et du chlore dans le chlorure sodique ; seulement les deux réseaux s'interpénètrent de telle façon (fig. 224) que l'ensemble ne possède plus la symétrie complète du réseau cubique.

73. — Les cristaux peuvent donc présenter une symétrie *inférieure* à celle du réseau ; ils sont dits alors *mériédriques*. En partant de la symétrie de chaque réseau et en diminuant cette symétrie, tout en satisfaisant aux lois qui régissent les éléments de symétrie des polyèdres, on trouvera tous les symboles de symétrie pouvant se manifester dans les cristaux.

Lorsque le cristal possède tous les éléments du réseau, il est dit *holoédrique*. S'il ne les possède qu'en partie, il est dit *mériédrique* ; on peut distinguer plusieurs cas de mériédrie.

1° le cristal peut posséder tous les axes du réseau ; il ne peut en ce cas posséder aucun autre élément de symétrie sans retomber dans l'holoédrie ; c'est l'*hémiédrie holoaxe* ;

2° le cristal ne possède pas tous les axes du réseau mais le rétablissement d'un seul axe déficient entraînerait la réapparition de tous les autres ; c'est l'*hémiédrie non holoaxe*, qui peut être :

a) *parahémiédrique*, si le centre est conservé ;

b) *antihémiédrique*, si le centre est supprimé.

Chacun des groupes hémiédriques indiqué ci-dessus, pourra, de son côté, donner lieu à une nouvelle hémiédrie, holoaxe, para- ou antihémiédrique, qui constituera une *tétartoédrie* du groupe primitif. Une hémiédrie ou une tétartoédrie peut aussi se produire du fait que le A^6 ou le A^4 du réseau devient un A^3 ou un A^2 du cristal.

On démontre qu'une forme hémiédrique possède la moitié, et une forme tétartoédrique le quart, du nombre des faces de la forme holoédrique correspondante.

74. — Voici les divers symboles de symétrie présentés par les substances que nous étudierons dans cet ouvrage (1).

---

(1) Le nombre total des groupes holoédriques et mériédriques est 32 (voir compléments n^{os} **504** à **507**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Système	Symbole	Exemple
Clinoédrique	C	albite
Clinorhombique *holoédrique*	$L^2.C.P$	gypse
» *holoaxe*	L^2	saccharose
Orthorhombique *holoédrique*	$L^2.L'^2.L''^2.C.P.P'.P''$	barytine
» *holoaxe*	$L^2.L'^2.L''^2$	soufre
» *antihémiédrique*	$L^2.P'.P''$	calamine
Quadratique *holoédrique*	$\Lambda^4.2L^2.2L'^2.C\ \Pi.2P.2P'$	zircon
» *parahémiédrique*	$\Lambda^4.C.\Pi$	wulfénite
» *antihémiédrique*	$\Lambda^2.2L^2.2P'$	chalcopyrite
Hexagonal *holoédrique*	$\Lambda^6.3L^2.3L\ ^2.C.\Pi.3P.3P'$	béryl
» *parahémiédrique*	$\Lambda^6.C.\Pi$	apatite
» *antihémiédrique*	$\Lambda^3.3L^2.\Pi.3P'$	bénitoïte
Rhomboédrique *holoédrique*	$\Lambda^3.3L^2.C.3P$	calcite
» *holoaxe*	$\Lambda^3.3L^2$	quartz
» *parahémiédrique*	$\Lambda^3.C$	dioptase
» *antihémiédrique*	$\Lambda^3.3P$	tourmaline
Cubique *holoédrique*	$3\Lambda^4.4\Lambda^3.6L^2.C.3\Pi.6P$	galène
» *parahémiédrique*	$3\Lambda^2.4\Lambda^3.C.3\Pi$	pyrite
» *antihémiédrique*	$3\Lambda^2.4\Lambda^3.6P$	blende

§ 9. — DESCRIPTION DES SYSTEMES CRISTALLINS

75. — Le but de cette description est :

1° de préciser la position des divers éléments de symétrie existant dans chaque groupe de chaque système ;

2° d'étudier les formes des solides dérivés que l'on peut obtenir par troncatures des angles et arêtes ;

3° d'habituer aux diverses notations des formes dérivées et aux combinaisons variées de formes que les cristaux de chaque groupe peuvent présenter.

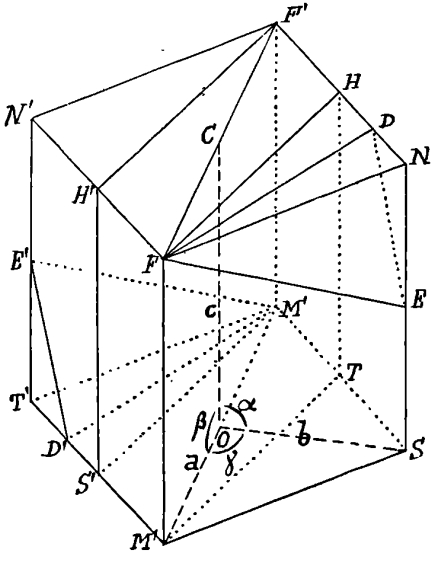


Fig. 56.

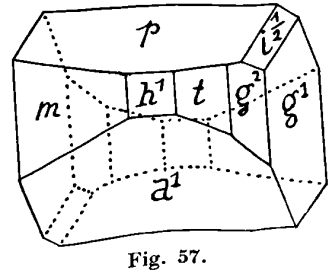


Fig. 57.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

A. — Système clinoédrique

76. — Le solide étant placé verticalement, avec une arête verticale en avant (fig. 56), on prend comme axes les longueurs OM′ = **a**, OS = **b** = 1, OC = **c** ; on désigne par α l'angle de **b** et **c**, par β l'angle de **a** et **c**, par γ l'angle de **a** et **b** ; ces trois angles sont inégaux. Les faces, les arêtes et les angles du prisme sont notés comme il a été exposé précédemment (**39**, fig. 28).

Le seul élément de symétrie étant le centre, une modification quelconque se répétera uniquement par rapport à ce centre : elle donnera donc *deux faces parallèles*. C'est ainsi que la face DFE, dont la notation est $c^{\frac{1}{4}}\, f^1\, g^{\frac{1}{2}}$ se répète symétriquement en M′E′D′ ; que la face HFTM′, ou g^2, se répète en H′F′M′S′. — Les faces g^1 sont parallèles à MFM′F′ et h^1 à NN′ST′.

Un cristal clinoédrique est donc toujours formé d'une combinaison de formes diverses, la même notation ne s'appliquant qu'à deux faces parallèles. Un exemple est donné dans la figure 57 qui présente la combinaison $m.h.t.g^2.g^1.p.a^1.i^{\frac{1}{2}}$, assez fréquente dans l'albite.

B. — Système clinorhombique

Groupe holoédrique : C.L^2.P.

77. — Le prisme primitif est placé verticalement, la face *p* inclinant vers le spectateur (fig. 58 ; voir aussi **40**, fig. 29). L'axe binaire est horizontal ; le plan de symétrie *aoao* lui est perpendiculaire ; l'angle antérieur des faces *m* peut être aigu ou obtus. Les axes sont OP = **a**, OQ = **b** = 1, OR = **c** ; les angles α et γ sont droits.

La notation du plan de symétrie est g^1 ; le profil de ce plan a la forme d'un parallélogramme (fig. 60).

L'arête *h* étant une arête simple (**60**), on doit distinguer la troncature droite h^1 d'une troncature oblique h^m qui donnera un biseau.

La troncature h^1 est normale au plan de symétrie g^1. Il en résulte que l'ensemble ph^1g^1 donnera (fig. 59) un prisme rectangulaire à base oblique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les biseaux h^m donneront des prismes verticaux. Il en sera de même des troncatures obliques des arêtes g, dont la notation sera g^m.

Les autres troncatures normales au plan de symétrie seront données par des troncatures symétriques des angles hémisymétriques a et o ; leurs notations seront a^m ou o^m (fig. 60).

Toutes ces faces, ainsi que la face p et la face h^1, se coupent entre elles parallèlement à l'axe binaire, c'est-à-dire horizontalement.

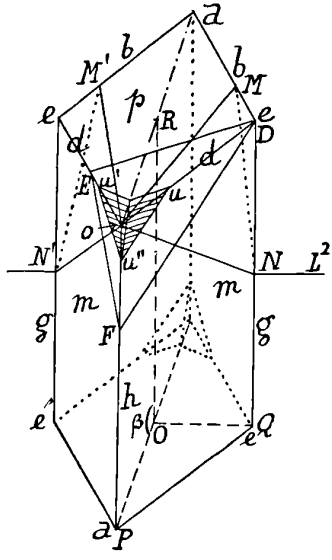


Fig. 58.

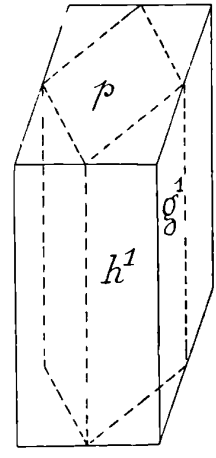


Fig. 59.

Toute autre modification se répétera d'abord symétriquement par rapport au P et ces deux faces, à cause de l'axe binaire, donneront deux autres faces parallèles ; par exemple : DEF (ou $d^1\ d^{\frac{1}{2}}\ h^{\frac{1}{3}}$) (fig. 58) se répète symétriquement par rapport au P donnant un biseau $uu'u''$ sur l'angle o, biseau qui se produira également sur l'angle o inférieur ; une modification telle que MoN (ou $b^{\frac{1}{3}}\ d^1\ g^{\frac{1}{2}}$) se produit symétriquement en M'oN' et ces deux troncatures des angles e supérieurs se répéteront sur les angles e inférieurs. Comme cas particulier, on peut noter : d^n, parallèle à l'arête d, en zone entre p et m ; b^n, parallèle à l'arête b, dans la même zone ; e^n, qui coupe des segments égaux sur les arêtes b

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et d, à partir de e et qui est en zone avec p et g^1, car e^m et g^1 couperont p parallèlement à la diagonale ao.

Le diopside présente souvent la forme de la figure 61, où l'on voit la combinaison : $p.o^1.a^1.d^{\frac{1}{2}}.d^{\frac{1}{4}}.h^1\ m.e^1.g^1$; la figure ne montre que la partie antérieure du cristal, les mêmes faces se répétant postérieurement, mais celles, telles que o^1, qui sont

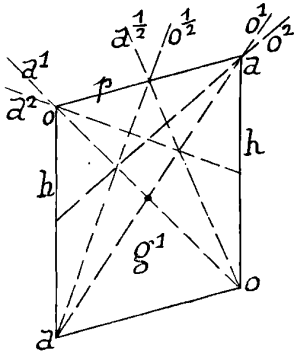


Fig. 60.

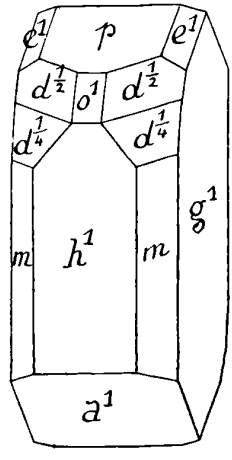


Fig. 61.

au-dessus se présentant alors en dessous. On trouvera d'autres exemples de cristaux clinorhombiques aux articles traitant du réalgar, de l'épidote, du sphène, de la monazite et du gypse; on remarquera que plusieurs de ces cristaux (fig. 510 et 541) sont allongés suivant l'axe binaire.

Groupe holoaxe : L^2

78. — On verra aisément (fig. 62) que les éléments de droite deviennent différents de ceux de gauche; par exemple, une

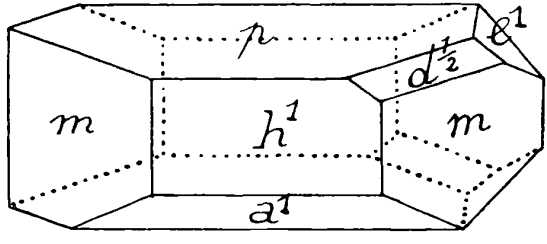


Fig. 62.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

troncature $d^{\frac{1}{2}}$ ou e^1 pourra seulement exister sur les deux arêtes d ou sur les deux angles e de droite.

Cette hémiédrie se présente dans la saccharose.

C. — Système orthorhombique

Groupe holoédrique : $L^2.L'^2.L''^2.C.P.P'.P''$.

79. — Le prisme primitif est placé verticalement (fig. 63) ,la face p horizontale et l'angle *obtus* des deux faces m devant le spectateur. Les trois axes binaires sont perpendiculaires entre eux, ainsi que les trois plans de symétrie. Les axes sont OP = **a**, OQ = **b**, OR = **c** ; les angles α, β, γ, qu'ils font entre eux, sont tous trois de 90° (voir aussi fig. 31).

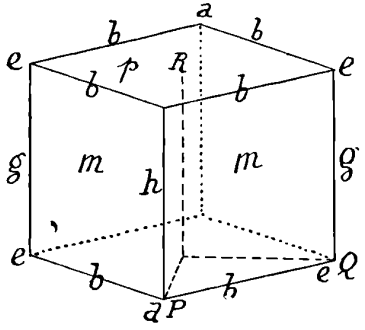


Fig. 63.

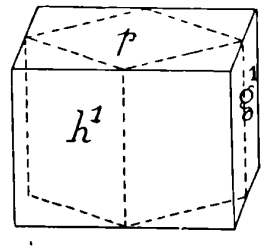


Fig. 64.

La notation du plan de symétrie P est p (base du prisme) ; celle de P' est h^1 ; celle de P'' est g^1 ; ces trois plans étant perpendiculaires entre eux, l'ensemble des troncatures h^1 et g^1, joint à p, donne un prisme rectangulaire droit (fig. 64).

Les modifications perpendiculaires aux plans de symétrie P' sont, en plus de g^1, des troncatures symétriques des angles e, de notation générale e^n (par exemple, e^4, e^2, e^1, $e^{\frac{1}{2}}$, etc.) De même les modifications perpendiculaires au plan P'' sont, en plus de h^1, des a^n. Enfin, les modifications perpendiculaires au plan P, c'est-à-dire à la base p, seront verticales et données, en plus de h^1 et de g^1, par troncatures obliques des

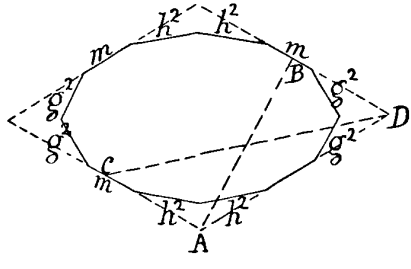


Fig. 65.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

arêtes h ou g ; la figure 65 montre l'ensemble $m\ h^2\ g^2$; chaque modification h^2 ou g^2 donne un *biseau* sur l'arête verticale qu'elle tronque.

Toute modification oblique à un plan de symétrie vertical se répétera par rapport à ce plan et donnera donc deux faces ; ces deux faces se répéteront, au-dessus, par rapport à l'autre plan de symétrie vertical ; on voit donc que l'on obtiendra un solide formé de quatre faces se coupant vers le haut et, par rapport à P, de quatre faces se coupant vers le bas ; ce sera une double pyramide à quatre faces dont la base sera un rhombe ; ce solide est appelé *rhomboctaèdre* ; la figure 66 montre le rhomboctaèdre formé par troncature d'une arête b ; une face de ce solide b^m est en zone entre une face p et une face m.

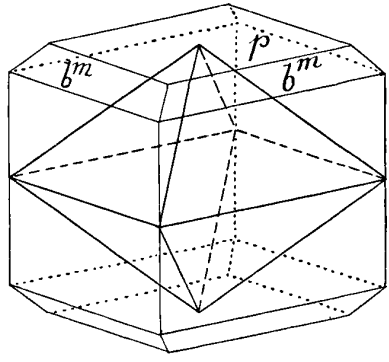


Fig. 66.

Les figures 67 et 68 montrent deux formes orthorhombiques ; la première représente un cristal de barytine du Rocheux ; la forme s est due à la modification $b^{\frac{1}{4}}\ b^1\ g^{\frac{1}{2}}$ de l'angle e ; la seconde représente un cristal de hopéite : la partie inférieure du cristal n'a pas été dessinée, parce que les cristaux sont implantés par cette extrémité dans la roche qui les porte. D'autres exemples se trouveront aux articles traitant de la stibine, de la brookite, de l'aragonite et de la cornétite.

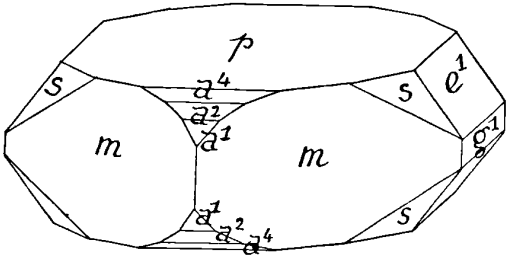


Fig. 67.

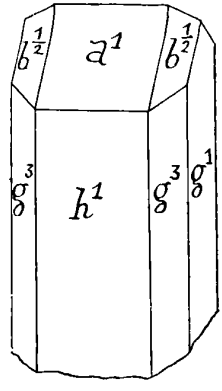


Fig. 68.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Groupe holoaxe : $L^2.L'^2.L''^2$.

80. — Dans un prisme orthorhombique ne possédant que ces éléments de symétrie (fig. 69), les quatre arêtes basiques ne sont plus de même espèce par suite de l'absence des plans P et P′ : nous les distinguons en les notant *b* et B et l'on voit sur la figure comment seront notés tous les éléments du solide. Il en résulte qu'une modification telle que B^m, par exemple $B^{\frac{1}{2}}$, ne se produisant pas sur les arêtes *b*, donnera un solide à quatre faces dont la forme est visible sur la figure : on l'appelle *sphénoïde*.

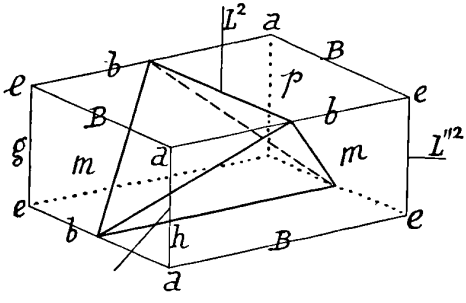


Fig. 69.

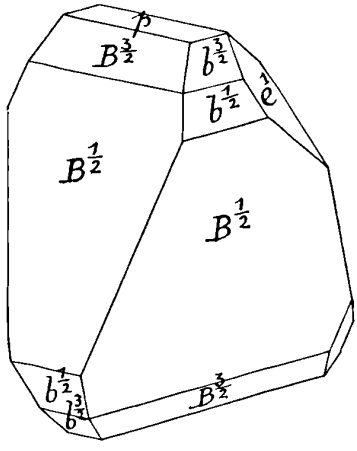


Fig. 70.

Les cristaux de soufre natif décèlent cette hémiédrie par le développement très inégal que prennent les faces b^m : quatre d'entre elles (fig. 70) sont beaucoup plus développées que les quatre autres.

Groupe antihémiédrique : $L^2.P'.P''$.

81. — Les plans de symétrie conservés sont les plans passant par un axe binaire L^2 (fig. 71) que l'on place verticalement. L'absence du centre, du plan horizontal P et des axes binaires horizontaux, fait que les éléments de la partie inférieure du prisme ne sont plus semblables à ceux de la partie supérieure ; c'est ce que montre le système de notation indiqué sur la figure. Il en résulte que les cristaux appartenant à ce groupe seront dissymétriques suivant l'axe vertical ; on le voit dans le cristal de calamine de la figure 72, terminé vers le haut par

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

les faces p, e^1 et $a^{\frac{1}{3}}$, vers le bas par les quatre faces d'un biseau $T = B^1B^{\frac{1}{3}}\ g^1$ sur chacun des deux angles E.

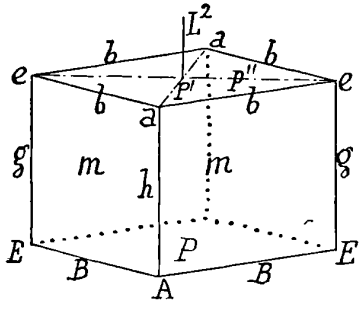


Fig. 71.

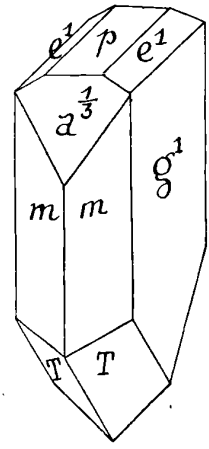


Fig. 72.

D. — Système quadratique

Groupe holoédrique : A^4. $2L^2$. $2L'^2$. C. Π. 2P. 2P'.

82. — La position des divers éléments dans le prisme a été exposée précédemment (**42**, fig. 33). On prend comme axes les deux arêtes basiques et l'arête verticale : les angles α, β et γ sont droits.

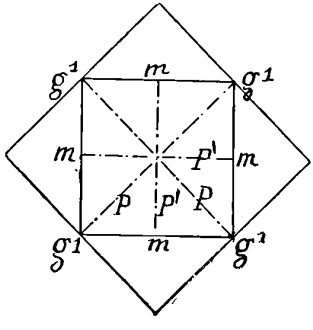


Fig. 73.

La notation des plans de symétrie P' est m ; ce sont les faces verticales du prisme primitif que l'on appelle prisme *direct*, par opposition au prisme quadratique formé par des plans parallèles aux plans P dont a notation est g^1 (fig. 73).

Les modifications perpendiculaires aux P' sont des b^m (fig. 74) dont l'ensemble donne un *quadroctaèdre direct*, double pyramide à base carrée. Les modifications perpendiculaires aux P sont des a^m, dont l'ensemble donne un solide analogue (fig. 75), que l'on appelle *inverse*, à cause de sa position dans le prisme primitif.

Un biseau sur les angles a (fig. 49) donnerait une double pyramide à 8 faces ou *dioctaèdre*. On voit, dans la figure 76, la combi-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

naison $m.t$ $(b^1 b^{\frac{1}{2}} g^1)$, commune dans le zircon de quelques sables du Congo.

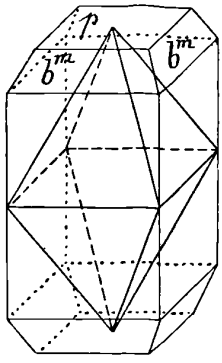


Fig. 74.

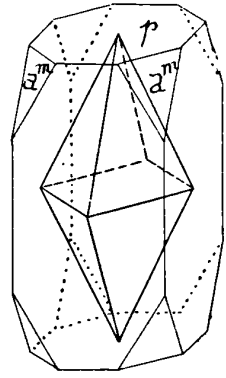


Fig. 75.

Dans la figure 77, qui représente un cristal d'idocrase, on voit les positions relatives de quadroctaèdres direct (b^1) et inverse (a^1) sur le prisme m modifié par l'inverse h^1 ; on y voit également des faces verticales h^2, dues à des biseaux sur des arêtes h. Autres exemples : la cassitérite, le rutile.

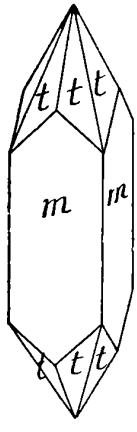


Fig. 76.

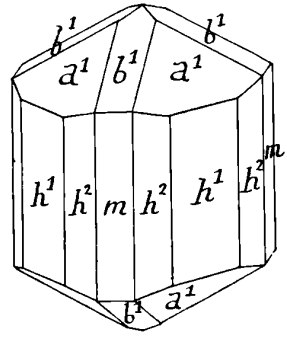


Fig. 77.

Groupe parahémiédrique : A^4. C. Π.

83. — L'absence des plans de symétrie P et P′ empêche la formation de biseaux sur les angles a ou sur les arêtes h. Il s'ensuit qu'une troncature oblique quelconque sur a ou

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

sur h ne donnera que quatre faces au lieu de huit. C'est ce qui se présente dans la schéélite dont la fig. 78 montre un cristal de combinaison $m.b^1.\ a^1.h^1.h^2.t\ (b^1b^{\frac{1}{2}}h^1)$: l'hémiédrie se manifeste par la présence de quatre faces h^2 et de quatre faces t au lieu de huit ; d'ailleurs, à cause du Π, la partie inférieure du cristal est symétrique de la partie supérieure.

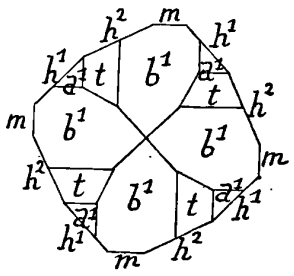


Fig. 78.

Groupe antihémiédrique : $\Lambda^2.\ 2L'^2.\ 2P.$

84. — Le Λ^4 est devenu un Λ^2 (fig. 79) ; les deux P ne sont pas perpendiculaires aux deux L'^2. On constatera aisément que, si les arêtes basiques b sont toutes semblables entre elles, à cause des P et du Λ^2, les angles ne sont pas de même espèce ; il y a deux angles a et deux angles A à la partie supérieure, qui se répètent vers le bas, en alternant le long des arêtes verticales.

Les b^m resteront donc des quadroctaèdres directs, mais les quadroctaèdres inverses se dédoubleront en solides à quatre faces ayant la forme de triangles isoscèles notés a^m ou A^m et appelés *sphénoèdres*.

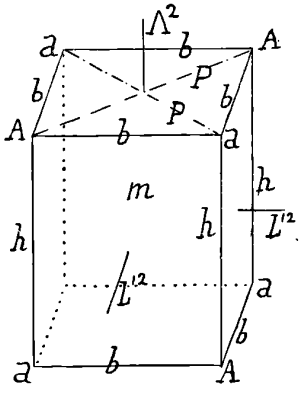


Fig. 79.

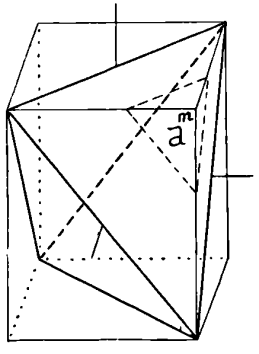


Fig. 80.

La figure 80 représente le sphénoèdre a^1. De même, un biseau sur l'angle a ne se répétera pas sur les angles A ; il donnera le *disphénoèdre* (fig. 81) ; ces formes sont fréquentes dans la chalcopyrite. D'ailleurs, le même minéral pourra montrer les deux formes

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

a^m et A^m, mais l'aspect physique des faces sera différent ; ainsi, la figure 82 montre un cristal de chalcopyrite de Visé présentant la combinaison : $p.a^5.a^1.A^1.m.b^{\frac{1}{2}}$; l'hémiédrie se reconnaît à ce que, en plus de la présence de faces a^5 n'ayant pas leurs symétriques, les faces a^1 sont striées, tandis que les faces A^1 sont unies et miroitantes.

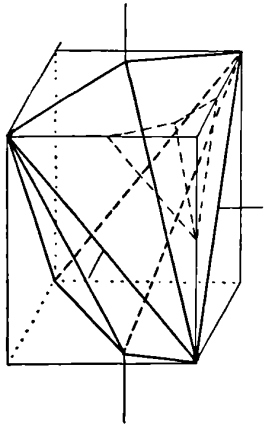


Fig. 81.

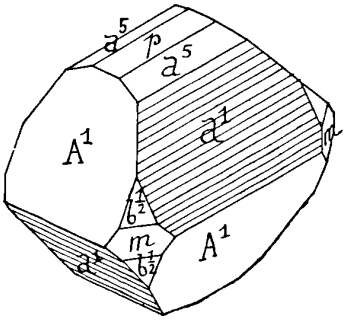


Fig. 82.

Les formes se produisant par modification de l'angle *a* de droite antérieur du prisme sont dites *formes droites*, tandis que celles se produisant par modification des angles A sont dites *formes gauches* ; l'ensemble tel que a^1 A^1, d'une forme droite et d'une forme gauche, c'est-à-dire des deux formes conjuguées, donnerait la forme holoédrique.

E. — Système hexagonal

Groupe holoédrique : $A^6.3L^2.3L'^2.C.\Pi.3P.3P'$.

85. — Les figures 26 et 27 (p. 33) montrent la disposition des éléments de symétrie. On prend comme axes des droites parallèles aux arêtes et les paramètres sont CM = CN = **a** et CO = **c** ; l'angle des deux axes CM et CN est de 120° ; l'angle de chacun de ces axes avec le troisième CO est de 90° (voir aussi fig. 34).

La discussion des formes dérivées est la même que dans le système quadratique, groupe holoédrique. Seulement, les quadroctaèdres sont remplacés par des *dihexaèdres*, doubles pyramides hexagonales, qui peuvent être directs (b^m) ou inverses (a^m). La

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

figure 83 montre un ensemble de formes sur un cristal d'émeraude ; on y voit : le prisme direct m, le prisme inverse h^1, la base p, deux dihexaèdres directs b^1 et $b^{\frac{1}{2}}$, un dihexaèdre inverse a^1 et un biseau, sur l'angle a, noté $v = b^1 b^{\frac{1}{2}} h^1$; ce biseau donne un *didodécaèdre*.

Groupe parahémiédrique : $\Lambda^6.C.\Pi$.

86. — Par suite de l'absence des P, une troncature oblique de l'angle a ne donne plus de biseau, mais une seule face, sur chaque angle, qui se répète symétriquement en dessous à cause du Π. De

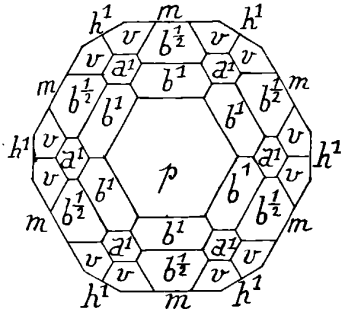


Fig. 83.

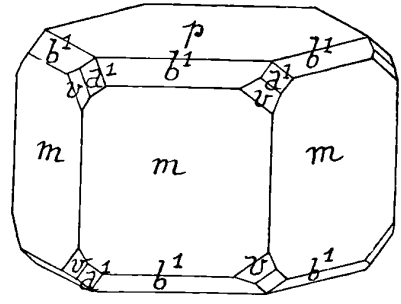


Fig. 84.

même, une troncature oblique de l'arête h ne donnerait qu'une seule face sur chaque arête. Les cristaux d'apatite montrent fréquemment cette hémiédrie ; la figure 84 représente l'un d'entre eux où elle se manifeste par le nombre et la position des faces $v = b^1 b^{\frac{1}{2}} h^1$ (1).

Groupe antihémiédrique : $\Lambda^3.3L^2.\Pi.3P'$.

87. — La figure 85 montre la position que nous donnons aux éléments de symétrie et les notations qui en résultent pour les éléments du prisme. On voit que :

1° si le prisme primitif m subsiste, le prisme hexagonal inverse se subdivise en deux prismes trigonaux h^1 et H^1 ;

2° le prisme dodécagonal se subdivise en prismes ditrigonaux h^m et H^m ;

(1) Il est facile de vérifier que cette forme v donne encore un dihexaèdre mais dont la position par rapport au prisme primitif n'est ni directe, ni inverse : c'est un dihexaèdre *anomal*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

3° les dihexaèdres directs b^m subsistent mais les dihexaèdres inverses deviennent des doubles pyramides trigonales (*trigonoèdres*) a^m et A^m ;

4° les didodécaèdres se subdivisent en doubles pyramides ditrigonales (*ditrigonoèdres*).

Cette hémiédrie se manifeste dans la bénitoïte, dont la figure 86 donne un exemple des cristaux.

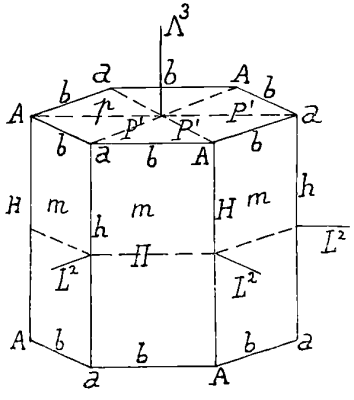


Fig. 85.

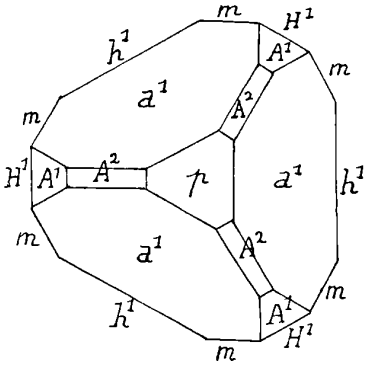


Fig. 86.

F. — Système rhomboédrique

Groupe holoédrique : $\Lambda^3.3L^2.C.3P$.

88. — Nous rappelons que le rhomboèdre comprend (fig. 35 et 36 et n° 44) six faces, deux à deux parallèles à cause du centre et notées *p*. Le nombre de ses arêtes est 12, toutes égales en longueur, mais devant être distinguées au point de vue cristallographique : six d'entre elles, marquées *b*, aboutissent par deux groupes de trois à l'axe ternaire, où chaque groupe forme un angle trièdre *a* ; les six autres, marquées *d*, réunissent les arêtes *b* entre elles en formant dans l'espace une figure en zig-zag qui, sur un plan perpendiculaire à l'axe ternaire, se projette suivant un hexagone régulier (fig. 36). Les trois axes binaires, qui se trouvent dans un même plan horizontal perpendiculaire au Λ^3, et qui font entre eux des angles de 60°, aboutissent au milieu des arêtes *d*. Chacun des plans de symétrie passe par deux arêtes *b* opposées et est perpendiculaire aux deux faces *p* opposées à ces deux arêtes *b*. La section faite dans le rhomboèdre par un plan de symétrie et que l'on appelle *section principale* a la forme (fig. 87) d'un parallélogramme.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On voit que la partie inférieure du rhomboèdre, limitée par les arêtes *d*, est identique à la partie supérieure, mais placée différemment ; la partie arrière du dessus du solide est devenue la partie antérieure du dessous. Il en sera de même dans toutes les formes dérivées.

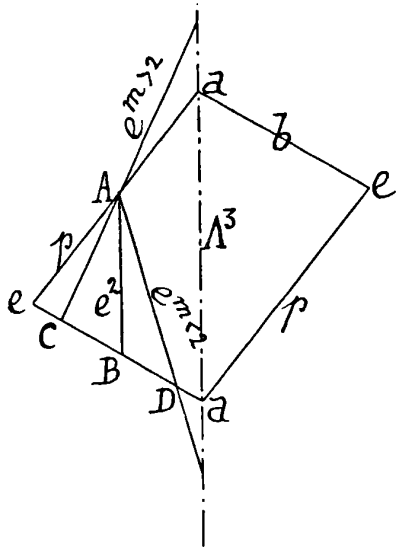


Fig. 87.

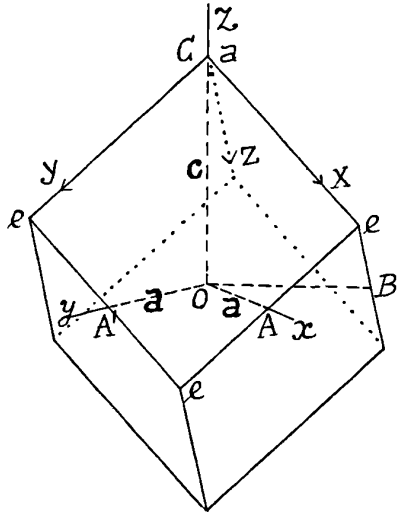


Fig. 88.

On prend souvent pour définir le rhomboèdre les paramètres **a** et **c** suivants : **a** est (fig. 87) la demi-longueur des axes binaires et **c** la demi-longueur de l'axe ternaire.

Dans l'étude de ces formes nous étudierons successivement les résultats des modifications faites perpendiculairement ou obliquement aux éléments de symétrie.

89. — On peut modifier le rhomboèdre par une face perpendiculaire au Λ^3 : cette face ABD, qui coupe sur les arêtes *b* (fig. 89) des longueurs égales, a pour notation a^1. Elle se répétera symétriquement en dessous par rapport au centre en A′B′D′. On appelle a^1 la *base* du rhomboèdre.

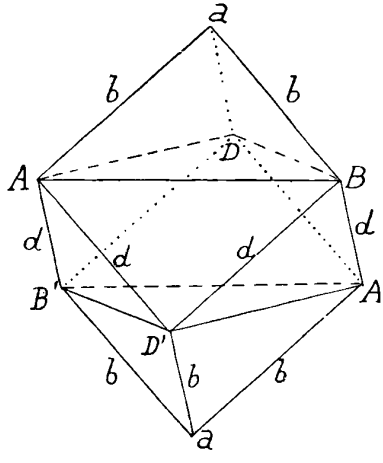


Fig. 89.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

90. — Les troncatures e^2 et d^1 donnent des prismes hexagonaux réguliers.

a) La troncature e^2 est dessinée en BCD sur le rhomboèdre de la figure 90 : la face e^2 coupe le plan de symétrie sui-

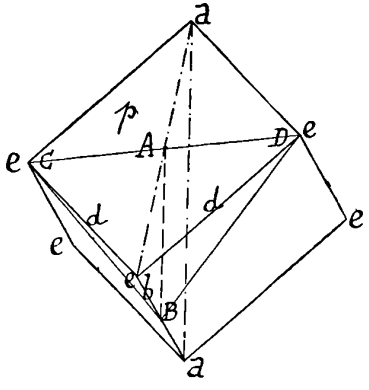


Fig. 90.

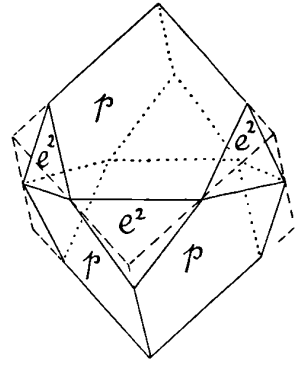


Fig. 91.

vant AB et, comme l'on a : $e\mathrm{A} = \mathrm{A}a$ et $e\mathrm{B} = \mathrm{B}a$, la droite AB est parallèle à l'axe ternaire vertical Λ^3 ; la face BCD est donc verticale ; or, il y a six angles *e* et la troncature de chaque angle est normale à un plan de symétrie ; comme les plans de symétrie font entre eux des angles de 60°, e^2 donne un prisme

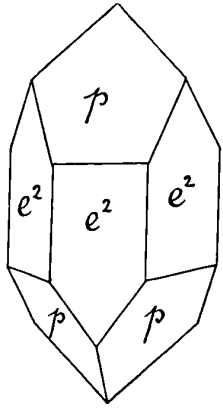


Fig. 92.

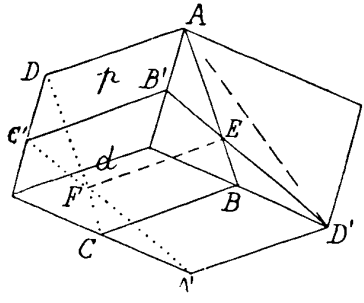


Fig. 93.

hexagonal régulier. Les figures 91 et 92 montrent la combinaison pe^2 avec les faces e^2 plus ou moins développées.

b) Chaque troncature d^1 est parallèle à un plan de symétrie : ou verra aisément, en effet, qu'elle peut être dessinée (fig. 93)

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

suivant le plan DAD'A'. Il y a six arêtes d et, par conséquent, on obtient également un prisme hexagonal régulier. La figure 94 représente la combinaison pd^1.

En comparant les figures 92 et 94, on constatera les différences des positions des prismes e^2 et d^1 relativement au solide primitif p. Le prisme e^2 est le prisme hexagonal *direct*, le prisme d^1 est le prisme *inverse*.

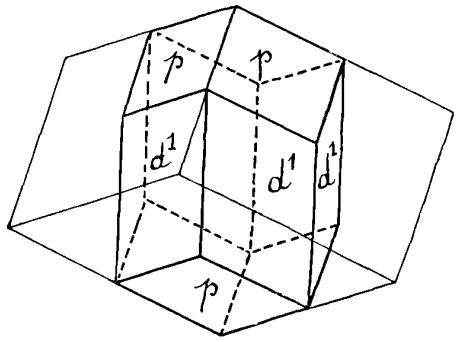


Fig. 94.

91. — Toute troncature normale à un plan de symétrie (autre que a^1 ou e^2) conduit à un rhomboèdre comme forme dérivée. En effet, cette troncature se reproduira trois fois en vertu du A^3 et donnera un trièdre qui aura son symétrique par rapport au centre; on obtiendra donc bien un solide à six faces deux à deux parallèles et possédant les éléments de symétrie

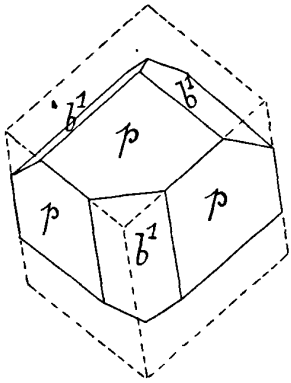


Fig. 95.

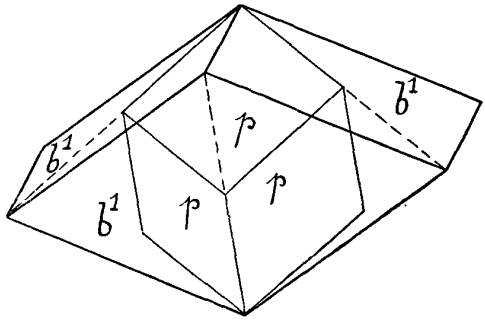


Fig. 96.

du rhomboèdre primitif. Mais ce rhomboèdre dérivé sera évidemment plus aigu ou plus obtus que le rhomboèdre p. Ces rhomboèdres seront obtenus par des troncatures symétriques e^n des angles e ou par des troncatures symétriques a^n donnant, sur les angles réguliers a des pointements à trois faces. Nous citerons trois cas remarquables :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

a) Une modification de l'arête b, qui coupe les segments égaux sur les autres arêtes aboutissant à l'angle a ou à l'angle e, est perpendiculaire au plan de symétrie passant par cette arête b. Sa notation est b^1 et la figure 95 représente l'ensemble pb^1. On voit, sur la figure 96 que b^1 donne bien un rhomboèdre mais ce rhomboèdre n'est pas placé semblablement au primitif p : c'est un rhomboèdre *inverse*.

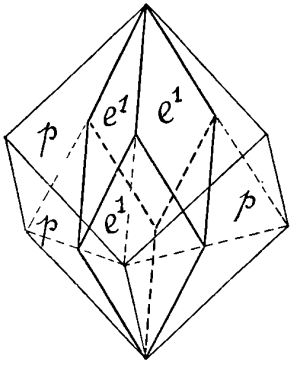


Fig. 97.

b) La figure 97 montre la position du rhomboèdre e^1 relativement au prisme primitif p ; on a ici aussi un rhomboèdre inverse.

On voit, par comparaison des figures 95 et 97 la différence de position des faces p sur les solides b^1 et e^1 : dans pb^1, une face b^1 est en zone entre deux faces p ; dans pe^1, c'est une face p qui est en zone entre deux faces e^1. Ces deux rhomboèdres b^1 et e^1 sont très fréquents dans la calcite.

c) La modification $e^{\frac{1}{2}}$ donne aussi un rhomboèdre inverse ; les six troncatures $e^{\frac{1}{2}}$ sont dessinées sur le primitif p dans la figure 98 : on voit que l'ensemble $pe^{\frac{1}{2}}$ a la forme d'une double pyramide hexagonale régulière : bien entendu, les caractères physiques des faces p seront, en général, différents de ceux des faces $e^{\frac{1}{2}}$.

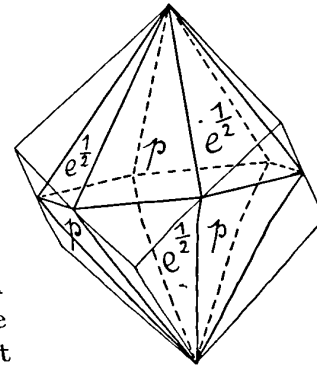


Fig. 98.

92. — Examinons maintenant ce que donne une modification de l'arête d autre que d^1.

En général, cette modification ABCD (fig. 93), de notation d^m, se répétera symétriquement, par rapport au L^2 qui passe par l'arête d, en A′D′B′C′ et donnera donc lieu à un biseau dont l'intersection EF sera parallèle à l'arête d ; ce biseau se répétera sur chaque arête d et l'on obtiendra un solide à 12 faces représenté sur la figure 99. C'est un *scalénoèdre* ;

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

on voit que les faces p coupent les faces du scalénoèdre d^m parallèlement à leurs intersections entre les faces supérieures.

Comme cas particulier, d^1 ne donnera sur chaque arête d qu'une seule face perpendiculaire au L^2 qui passe par cette arête ; d^1 est le prisme hexagonal cité plus haut (**90**).

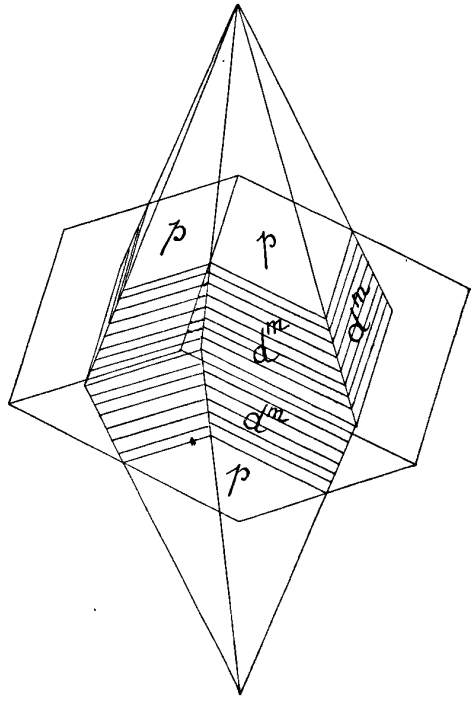


Fig. 99.

93. — Toute autre modification oblique à un plan de symétrie donnera généralement un scalénoèdre mais, contrairement à ce qui se passe pour d^m, les arêtes en zig-zag de ce solide ne seront plus parallèles aux arêtes d du rhomboèdre primitif.

Il pourra même se faire qu'une modification, de notation $b^{\frac{1}{q}}\, d^{\frac{1}{r}}\, d^{\frac{1}{s}}$ donne lieu à une face verticale, auquel cas le scalénoèdre devient un prisme dodécagonal (**518**).

94. — Il arrive également que les arêtes réunissant les parties supérieure et inférieure du solide dérivé ne soient plus en zigzag mais, se trouvant dans un plan horizontal, forment un hexagone régulier, de telle sorte que le solide prend l'aspect d'une double pyramide hexagonale régulière (fig. 100) dihexaèdre que l'on appelle ici un *isoscéloèdre* ; il paraît donc y avoir un Λ^6, mais les six arêtes culminantes ne sont pas semblables, comme on pourra le constater, par exemple, dans la calcite, à la présence des trois clivages p supérieurs qui s'appuient sur trois arêtes alternantes. Ce cas se présentera lorsque les faces modifiantes ($b^{\frac{1}{q}}\, b^{\frac{1}{r}}\, b^{\frac{1}{s}}$ ou $b^{\frac{1}{q}}\, d^{\frac{1}{r}}\, d^{\frac{1}{s}}$) seront en zone entre a^1 et d^1 (**518**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

95. — Mentionnons ici le solide formé par une troncature telle que ABC sur la figure **101** ; cette forme (**56**) a pour notation $b^1\ d^1\ \underline{d^m}$ ou e_m ; on remarquera que la face p est en zone entre e^m de droite (ABC) et e_m de gauche (ABC'). Cette forme est en général un scalénoèdre, mais e_3 donne un isoscéloèdre.

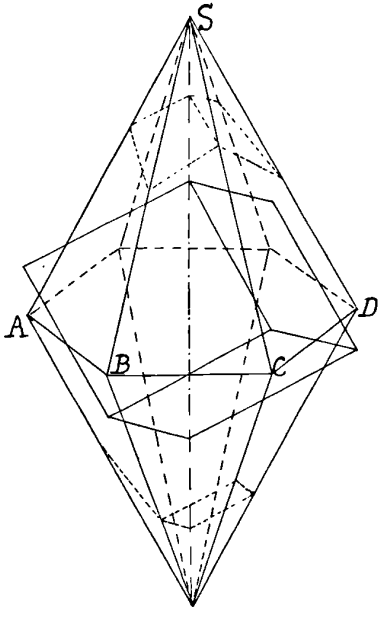


Fig. 100.

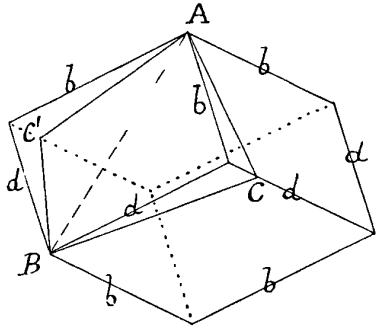


Fig. 101.

96. — Le tableau suivant résume la discussion précédente :

Angle *a*

- $a^1 = b^1\ b^1\ b^1$ — base
- $a^m = b^1\ b^1\ \underline{b^m}$ — rhomboèdre direct
- $\underline{a^m} = b^1\ \underline{b^m}\ \underline{b^m}$ — rhomboèdre inverse
- $\underline{b^q}\ \underline{b^r}\ \underline{b^s}$ — scalénoèdre ou isoscéloèdre

Arête *b*

- b^1 — rhomboèdre inverse
- b^m — scalénoèdre ou isoscéloèdre (b^2)

Arête *d*

- d^1 — prisme hexagonal inverse
- d^m — scalénoèdre

Angle *e*

- $e^{m>2} = d^1\ d^1\ \underline{b^m}$ — rhomboèdre direct
- $e^2 = d^1\ d^1\ \underline{b^2}$ — prisme hexagonal direct
- $e^{m<2} = d^1\ d^1\ \underline{b^m}$ — rhomboèdre inverse
- $\underline{b^q}\ \underline{d^r}\ \underline{d^s}$ { si $q + r + s = 0$ — prisme dodécagonal (**518**) ; si $2r = q + s$ — isoscéloedre (**518**) ; autres cas — scalénoèdre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La figure 102 montre la position relative des faces de diverses modifications. On y a dessiné, en plus de la base a^1, les faces du primitif p ; en zone entre deux faces p, on voit le rhomboèdre inverse b^1 et les faces de l'isoscéloèdre b^2 ; entre p et a^1 se trouvent, en zone, les petites faces du rhomboèdre direct a^4 et, dans la même zone, les faces du rhomboèdre direct e^4 et du prisme hexagonal e^2.

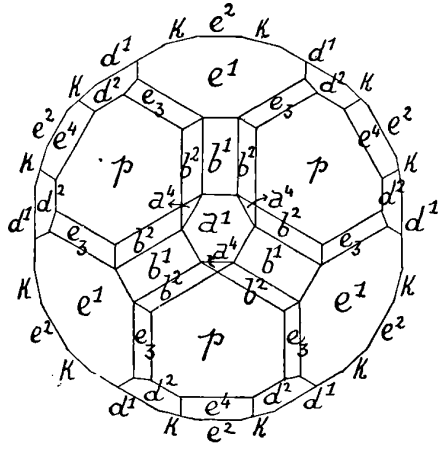


Fig. 102.

Dans la zone verticale, en plus de e^2, on voit le prisme inverse d^1 et le prisme dodécagonal $k = b^{\frac{1}{5}}\, d^1\, d^{\frac{1}{4}}$; entre d^1 et p, existe le scalénoèdre d^2 ; en zone entre les deux faces antérieures d^2, se retrouve la face e^4, et, entre deux faces latérales d^2, la face du rhomboèdre inverse e^1. Entre p et e^1, existent les faces de l'isoscéloèdre e_3.

On trouvera, dans la description de la calcite, de nombreux exemples de combinaisons rhomboédriques.

Groupe holoaxe : $A^3.3L^2$.

97. — Le quartz appartient à ce groupe. Ses cristaux ont la forme (fig. 103) du prisme e^2 surmonté de la pyramide $pe^{\frac{1}{2}}$. L'hémiédrie se manifeste par la présence de petites faces $s = d^1\, d^{\frac{1}{4}}\, b^{\frac{1}{2}}$, en zone, d'une part entre p antérieure et e^2 latérale, d'autre part entre $e^{\frac{1}{2}}$ latérale et e^2 antérieure. Seulement, si ces facettes se trouvent en haut et en bas de la même verticale, on ne les voit que sur trois de ces arêtes ; or, si les P ou le C existaient, on devrait les retrouver en s'.

Le cristal représenté est un cristal *droit* ; si les facettes existaient sur les angles s' au lieu de s, le cristal serait *gauche*.

Dans ce groupe, les scalénoèdres deviennent des *trapézoèdres trigonaux*, les isoscéloèdres des *ditrièdres* et les prismes dodécagonaux des *prismes ditrigonaux*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Groupe parahémiédrique : $A^3.C$.

98. — La dioptase montre cette hémiédrie. Ses cristaux (fig. 104) offrent la combinaison pd^1 ; la présence des stries sur p, dans une seule direction parallèle à pd^1, montre déjà l'absence des P. De plus, il existe souvent, entre p et d^1, des faces d^3 qui se trouvent sur les arêtes marquées d et non sur les arêtes marquées d', et la position de ces faces d^3 montre que le centre C existe dans le cristal.

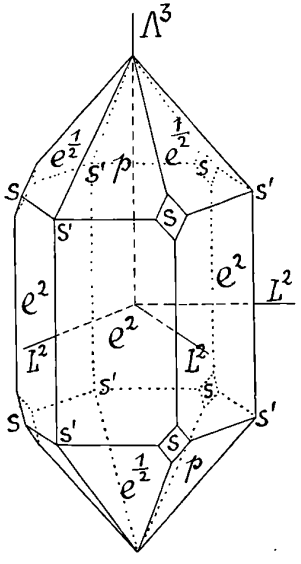


Fig. 103.

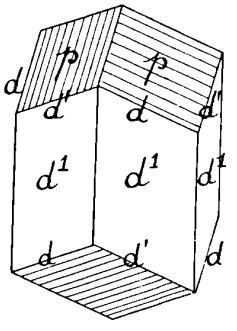


Fig. 104.

Groupe antihémiédrique : $A^3.3P$.

99. — C'est un groupe analogue à celui de la calamine (**81**). L'absence du centre C et des axes L^2 fait que les parties supérieure et inférieure du rhomboèdre primitif (fig. 105*a*) ne sont plus semblables ; aussi, l'on distinguera l'angle *a* de l'angle A, les arêtes *b* des arêtes B ; il se fera de même qu'une modification oblique d^m d'une arête *d*, inclinée vers le haut, ne se produira pas vers le bas, ce que l'on notera en désignant chacune de ses arêtes par *d*D ; enfin, si les trois angles *e* supérieurs sont semblables, les angles inférieurs leur sont différents et seront notés E.

Il s'ensuit qu'au lieu du prisme hexagonal e^2, on aura deux prismes trigonaux e^2 et E^2 (en général diversement développés). Ceci est très fréquent dans la tournamine, dont les cristaux prismatiques ont souvent une section triangulaire due à la présence de trois faces E^2 largement développées. De plus la partie supé-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

rieure du cristal (fig. 105*b*) présente toujours des formes différentes de la partie inférieure.

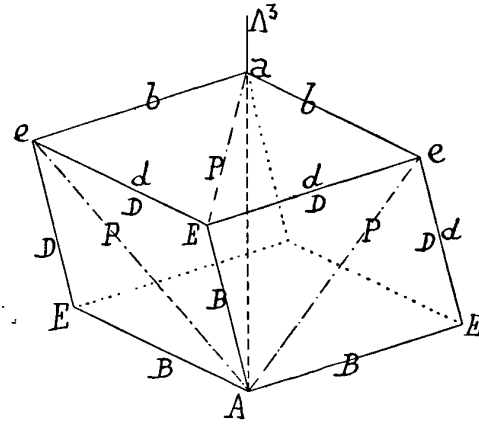


Fig. 105*a*.

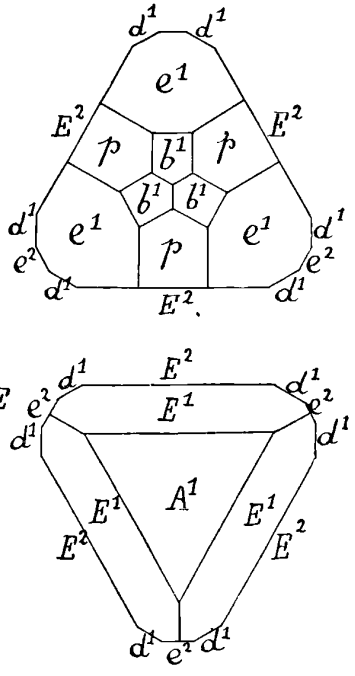


Fig. 105*b*.

G. — Système cubique

Groupe holoédrique : 3Λ⁴. 4Λ³. 6L². C. 3Π. 6P.

100. — On a exposé précédemment (**45**, fig. 37) la position des éléments de symétrie dans le cube. Ici, les trois axes sont

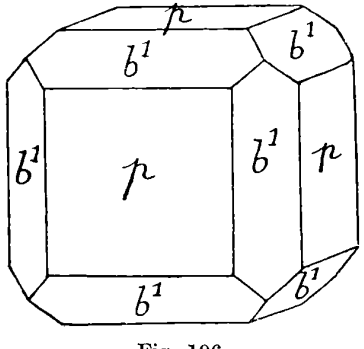


Fig. 106.

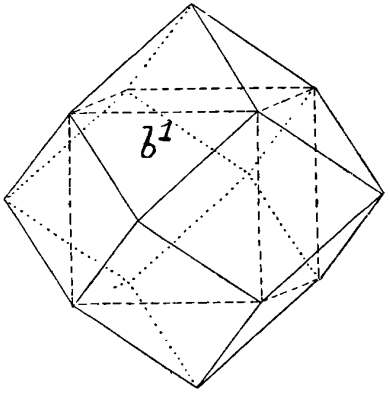


Fig. 107.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

égaux entre eux : $\mathbf{a} = \mathbf{b} = \mathbf{c} = 1$ et les angles α, β et γ sont droits.

L'arête *b* du cube peut porter une troncature perpendiculaire à l'axe de symétrie L^2 et au plan de symétrie P qui passe par cette arête ; sa notation est b^1. Chaque arête (fig. 106) est remplacée par une face et le solide dérivé (fig. 107) est le *rhombododécaèdre*, dont chaque face est un rhombe (ou losange). L'angle de deux faces adjacentes est de 120° ; l'angle de deux faces opposées par rapport au A^4 est de 90° ; l'angle d'une face b^1 avec une face *p* du cube est de 45°.

Une troncature oblique b^m donnera, sur chaque arête, un biseau ; l'ensemble formera donc un solide à 24 faces (fig. 108) que l'on appelle *hexatétraèdre*.

101. — L'angle *a* peut porter quatre espèces de troncatures (**60**).

La troncature perpendiculaire au A^3, et qui est en même temps perpendiculaire aux trois P passant par le A^3, est a^1. Elle ne donne qu'une seule face sur chaque angle. L'ensemble est *l'octaèdre* (fig. 6 et 7).

L'angle *a* peut aussi porter une troncature oblique au A^3, mais perpendiculaire à un P. Sa notation sera a^m ; on doit distinguer suivant que *m* est plus grand ou plus petit que 1.

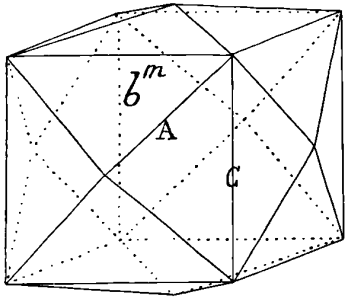


Fig. 108.

Si *m* est plus grand que 1 (a^2, a^3, $a^{\frac{3}{2}}$, etc.), la troncature est ADC (fig. 109) qui se répète symétriquement en ABF, DBE ; ces trois faces se coupent, deux à deux, en AI, DI et BI, le point I se trouvant sur l'axe ternaire ; l'angle est modifié par un pointement ABDI s'appuyant sur les faces du cube ; le solide dérivé est le *trapézoèdre* (fig. 110).

Si *m* est plus petit que 1 ($a^{\frac{1}{2}}$, $a^{\frac{1}{3}}$, $a^{\frac{1}{4}}$, etc.), la troncature ABC (fig. 111) se répète aussi en ADF, BDE ; ces trois faces se coupent deux à deux, en MI, IT, IN, le point I se trouvant sur l'axe ternaire : l'angle est modifié par un pointement à trois faces s'appuyant sur les arêtes du cube ; le solide dérivé est l'*octotrièdre* (fig. 112).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

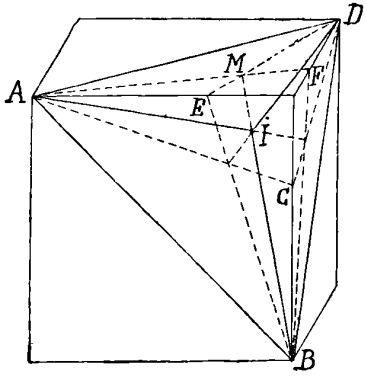


Fig. 109.

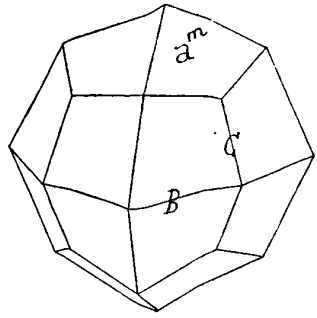


Fig. 110.

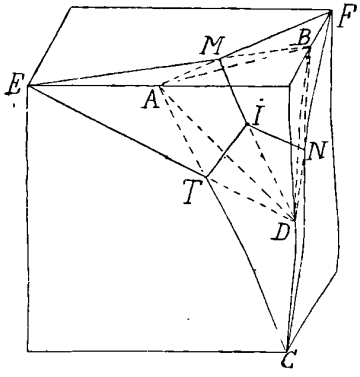


Fig. 111.

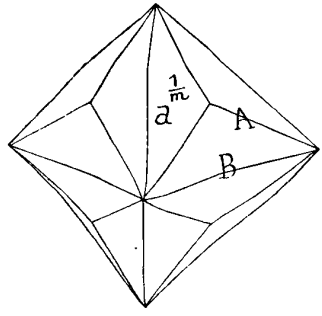


Fig. 112.

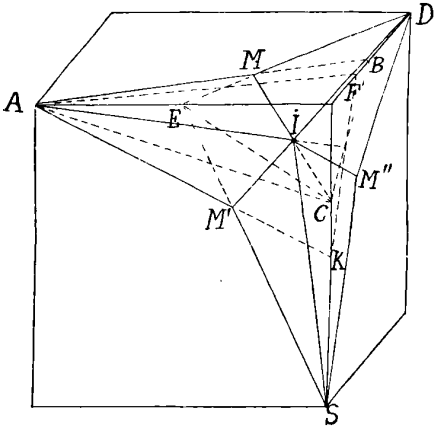


Fig 113.

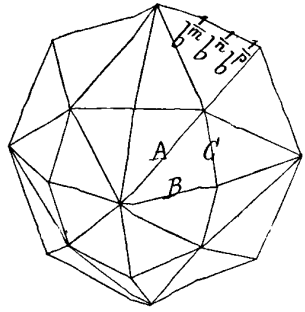


Fig. 114.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Enfin, l'angle a peut être modifié par une troncature ($b^{\frac{1}{m}}\ b^{\frac{1}{n}}\ b^{\frac{1}{p}}$) coupant, sur les trois arêtes du cube, des segments inégaux. Ce sera, par exemple (fig. 113) la face DEC ; elle se répétera symétriquement par rapport à un P en ABC et, à cause du Λ^3, ces deux faces AMID, se répéteront en AM'IS et DISM'' ; il se formera ainsi, sur l'angle a, un pointement sextuple ; le solide dérivé (fig. 114) est un *dodécatétraèdre.*

102. — Ces différents solides dérivés se montrent dans plusieurs minéraux ; nous citerons les grenats, la leucite, la fluorine.

On trouve aussi des combinaisons de formes, notamment dans les grenats, où se présente fréquemment la combinaison b^1a^2 ; on observera que chaque face a^2 se trouve en zone entre deux faces adjacentes b^1.

Groupe tétraédrique : $3\Lambda^2.\ 4\Lambda^3.\ 6P.$

103. — Les Λ^2 (fig. 115) remplacent les Λ^4 ; par suite de l'absence des Π et du C, les angles du cube sont de deux espèces différentes : a et A. Mais à cause des P, les arêtes b sont toutes de même espèce.

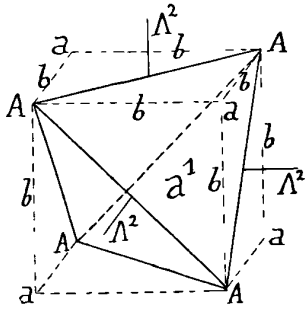


Fig. 115.

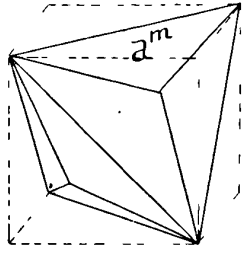


Fig. 116.

Les modifications b^1 et b^m donnent donc le rhombododécaèdre et les hexatétraèdres, comme dans le groupe précédent, mais les modifications des angles ne s'effectueront que sur quatre angles au lieu de huit :

a^1 devient un *tétraèdre* (fig. 115) ;
a^m devient un *tétratrièdre* (fig. 116) ;
$a^{\frac{1}{m}}$ devient un *trapézododécaèdre* (fig. 117) ;
$b^{\frac{1}{m}}b^{\frac{1}{n}}\ b^{\frac{1}{p}}$ devient un *tétrahexaèdre* (fig. 118).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

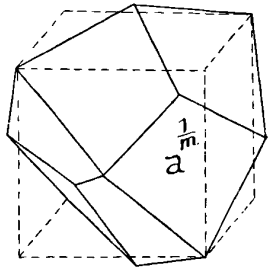


Fig. 117.

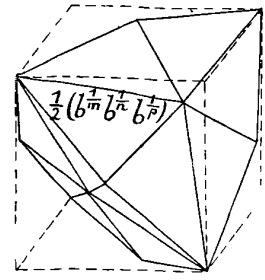


Fig. 118.

Ces formes se trouvent dans la tétraédrite et la blende. On peut d'ailleurs trouver des cristaux portant à la fois les mêmes troncatures des angles *a* et A. La figure 119 montre la combinaison a^1 A^1, dont l'ensemble conduit géométriquement à l'octaèdre ; seulement, dans les cristaux tétraédriques, les faces a^1 seront physiquement différentes des faces A^1 ; les unes seront unies et miroitantes, les autres ternes et striées.

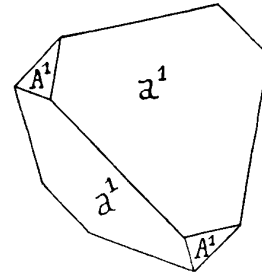


Fig. 119.

Groupe hexadiédrique : $3\Lambda^2$. $4\Lambda^3$. C. 3Π.

104. — Les Λ^2 remplacent également les Λ^4, mais, à cause du centre C et des Π, les angles restent tous de même espèce. On pourrait croire que, les arêtes se remplaçant l'une l'autre à cause des Λ^3, il n'y a pas de différence avec le groupe holoédrique, mais on notera que, le L^2 et le P n'existant plus, l'arête *b* ne sera plus

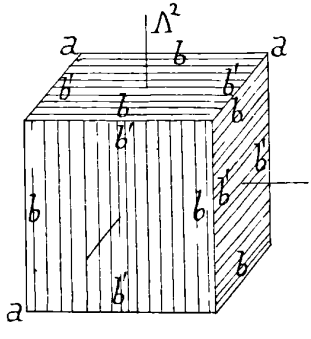


Fig. 120.

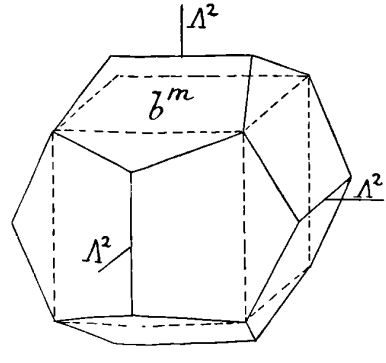


Fig. 121.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

simple (**60**) et qu'une troncature oblique ne donnera plus un biseau ; on peut noter cette différence en indiquant chaque arête par les lettres *bb'* (fig. 120).

La troncature b^m conduit à l'*hexadièdre* (fig. 121) ; on peut d'ailleurs distinguer physiquement b^m et b'^m. L'hexadièdre se note généralement : $\frac{1}{2}\ b^m$. Les dodécatétraèdres sont remplacés par des *dodécadièdres* (fig. 122).

La forme $\frac{1}{2}\ b^2$ est fréquente dans la pyrite (FeS^2), dont les cubes (fig. 120) décèlent l'hémiédrie par la présence des stries qui n'existent, sur chaque face, que dans une seule direction.

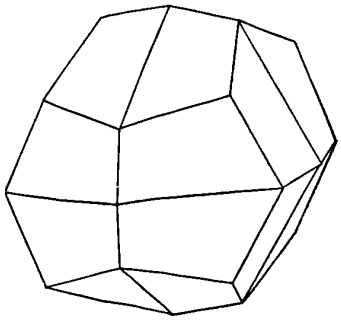


Fig. 122.

§ 10. — GROUPEMENTS DES CRISTAUX

105. — Les cristaux d'une même espèce minérale que l'on trouve dans un même gisement offrent généralement des formes identiques ; ces formes varient au contraire d'un gisement à l'autre. Par exemple, la galène se présentera, dans un filon, en cristaux cubiques, dans un autre, en cristaux octaédriques. Certaines formes sont caractéristiques d'un gisement déterminé.

Les cristaux se groupent souvent entre eux et ces groupements peuvent avoir une régularité soumise à des lois déterminées ; les groupements les plus réguliers portent le nom de *macles*.

Dans les associations régulières, les cristaux groupés sont toujours de même espèce, mais on rencontre aussi des associations d'espèces différentes.

106. — Des cristaux sont associés *en développement parallèle*, lorsqu'ils se trouvent accolés de façon que les faces de mêmes notations soient parallèles entre elles. Sauf dans le système cubique, ce mode de groupement ne peut se présenter que dans les cristaux de même espèce, puisque des cristaux d'espèces différentes présenteront en général des angles différents entre des faces de mêmes notations (**67**). Si petits que soient les cristaux offrant ce genre d'association, on peut reconnaître le développement parallèle en faisant miroiter à une vive lumière une face quelconque d'un des cristaux ; on voit alors miroiter en même temps toutes les faces analogues, et de même forme, des autres cristaux.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

107. — Il arrive que des cristaux d'une même substance, et tous de même forme, se groupent en donnant un ensemble d'une autre forme, qui, d'ailleurs, est une forme dérivée du même système. L'assemblage de la fig. 16, qui représente un octaèdre de fluorine formé par le groupement de cubes, est un exemple de ce genre d'association que l'on appelle *polysynthétique.*

108. — Il n'est pas rare qu'au cours de la cristallisation il y ait eu un arrêt, après lequel la même substance s'est déposée sur le cristal déjà constitué. Les deux formations peuvent avoir la même forme cristalline et elles se reconnaissent, par exemple, au dépôt très mince d'une autre substance, telle que de l'argile, qui recouvre le cristal intérieur et permet parfois de l'isoler entièrement du cristal enveloppant.

Sans qu'il y ait entre les deux cristaux un dépôt de matière étrangère, il arrive que la présence de substances en quantités infinitésimales donne aux deux formations des colorations différentes ; à Denée (Belgique), dans le marbre noir, on a trouvé des cubes violets de fluorine entièrement englobés dans des cubes jaunes de même minéral.

109. — Mais il peut se faire aussi que le cristal enveloppant, quoique de même espèce que le cristal interne, ait une forme

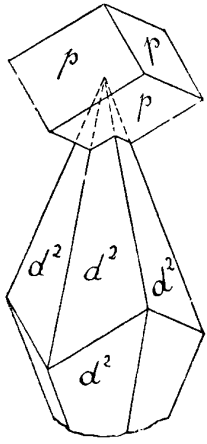


Fig. 123.

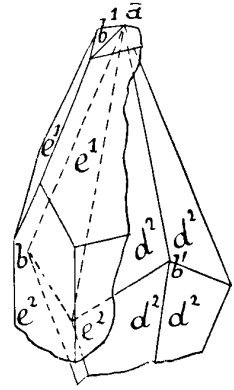


Fig. 124.

entièrement différente : la figure 123 représente un cristal de calcite formé du scalénoèdre d^2, surmonté, à son sommet, par un rhomboèdre p du même minéral ; les clivages, dans les deux

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

cristaux, sont parallèles entre eux, ce qui montre que tous les éléments de symétrie sont également parallèles : les deux cristaux ont même réseau mais ils sont limités par des plans réticulaires différents. Ces assemblages de cristaux sont dits à *axes parallèles*.

La figure 124 représente un autre groupement de ce genre très fréquent à Villers-en-Fagne (Belgique) : le scalénoèdre d^2 est entouré en partie par un cristal constitué par le prisme hexagonal e^2 surmonté des rhomboèdres inverses e^1 et b^1. Cesàro a décrit des groupements analogues, comportant jusqu'à trois cristaux, dans la calcite de Rhisnes (Belgique) ; ce savant a montré que, dans ces assemblages, les arêtes du cristal de première formation tendent à être remplacées, dans le cristal de première formation, par des faces qui leur sont parallèles. Cette loi se vérifie fréquemment et, si les notations des faces du second cristal sont compliquées, on peut souvent leur trouver des notations simples en les rapportant aux arêtes du premier cristal.

110. — Des cristaux d'espèces différentes, et cristallisant dans des réseaux différents, peuvent s'associer en *groupements semi-parallèles* ; dans ce cas, on trouve généralement que deux ou plusieurs faces du premier cristal font entre elles des angles à peu près égaux à ceux des faces du second cristal, auxquelles elles sont donc à peu près parallèles.

C'est ainsi (fig. 125) qu'un cristal de xénotime, quadratique, formé du quadroctaèdre a^1 terminé par la base p et portant de petites faces m, est traversé par un cristal de zircon quadratique,

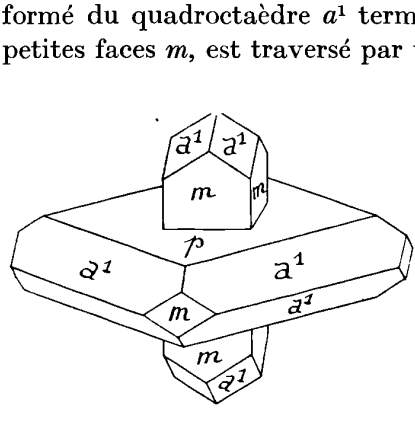


Fig. 125.

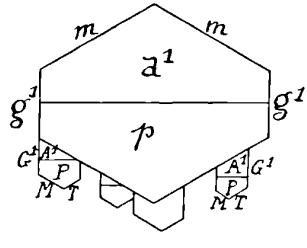


Fig. 126.

formé du prisme m surmonté du quadroctaèdre a^1 : les faces m des deux cristaux sont parallèles entre elles et les faces a^1 sont à peu près parallèles ; on a, en effet :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

	Xénotime	Zircon
$a^1\ a^1$	55°30′	56°40′
$m\ a^1$	62°45′	61°40′

De même (fig. 126), un gros cristal d'orthose clinorhombique, de combinaison mpg^1a^1, porte sur les faces m, de petits cristaux d'albite, clinoédrique, de notation $MPTG^1A^1$; les faces p sont parallèles entre elles et les autres faces sont à peu près parallèles, car on a :

Orthose	Albite
$pg^1 = 90°$	$P\ G^1 = 86°25'$
$mm = 61°12'$	$M\ T = 59°14'$
$p\ a^1 = 50°16'30''$	$P\ A^1 = 52°16'$

Un autre exemple est donné par les groupements d'oligiste et de rutile. Un cristal rhomboédrique d'oligiste (fig. 127), très aplati suivant la base a^1 et terminé sur le pourtour par les faces p et d^1, est recouvert de petits cristaux de rutile, quadratique de combinaison H^1MB^1. Ces cristaux de rutile se placent à 120° l'un de l'autre de façon que leurs axes quaternaires sont perpendiculaires aux arêtes a^1p de l'oligiste ; la face a^1 de l'oligiste est parallèle à l'une des faces M du rutile et l'on a, de plus, dans l'oligiste : $a^1p = 57°30'$, et, dans le rutile, $MB^1 = 57°14'$, de sorte qu'une des faces B^1 du rutile est presque parallèle à une des faces p de l'oligiste.

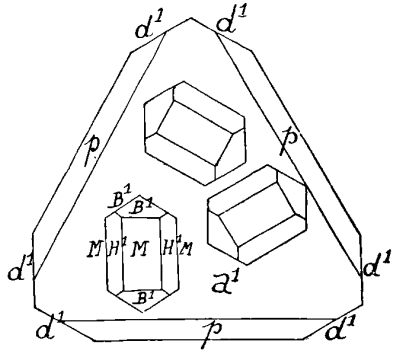


Fig. 127.

111. — On voit que, dans tous ces groupements, les réseaux des cristaux groupés tendent à se placer en coïncidence. La coïncidence est parfaite dans les cristaux de même espèce ; elle est approximative dans les cristaux d'espèces différentes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

A ce type de groupement peuvent se rattacher ce que nous appelons les **groupements zonaires**, dans lesquels deux cristaux se joignent de façon que certaines faces de l'un se placent dans les zones remarquables de l'autre et coïncident, plus ou moins exactement, avec des plans réticulaires, de notations simples, du premier cristal.

Dans les genres de groupements qui vont être décrits et qui n'intéressent que des cristaux d'une même espèce, le groupement tend à augmenter le nombre d'éléments de symétrie possédé par le cristal simple.

Macles

112. — On appelle « macle » l'ensemble de deux cristaux joints entre eux de façon qu'en tournant de 180° autour d'une droite, l'un d'entre eux vienne en coïncidence avec l'autre. Cette droite, que l'on appelle *axe de macle*, ou *axe d'hémitropie*, ne peut évidemment être un axe d'ordre pair du réseau, car, en ce cas, la rotation de 180° restituerait le réseau. Les deux cristaux sont joints par un plan dit *plan de jonction* ; enfin il existe, en général, un plan, dit *plan de macle*, par rapport auquel les deux réseaux sont symétriques l'un de l'autre. Le plan de macle coïncide souvent avec le plan de jonction et l'axe de macle est souvent normal au plan de macle.

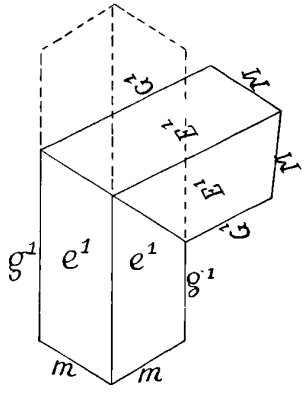


Fig. 128.

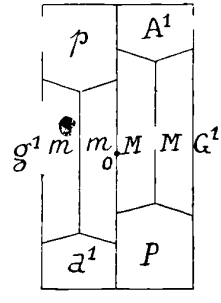


Fig. 129.

La figure 128 donne un exemple de macle dans le système orthorhombique (aragonite) : chacun des deux cristaux présente la combinaison mg^1e^1 ; ici, le plan de macle est le plan de jonction : c'est une des faces m. L'axe de macle est la droite perpendiculaire

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

à m et ce plan m est un plan de symétrie de l'ensemble. On voit que les choses se passent comme si un cristal simple avait été coupé suivant un plan m en deux parties égales, dont l'une aurait ensuite tourné de 180° autour de la normale à ce plan.

113. — La figure 129 représente la macle de l'orthose, dite de Carlsbad, dans laquelle le plan de jonction diffère du plan de macle. Le plan de jonction est g^1, qui, l'orthose étant clinorhombique, est un plan de symétrie du cristal et ne peut donc être un plan de macle. Chacun des cristaux a la forme g^1ma^1p. L'axe de macle se projette en O ; c'est une droite normale à h^1, qui est donc le plan de macle.

114. — La cassitérite, quadratique, montre souvent la macle dite *bec d'étain*. Deux cristaux (fig. 130), de combinaison $mg^1b^1a^1$, se joignent suivant un plan b^1, qui est un plan de macle.

Le spinelle, cubique, montre fréquemment (fig. 131) la macle de deux cristaux octaédriques joints par un plan a^1.

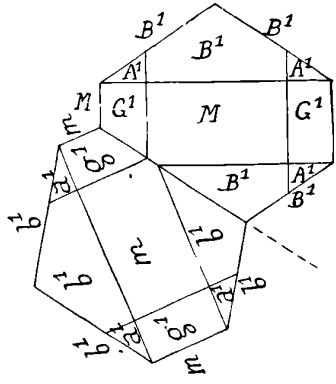


Fig. 130.

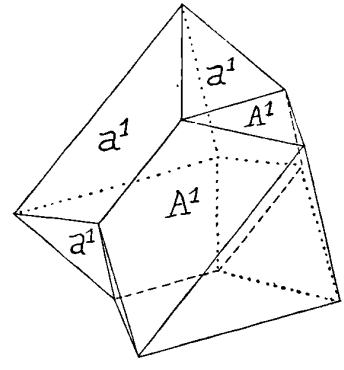


Fig. 131.

Dans le système rhomboédrique, la calcite présente divers types de macles. Nous citerons ici la macle relative à la base a^1. Dans un prisme hexagonal de calcite (fig. 132), on observe que le clivage p s'effectue, à la partie supérieure, parallèlement aux arêtes A, B et C ; c'est donc (90) le prisme e^2 (fig. 92) ; dans un cristal simple, le clivage devrait, à la partie inférieure, se faire parallèlement aux arêtes A′, B′ et C′ ; or, on remarque ici qu'il se produit parallèlement à A″, B″ et C″, c'est-à-dire que le plan horizontal a^1 est devenu un plan de symétrie. Le cristal est maclé suivant a^1.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

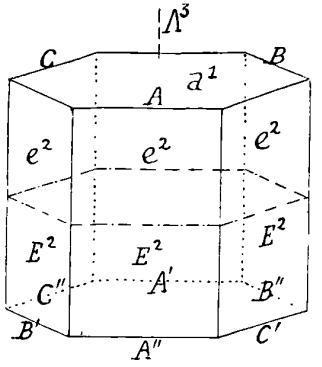


Fig. 132.

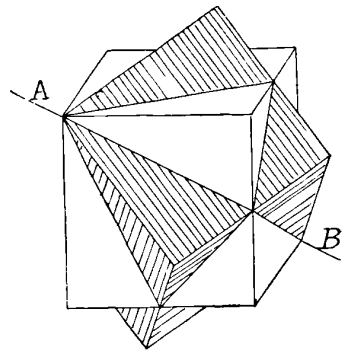


Fig. 133.

115. — Au lieu de se joindre suivant un plan, les deux cristaux qui composent la macle se pénètrent parfois l'un l'autre. La figure 130 montre une macle par pénétration de la fluorine. C'est la même macle que celle du spinelle (fig. 131), avec plan de macle a^1 ; seulement, les deux cristaux sont des cubes, dont l'un a tourné de 180° autour d'un Λ^3 du réseau ; cette droite AB, étant à la fois un Λ^3 et un L^2, est, en fait, un Λ^6 de l'ensemble.

116. — Il arrive fréquemment que la même macle se répète plusieurs fois sur le même individu. Ainsi, un cristal d'albite (fig. 134), très aplati suivant g^1 (clinoédrique), avec les formes p, m et t, est maclé à un autre cristal 2, par rapport à g^1 ; ce cristal 2 se macle à un cristal 3 et ainsi de suite ; les cristaux 1, 3, 5... ont même orientation et il en est de même des cristaux 2, 4... Les cristaux simples qui constituent la macle peuvent même de-

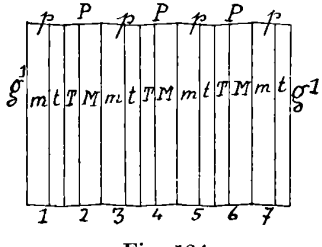


Fig. 134.

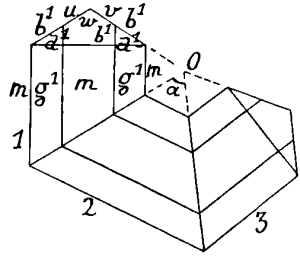


Fig. 135.

venir si minces que cette *macle par répétition* se reconnaît seulement à des cannelures, ou même à de très fines stries que forment les clivages répétés p. On voit, dans ce cas, que, si chaque face p est

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

inclinée sur g^1, parce que le minéral est clinoédrique, l'ensemble des faces p maclées donnera un plan de clivage paraissant unique et perpendiculaire au même plan g^1 : le cristal paraîtra donc clinorhombique et il arrive que l'étude au microscope en lumière polarisée permettra seule de déchiffrer le groupement qui est dit alors *mimétique* : c'est ce qui se produit dans le *microcline* ou *amazonite*, minéral qui offre la composition et la forme clinorhombique de l'orthose et qui, en réalité, est formé par un groupement mimétique de lamelles clinoédriques.

117. — Si le plan de macle appartient à une forme dérivée présentant plusieurs faces, de même notation, non parallèles, les macles peuvent alors se répéter par rapport à plusieurs de ces faces. Ainsi, le rutile présente la même macle que la cassitérite (fig. 130), avec b^1 pour le plan de macle ; on voit, dans la figure ~~132,~~ deux cristaux 1 et 2 joints parallèlement à un plan b^1 ; un cristal 3 se joint au cristal 2 parallèlement à un autre plan b^1 ; l'angle α des deux plans b^1 est de $65°34'\frac{1}{2}$. La macle peut ainsi se répéter plusieurs fois autour de l'axe O qui est parallèle à l'intersection de deux faces b^1 marquées u et v.

La macle peut d'ailleurs aussi se répéter autour d'une droite parallèle à l'intersection des b^1 marqués u et w et la combinaison des deux modes donnera une forme de rutile dont les axes A^4 des cristaux simples ne seront plus dans un même plan.

118. — Dans les macles, la symétrie *de l'ensemble* est supérieure à celle du réseau ; en effet, le plan de macle est un plan de symétrie, l'axe de macle est un axe binaire. Les groupements par macles ont donc une symétrie supérieure à celle du cristal simple ; on le voit bien dans le groupement par pénétration de la fluorine, où un A^3 est devenu un A^6 et qui présente, en fait, la symétrie hexagonale. C'est une tendance que possèdent tous les minéraux de se grouper de façon à se rapprocher autant que possible de la symétrie cubique ; on verra plus loin que certains minéraux, offrant des formes nettement cubiques, sont en réalité composés d'éléments de symétrie inférieure. Le même fait se présente dans les deux genres suivants de groupements.

Groupements de complément

119. — On appelle ainsi l'ensemble de deux formes hémiédriques conjuguées, dont la réunion donne géométriquement la forme holoédrique (**504**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La chalcopyrite cristallise en sphénoèdres du système quadratique. Les deux sphénoèdres a^1 et A^1 se distinguent physiquement l'un de l'autre, par exemple par des stries que portent les faces de l'un d'entre eux ; ces deux sphénoèdres, en se groupant (fig. 136), donneront un ensemble qui, abstraction faite des caractères physiques des faces, offrira la symétrie holoédrique.

De même, la pyrite cristallise en hexadièdres ; l'hexadièdre le plus commun dans ce minéral est b^2 ; il existe d'ailleurs une forme b'^2 géométriquement semblable à b^2, quoique placée différemment sur le cube primitif ; ces deux hexadièdres peuvent se trouver réunis pour donner le groupement connu sous le nom de *croix de fer* (fig. 366) et qui présente la symétrie holoédrique.

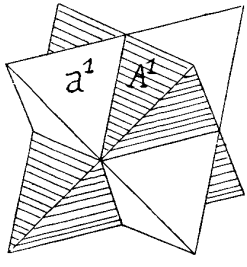


Fig. 136.

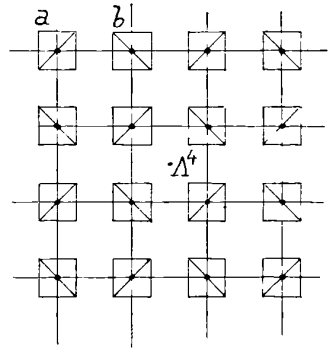


Fig. 137.

Ce genre de groupement s'explique par le fait que les molécules d'un minéral mériédrique se placent aux nœuds d'un réseau holoédrique. Ainsi, dans le cas de la chalcopyrite, on peut supposer que les molécules ont la forme de sphénoèdres (fig. 137) et ces sphénoèdres pourront se placer, dans le réseau quadratique, indifféremment dans la position *a* ou dans la position *b*. L'ensemble donnera le groupement de ce complément.

Groupements approximatifs

120. — Lorsque la particule cristalline du minéral possède *à peu près* une certaine symétrie, elle peut choisir le réseau possédant cette symétrie et, en se groupant dans différentes orientations aux nœuds de ce réseau, donner un cristal qui présente approximativement la symétrie du réseau.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Par exemple, l'aragonite cristallise en prismes orthorhombiques et l'angle vrai des deux faces m de ce prisme est de 116°16′ ; en choisissant un réseau orthorhombique de 120°, c'est-à-dire un réseau hexagonal (fig. 138), les particules peuvent se grouper aux nœuds du réseau en tournant l'une autour de l'autre de 120°. L'ensemble donnera un groupe de trois cristaux 1, 2, 3, formés chacun de la combinaison pm ; mais comme 3 × 116°16′ ne donne que 348°48′ et non 360°, l'assemblage résultant donnera un prisme hexagonal irrégulier comme celui de la figure 139.

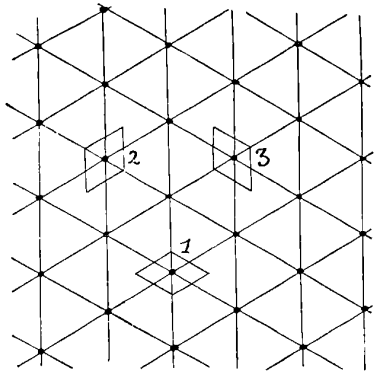


Fig. 138.

D'autre part, l'angle de deux faces g^2 est, dans le même minéral, proche de 60° : on trouve donc aussi des groupements constitués

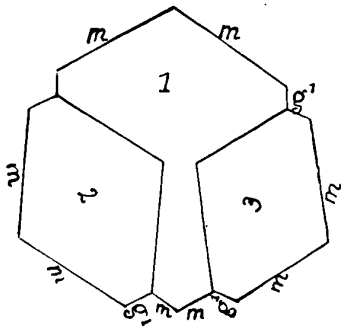


Fig. 139.

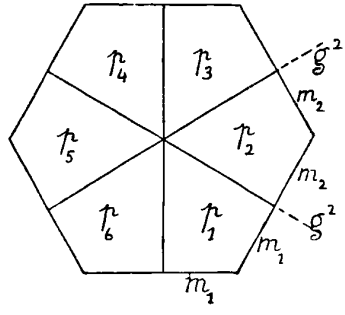


Fig. 140.

par six cristaux pm réunis suivant des faces g^2 et donnant l'apparence de prismes hexagonaux (fig. 140).

§ 11. — MESURE DES ANGLES

121. — La mesure des angles que font entre elles les faces d'un cristal est indispensable pour préciser rigoureusement son système cristallin ; la mesure de certains angles, tels que les angles de faces de clivage, est, de plus, très utile pour la détermination rapide de nombreuses espèces cristallines.

Les traités complets de minéralogie donnent, pour chaque minéral, les angles principaux que font entre elles, ou avec les faces du

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

prisme primitif, les faces des formes que l'on rencontre le plus communément sur les cristaux de l'espèce ; ces angles sont des angles *calculés* en partant du prisme primitif choisi et adopté pour l'espèce (**63**). La mesure des faces d'un cristal confirme donc, en général, sa détermination : si, par exemple, on présume que des cristaux ayant la forme de quadroctaèdres appartiennent à l'anatase, après avoir mesuré l'angle que font entre elles deux des faces adjacentes de la pyramide supérieure, on pourra, en se reportant aux formes connues du minéral et aux incidences données par les auteurs, constater qu'un quadroctaèdre, déjà connu dans les cristaux d'anatase, comporte effectivement un angle égal à l'angle mesuré et l'on aura ainsi une confirmation de la détermination primitive. Il peut certes arriver que les faces mesurées appartiennent à une forme non encore rencontrée dans l'espèce, à une forme *nouvelle* ; on cherchera alors sa notation, relativement au prisme adopté, en partant des mesures faites.

La mesure des angles se fait à l'aide d'instruments appelés *goniomètres*.

122. — Le *goniomètre d'application* est simplement composé de deux règles (fig. 141) mobiles autour d'un axe O ; le bouton qui porte ces règles peut se mouvoir dans des rainures, ce qui permet

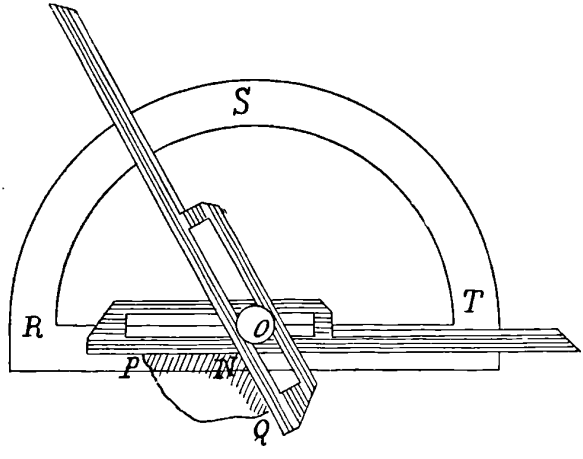


Fig. 141.

de les allonger plus ou moins suivant la grandeur et la position des cristaux à mesurer. En appliquant les règles sur les deux faces NP et NQ d'un cristal, de telle façon que l'axe de rota-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

tion O soit parallèle à l'arête N des deux faces et en posant les règles sur un rapporteur RST gradué, on mesure l'angle des deux faces.

Ce procédé de mesure n'est guère employé que pour les cristaux très gros, ou pour ceux dont les faces ne sont pas du tout réfléchissantes.

123. — Le *goniomètre de Wollaston* est basé sur les lois de la réflexion.

Soient NP et NQ (fig. 142) les deux faces à mesurer. Supposons le cristal placé de façon à pouvoir tourner autour d'un axe S parallèle à l'arête N et situé à égale distance de chacune des deux faces. Supposons aussi que l'axe S soit parallèle à une droite horizontale A située, par exemple, vers le haut d'un mur M (inter-

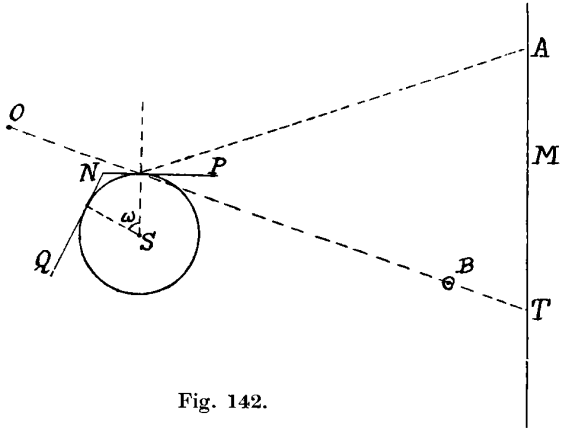


Fig. 142.

section du mur et d'une croisée). En approchant l'œil O de la face NP, on verra par réflexion sur la face NP, l'image de A dans la direction OT et l'on pourra, en plaçant le cristal dans la position nécessaire, la faire coïncider avec une mire *fixe* B. En tournant le cristal autour de S, l'image sur NP disparaîtra ; lorsque la face NQ viendra devant l'œil, l'image réapparaîtra et lorsque NQ occupera exactement la position qu'occupait NP, l'image de A coïncidera exactement aussi avec la mire B. Or, l'angle dont on aura tourné le cristal est l'angle ω, que font les normales aux faces NP et NQ.

L'instrument le plus simple est représenté dans la figure 143. On fixe le cristal *c* à l'aide d'un peu de cire sur une tige *t* qui peut

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

glisser et tourner dans l'extrémité d'un arbre coudé q mobile autour de l'extrémité A de l'axe AB de l'instrument. Cet axe passe, à frottement doux, dans un tube qui porte un limbe gradué L que l'on peut mouvoir, à l'aide du bouton D, en entraînant l'axe AB ; lorsqu'on serre la vis de pression v', on immobilise le bouton D et l'on peut mouvoir l'axe seul à l'aide du bouton B.

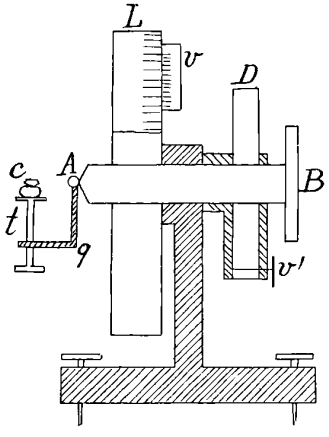


Fig. 143.

D'après ce qui est dit plus haut, le cristal doit être placé de façon que son axe de rotation soit parallèle à l'arête à mesurer et à égale distance des deux faces. Après avoir étudié à la loupe les formes des faces afin de bien les connaître, on place le cristal à peu près dans le prolongement de AB et avec l'arête à mesurer à peu près dans cette direction. On examine alors la première face et l'on agit sur les tiges t et q de façon à obtenir la coïncidence entre la mire B et l'image de la mire A ; cela obtenu, à l'aide du bouton B, on amène la seconde face devant l'œil et l'on agit semblablement pour obtenir la même coïncidence. Revenant à la première face, on rectifie sa position, que l'on avait modifiée en agissant sur la deuxième, et ainsi de suite jusqu'à ce que la coïncidence soit obtenue pour les deux faces. Il reste alors à faire la mesure, en desserrant la vis v' et en faisant tourner le tout à l'aide du bouton D ; une petite vis de rappel (non représentée sur la figure) permet des mouvements très lents lorsque la coïncidence est proche et la lecture est facilitée à l'aide du vernier v.

124. — Les mesures sont évidemment d'autant meilleures que les faces du cristal sont plus nettes et plus réfléchissantes. En général, les cristaux les plus petits donnent les meilleures mesures et, avec un peu d'habileté, en recherchant d'abord à la loupe les images que donnent les faces, on parvient à mesurer, à quelques minutes près, les angles de facettes presque nvisibles à l'œil nu.

Le même instrument se construit avec diverses modifications : on y adjoint des lunettes qui permettent de prendre comme mires, des fentes lumineuses placées aux foyers de lentilles qui les portent à l'infini. On emploie aussi des goniomètres à limbes

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

horizontaux, mais l'instrument très simple décrit ci-dessus permet les mesures les plus délicates.

Les erreurs à éviter sont dues au déplacement de l'œil pendant la mesure et à ce fait que l'axe de rotation n'est pas exactement à égale distance des deux faces ; on peut éliminer ces causes d'erreur en plaçant les deux mires A et B à même distance de l'instrument et en prenant cette distance la plus grande possible ; dans la pratique, quelques mètres suffisent.

On peut aussi à cet effet placer devant l'instrument un collimateur reportant à l'infini un point lumineux servant de mire, et se servir, comme repère, de l'image de ce point dans un miroir : ce miroir doit être placé exactement parallèle à l'axe de rotation.

§ 12. — SYMÉTRIE ET FACIES DES CRISTAUX NATURELS

125. — Nous avons donné, dans la description des systèmes scristallins (§ 9), des exemples de combinaisons de formes prédentées par les espèces minérales. Tous ces cristaux ont été dessinés en supposant un développement égal des faces de même espèce, tenant ainsi compte des éléments de symétrie au point de vue exclusivement géométrique. Or, en géométrie, un cube, par exemple, est un solide à six faces perpendiculaires entre elles et à douze arêtes égales entre elles. En cristallographie, pour qu'un cristal appartienne au système cubique, il faut et il suffit que ses molécules se placent aux nœuds d'un réseau cubique, c'est-à-dire à même distance l'une de l'autre suivant trois directions Ox, Oy, Oz, normales entre elles, mais il n'est évidemment pas du tout nécessaire que le nombre de nœuds chargés de molécules soit le même suivant la direction Ox que suivant Oy et suivant Oz ; il pourra donc très bien se faire, il se fera généralement, que tout en étant limité par des faces normales entre elles, la forme du cristal *cubique* soit celle d'un parallélépipède rectangle tout à fait semblable à la combinaison $p\ h^1\ g^1$ d'un cristal orthorhombique (fig. 64) : ce solide, pour le cristallographe, n'en sera pas moins un *cube*.

Comment donc distinguer ces deux formes ? Indépendamment de phénomènes d'un autre ordre physique, tels que les phénomènes optiques, qui serviront à résoudre le problème, on devra à cet effet examiner les *particularités extérieures* des faces, telles que l'éclat, les stries, les clivages, etc. Dans le système orthorhombique, les trois faces orthogonales ne sont pas des éléments

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

semblables (37) : leur éclat, leur brillant ne sera pas le même ; si, comme dans l'anhydrite (fig. 13), ces trois faces sont des directions de clivage, ces clivages seront inégalement faciles. Au contraire, dans le cube, elles auront même aspect ; si l'une porte des stries, les autres en porteront également et de même ordre ; si les trois faces sont des directions de clivage, comme dans la galène, ces trois clivages auront même facilité de production, etc.

Quelques exemples montreront le soin que le cristallographe doit apporter dans l'examen des cristaux naturels pour décider du système auquel ils appartiennent.

126. — Le cristal représenté par la figure 144 sera donc du système cubique, s'il possède trois clivages parallèles aux faces p et si ces clivages sont également faciles, si les faces a^1 sont des triangles équilatéraux, également inclinés sur les faces p adjacentes : c'est le cas de la galène.

127. — La fluorine (CaF^2) cristallise aussi en cubes (fig. 145) qui ont la forme irrégulière de parallélépipèdes ; les faces p sont perpendiculaires entre elles ; il existe des clivages également faciles qui s'effectuent sur les angles du solide et y forment des troncatures en triangles équilatéraux ; les traces de ces clivages sont visibles au travers du cristal, dessinant sur les faces p un réseau de droites orthogonales qui indiquent la présence de trois axes Λ^4, chacun perpendiculaire à p : c'est donc le système cubique. Le solide de clivage aura la forme d'un octaèdre, mais cet octaèdre pourra être allongé dans une direction ; cela n'empêche pas qu'il

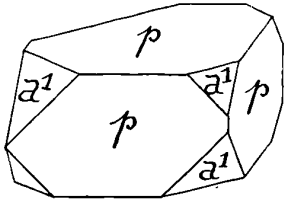


Fig. 144.

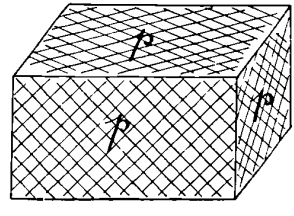


Fig. 145.

existe quatre Λ^3 perpendiculaires chacun à une face de l'octaèdre, ce qui est visible (fig. 146) aux traces que laissent sur cette face les autres clivages ; ces traces sont en effet inclinées à 60° l'une de l'autre, y dessinant des triangles équilatéraux.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

128. — L'anhydrite ($CaSO^4$) offre souvent des cristaux de forme analogue à ceux de la figure 144. Seulement, ici, les triangles (fig. 147) qui existent sur les angles ne sont plus équilatéraux : les angles de *b* avec chacune des faces adjacentes *h*, *g* et *p* sont inégaux entre eux mais se répètent symétriquement de façon à montrer l'existence des trois plans P, P′ et P″. D'ailleurs, s'il existe trois clivages, respectivement parallèles à *p*, *h* et *g*, ces trois clivages sont inégalement faciles (**25**, fig. **13**). L'anhydrite est orthorhombique.

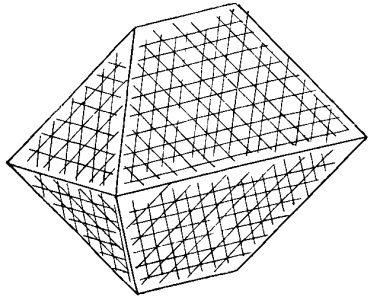


Fig. 146.

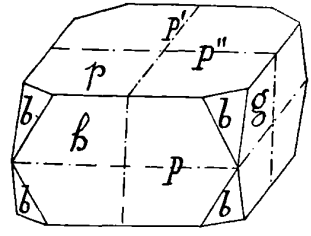


Fig. 147.

La fig. 148 représente un prisme hexagonal régulier formé des six faces *m*, de la face *p* et d'une troncature *b* de chaque arête basique ; en vertu de la symétrie, les angles de la face *p* avec chacune des faces *b* doivent être égaux entre eux ; de même les angles de deux faces *b* adjacentes sont égaux. Dans la nature, cette combinaison se rencontre dans l'apatite, mais le cristal est déformé ; il peut prendre la forme représentée en traits pleins sur la figure 149 : on reconnaîtra la symétrie hexagonale à l'égalité des angles *pb* d'une part, des six angles *bb* adjacents (marqués de points) d'autre part.

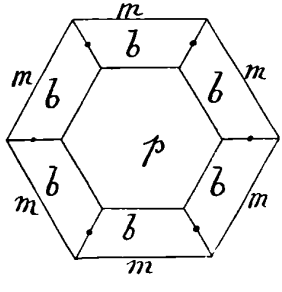


Fig. 148.

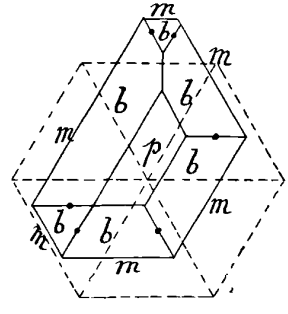


Fig. 149.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

129. — Facies. — Les cristaux d'un même minéral présentent souvent, quel que soit le gisement dont ils proviennent, la même combinaison de formes : c'est ainsi que les cristaux de quartz offrent presque toujours la combinaison rhomboédrique $pe^2e\frac{1}{2}$ (fig. 150), plus ou moins modifiée par de légères troncatures des angles ou des arêtes. Ces cristaux ont ce qu'on appelle un *facies caractéristique.*

Certaines faces peuvent présenter un développement spécial qui donne au cristal un facies *prismatique*, *tabulaire*, *pyramidal*, etc.

Les facies peuvent parfois prendre un aspect tout à fait irrégulier que l'on déchiffrera à l'aide des caractères physiques des faces ; les faces e^2 du quartz étant toujours striées horizontalement, ce caractère permettra d'orienter très facilement un cristal de développement irrégulier, comme celui de la figure 151.

130. — Une même espèce minérale peut d'ailleurs présenter des cristaux de facies différents ; nous avons déjà donné l'exemple de la marcasite dont les cristaux peuvent être prismatiques (fig. 3) ou tabulaires (fig. 4) ; on trouvera des exemples de facies différents dans la description de la pyrite, de la calcite, de la monazite, de la barytine, etc.

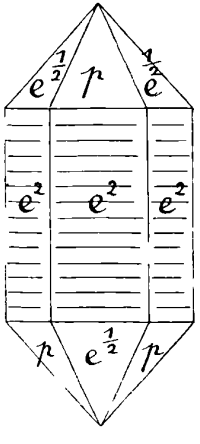


Fig. 150.

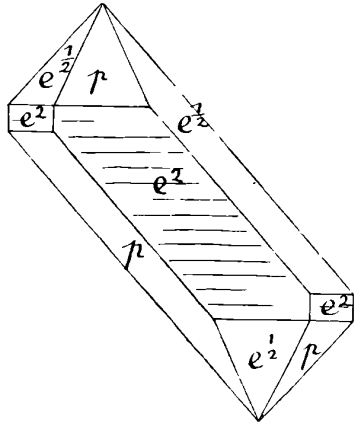


Fig. 151.

Le facies des cristaux maclés est souvent caractérisé par un allongement suivant une direction parallèle au plan de macle et fréquemment aussi par un aplatissement suivant un plan perpendiculaire au plan de macle. Notons ici que, dans un assem-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

blage de cristaux d'une même espèce, les macles se distinguent fréquemment par un volume plus considérable que celui des cristaux simples.

131. — Mais si les cristaux d'une même espèce peuvent présenter des facies variés, il est remarquable que les cristaux d'un même gisement présentent ordinairement le même facies : dans tel gîte, tous les cristaux de galène seront des cubes, dans tel autre des octaèdres. Il arrive même qu'une forme tout à fait spéciale devient caractéristique d'un gîte déterminé en ne se présentant que très rarement dans les autres : ainsi, les cristaux de calcite du calcaire de Rhisnes (Belgique) sont caractérisés par la présence presque constante et souvent bien développée d'un isoscéloèdre de notation $L = b^{\frac{1}{7}}\ d^{1}\ d^{\frac{1}{9}}$.

Ce fait est évidemment dû aux conditions qui ont présidé à la cristallisation et l'on est tenté ainsi d'affirmer que les *cristaux d'une même substance qui ont été formés dans les mêmes conditions extérieures sont limités par les mêmes formes.*

On ne peut cependant déduire de cette loi que tous les cristaux d'une même substance formés dans des conditions différentes seront limités par des formes différentes. En fait, il existe des formes qui persistent à se montrer dans les cristaux de toutes provenances (1), d'autres qui ne disparaissent que rarement, d'autres enfin qui ne se montrent que tout à fait exceptionnellement.

132. — Mallard a présenté sous d'autres termes la loi qui préside à la production des faces cristallines.

Considérons un cristal en voie de formation. A tout instant, pour une face limite, il y a équilibre entre l'action des forces moléculaires intérieures et celle des forces extérieures ; les forces moléculaires sont très puissantes tandis que les forces extérieures sont beaucoup moins énergiques ; l'équilibre exige donc que la résultante φ des forces intérieures (dont la direction et l'intensité varient d'un plan réticulaire à l'autre) soit relativement faible. Or, on démontre que cette résultante φ est proportionnelle à la surface ω de la maille du plan réticulaire considéré, de sorte que l'on a : $\varphi = k\ \omega$.

(1) Il en est de même des directions de clivage, quoique, mais très rarement, certains clivages spéciaux se manifestent dans les cristaux d'un gisement donné.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Si l'on considère l'ensemble de tous les plans qui passent par un nœud, on trouve que la quantité k varie d'une façon continue. Mais parmi tous ces plans, quelques-uns seulement sont des plans réticulaires, de sorte que ω, au contraire, est essentiellement discontinu et varie rapidement d'un plan à un autre. On en déduit que *les faces qui limitent un cristal doivent être celles pour lesquelles les surfaces des mailles réticulaires sont les plus petites.*

133. — En ce qui concerne les directions de clivage, il faut noter que l'attraction moléculaire d'un plan réticulaire sur un plan immédiatement voisin est d'autant plus faible que la distance qui les sépare est grande ; la facilité du clivage est donc proportionnelle à la distance de deux plans réticulaires parallèles ; or, nous avons déjà dit (**33**, 5°) que cette distance est d'autant plus grande que la maille réticulaire est plus petite. Nous retrouvons donc ici aussi la même loi.

134. — L'observation et l'expérience paraissent prouver que les formes à notations simples se produisent toujours lorsque la cristallisation est rapide ; le choix, parmi les formes simples possibles, paraît dépendre tout d'abord de la nature du milieu ambiant : le nitrate de plomb cristallise en octaèdres lorsque la solution contient de l'alcool et en cubes lorsque la solution est nitrique ; de même, avec l'alcool, le chlorure sodique cristallise en cubes et, avec l'urée, en octaèdres. Cependant la présence, même en quantité très faible, d'une matière étrangère qui se précipite et s'incorpore en zones très minces à la substance principale, peut faire varier la production des formes : la forme aplatie des cristaux rouges de wulfénite, provenant de l'Arizona, paraît liée, en même temps que la couleur, à une très petite quantité de vanadium.

135. — *Faces vicinales.* — Lorsqu'un cristal s'accroît dans une solution saturée, la couche de liquide en contact avec le cristal dépose sur chacune de ses faces une certaine quantité de substance ; cette couche liquide, devenue alors plus légère, monte et est remplacée par une nouvelle couche saturée ; il se produit ainsi des *courants de concentration* et le cristal s'accroît en conservant sa forme tant que le liquide reste fortement chargé de molécules en solution. Mais lorsqu'il n'est plus saturé, c'est-à-dire vers la fin de la cristallisation, les nouvelles couches ame-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

nées sur une face AB (fig. 152) peuvent ne pas recouvrir de molécules toute la face et, d'après les expériences de Gaubert, il peut se déposer des couches de moins en moins étendues qui donnent naissance à des faces telles que *ab* et *ac* ne faisant avec AB que des angles de quelques minutes. C'est ce que l'on appelle des *faces vicinales*, très proches de faces à notations simples mais qui, n'étant pas des plans réticulaires, possèdent des notations excessivement compliquées si on les calcule en partant de très légères différences d'angle constatées. Ces faces se montrent sur de nombreux cristaux. Elles y occasionnent la présence de petites pyramides triangulaires ou quadrangulaires très aplaties appa-

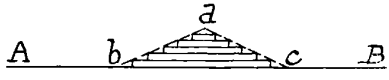


Fig. 152.

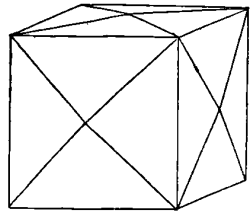


Fig. 153.

raissant sur des faces nettes à notation simple ; elles peuvent aussi amener la disparition d'arêtes ou d'angles remplacés par des facettes généralement courbes ou encore des zones d'accroissement très irrégulières. Elles sont parfois en rapport avec la symétrie du cristal, comme sur les cubes de fluorine (fig. 153) dont les faces *p* sont remplacées par des pyramides quadrangulaires conduisant à un hexatétraèdre b^m de notation très compliquée. Lorsque deux cristaux de fluorine s'interpénètrent (fig. 154) il arrive que la seule face d'un cristal que traverse le sommet de l'autre porte cette pyramide aplatie, comme si le sommet découvert avait été le point de départ des courants de concentration.

136. — Cependant les faces vicinales sont dues parfois à des *pseudosymétries*. Par exemple, un cube (fig. 155) peut se composer en réalité de douze individus clinorhombiques ayant, chacun, la forme OABCD, réunis au centre O : si les faces ABC et ABD forment un angle légèrement différent de 90°, l'ensemble aura l'apparence d'un hexatétraèdre à faces vicinales. Ce genre de groupement peut n'être dévoilé que par les études optiques (**248**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

137. — Lorsque des faces à notations compliquées viennent modifier un facies habituel d'un minéral qui est généralement composé de faces simples, c'est le plus souvent sous forme de légères troncatures ; on les trouve alors sur de nombreux cristaux d'un même gisement et elles sont rarement signalées sur les cristaux d'autre provenance. Elles ne se montrent donc que dans des conditions relativement rares.

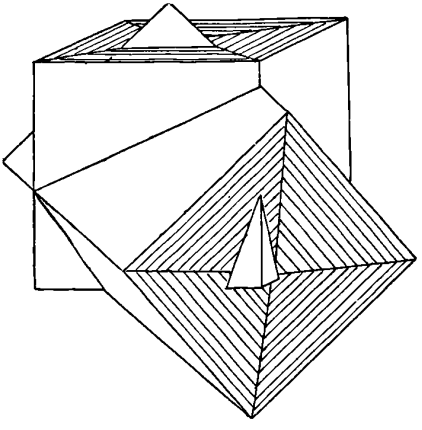


Fig. 154.

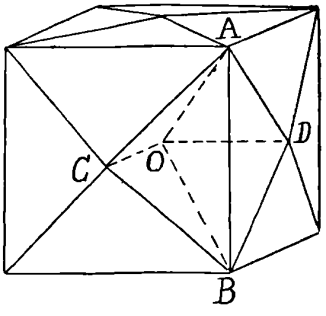


Fig. 155.

Il est d'ailleurs évident que, plus le nombre de formes constatées dans un minéral augmente, plus les notations doivent devenir compliquées. C'est le cas de la calcite où le nombre de formes reconnues dépasse 200 et où certaines d'entre elles ont des notations si compliquées que divers cristallographes ont mis en doute l'existence naturelle de ces plans réticulaires et ont considéré ces faces, soit comme des faces de corrosion (**138**), soit comme des faces vicinales (**135**).

Cependant, l'existence de ces formes ne doit pas être considérée comme impossible car la loi de rationalité (**50**) n'implique pas du tout une loi de simplicité des caractéristiques. Des mesures nombreuses et exactes, prises dans certains cas, ne peuvent laisser aucun doute sur l'existence de ces formes : c'est notamment ce que Cesàro a prouvé pour des scalénoèdres de notations $(d^{102}\ d^{1}\ b^{\frac{1}{69}})$ et $(d^{73}\ d^{\frac{1}{17}}\ b^{137})$, qui se montrent dans des cristaux de calcite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

138. Figures de corrosion. — La dissolution d'un cristal dans une solution est un phénomène inverse de la cristallisation ; les molécules de la surface quittent le solide et passent dans le liquide. On peut donc s'attendre à ce que les changements qui prennent place dans la forme du cristal soient analogues, mais en sens inverse, à ceux qui se sont produits lors de la cristallisation.

Les tranches du liquide dans lequel un cristal se dissout et qui se trouvent contre les faces du cristal se saturent plus ou moins vite, surtout si la substance cristalline se combine chimiquement avec le dissolvant ; il y a plus de liquide en contact avec des angles et les arêtes du cristal qu'avec des faces et ce sont donc ces éléments qui se dissolvent tout d'abord, en donnant naissance à de nouvelles faces, qui peuvent faire croire que le cristal a été roulé et s'est usé sur les bords.

Si la substance cristalline ne se combine pas avec le dissolvant il se produit surtout des changements de densité dans le liquide, changements qui donnent lieu à des courants faisant varier les parties en contact : on obtient alors, surtout sur les faces, une *corrosion*.

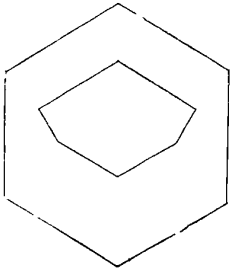


Fig. 156.

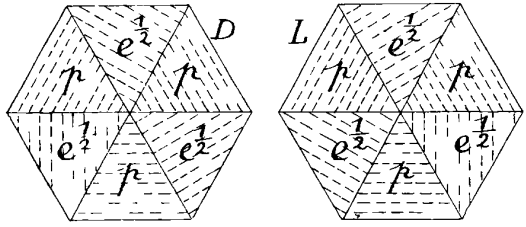


Fig. 157.

Dans l'un et l'autre cas, la corrosion peut donner naissance à des figures en creux dont la symétrie dépend de la symétrie cristalline. Ainsi, des lames de mica, attaquées par l'acide fluorhydrique, donnent des figures (fig. 156) qui indiquent une symétrie clinorhombique.

De même des cristaux de quartz, attaqués par le même acide, se creusent sur les faces p et $e^{\frac{1}{2}}$ de petites figures alignées diversement sur les deux systèmes de faces (fig. 157) ; le sens de l'alignement sur $e^{\frac{1}{2}}$ permet même de distinguer (97) un quartz *dextrogyre* (fig. 157 *D*) d'un quartz *lévogyre* (fig. 157 *L*).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE IV

CRISTALLOGRAPHIE OPTIQUE

§ 1. — NATURE DE LA LUMIÈRE. LUMIÈRE POLARISÉE. ACTION DES CRISTAUX SUR LA LUMIÈRE.

139. — On peut considérer les phénomènes lumineux comme dus à des vibrations des molécules d'un milieu impondérable mais élastique, qui pénètre et imbibe tous les corps et qui remplit les espaces interplanétaires ; on a donné à ce milieu le nom d'*éther*.

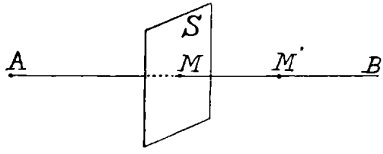


Fig. 158.

Dans le vide (ou dans l'air), une molécule M d'éther (fig. 158), sous l'influence de la source lumineuse A, vibre en oscillant dans un plan S autour de sa position d'équilibre et elle communique le même mouvement aux molécules qui la suivent sur la direction AB ; ces vibrations se propagent ainsi de A vers B avec une vitesse, dans le vide (ou dans l'air) de 300.000 kilomètres par seconde.

140. — Pendant le temps que met une molécule pour décrire une oscillation complète, la vibration s'est propagée de M vers B et, à la fin de l'oscillation, une molécule M' commence à vibrer. La distance MM' constitue une *longueur d'onde* λ. Puisque la vitesse de la lumière est constante, la longueur d'onde multipliée par le nombre d'oscillations, ou vibrations, qui s'effectuent en une seconde, donne 300.000 kilomètres.

Les vibrations sensibles à l'œil, et qui produisent par conséquent les phénomènes lumineux, ont des longueurs d'ondes variant de 400 à 670 millionièmes de millimètre : l'unité adoptée est le *micron* (μ) ou millième de millimètre. Pour $\lambda = 0{,}400\ \mu$ les vibrations donnent de la lumière violette ; quand λ augmente, la couleur de la lumière change, passe par l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé et devient le rouge pour $\lambda = 0{,}620\ \mu$; le rouge extrême correspond à $\lambda = 0{,}670\ \mu$.

A chaque longueur d'onde correspond donc une couleur spéciale et déterminée. Le mélange de deux ou plusieurs longueurs

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

d'ondes donne des teintes diverses et, parfois, de la lumière blanche. La lumière solaire comprend la série continue et complète des longueurs d'ondes ; on sait que l'on peut séparer ces diverses couleurs à l'aide d'un prisme dispersif qui donne le *spectre solaire*.

141. — Lorsque les longueurs d'ondes sont inférieures à 0,400 μ (rayons ultra-violets), ils donnent lieu à des actions chimiques puis, pour des longueurs très faibles, ils produisent les phénomènes des rayons X ; au-dessus du rouge λ_r, les longueurs d'ondes donnent lieu à des actions calorifiques et, ensuite, pour des longueurs très grandes, à des actions électromagnétiques appliquées à la télégraphie sans fil.

Le tableau suivant donne les valeurs de quelques λ :

		Nombre de vibrations par seconde	Longueur d'onde
Ondes électriques	de Marconi	15 000	20.000 mètres
	de Hertz	50 millions	6 mètres
	de Box et Righi	50 milliards	6 millimètres
Ondes calorifiques (moyenne)		5 trillions	0,06 millimètre
Ondes lumineuses	rouge λ_r	480 »	0,625 micron
	orangé λ_o	511 »	0,587 »
	jaune λ_j	540 »	0,556 »
	vert λ_v	583 »	0,515 »
	bleu λ_b	628 »	0,478 »
	indigo λ_r	663 »	0,452 »
	violet λ_v	704 »	0,426 »
Ultra violet (premiers rayons chimiques)		800 »	0,375 »
Rayons *X* (moyenne probable)		3 quintillions	0,0001 »

142. — Lorsque la lumière pénètre dans un corps quelconque, sa vitesse diminue. Si la densité du corps est la même dans toutes les directions, la vitesse y reste aussi la même quelle que soit la direction considérée et le corps est optiquement *isotrope* ; si la densité varie d'une direction à l'autre, il peut arriver que la vitesse varie aussi d'une direction à l'autre et le corps est optiquement *anisotrope* ; ce dernier cas se présente dans la plupart des cristaux (1).

143. LUMIÈRE POLARISÉE. — Lorsque les molécules d'éther situées sur une direction AB (fig. 159) vibrent parallèlement

(1) Voir compléments, nos **544** à **552**.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

à une même droite CD, on dit que ce rayon est *polarisé*. Généralement, la direction de vibration CD est normale au rayon AB.

En cristallographie optique, on examine toujours les cristaux avec de la lumière polarisée qui s'obtient à l'aide d'appareils dits *nicols* décrits plus loin. Un nicol se place dans

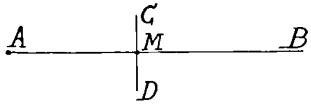


Fig. 159.

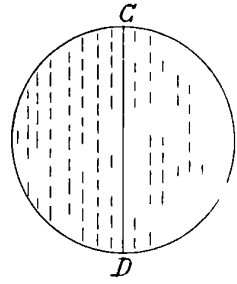


Fig. 160.

e tube cylindrique d'un microscope, de sorte que tous les rayons qui sortent de ce tube (fig. 160) vibrent parallèlement à une même droite CD.

144. Microscope polarisant. — Les microscopes que l'on emploie en minéralogie peuvent être schématiquement représentés par la figure 161. La lumière naturelle est dirigée, à l'aide d'un miroir *m*, dans le tube inférieur *t* de l'appareil ; ce tube contient un nicol P que l'on appelle *polarisateur* ; la lumière polarisée qui sort du tube *t* traverse une ouverture faite au centre de la platine *pp'* du microscope, platine qui peut tourner autour de son axe ; sur cette ouverture se place, à l'aide d'un porte-objet en verre, la lamelle *c* du cristal que l'on veut étudier. Ces lamelles s'obtiennent, soit en taillant le cristal parallèlement à une direction donnée, soit en le clivant, soit même en l'examinant, s'il est suffisamment transparent, au travers de faces naturelles.

Après avoir traversé le cristal, la lumière pénètre dans le tube principal T du microscope ; ce tube est terminé vers le bas par un objectif *Ob*, vers le haut par un oculaire *Oc*, qui comprennent des jeux de lentilles destinés à rassembler les rayons en agrandissant l'image de l'objet. A l'aide d'objectifs et

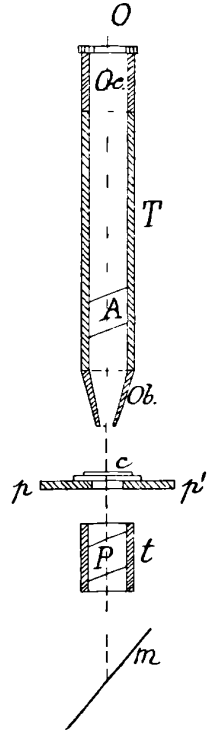


Fig. 161.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

d'oculaires différents que l'on emploie suivant les conditions et le but à atteindre, on peut faire varier le *grossissement* amené par l'appareil ; en pratique, les grossissements employés en minéralogie varient de 50 à 900 diamètres.

Le tube T contient un second nicol A, dit *analyseur*, que l'on peut d'ailleurs aisément sortir du tube, de façon à examiner la lamelle, soit avec le polariseur seul (lumière naturelle), soit entre les deux nicols.

145. — Les rayons lumineux qui ont traversé le polariseur P vibrent tous parallèlement à une même droite CD (fig. 162) ; mais les rayons lumineux qui parviennent à l'œil de l'observateur, ayant traversé l'analyseur A, vibrent tous parallèlement à une droite C'D' qui est la direction de vibration de ce nicol. En général, les deux nicols sont placés dans l'appareil de façon que leurs directions de vibration CD et C'D' soient perpendiculaires entre elles ; deux fils extrêmement fins, placés dans l'oculaire, et formant un *réticule*, indiquent les directions de ces vibrations. On dit, dans ce cas, que les nicols sont croisés et nous les supposerons toujours dans cette position.

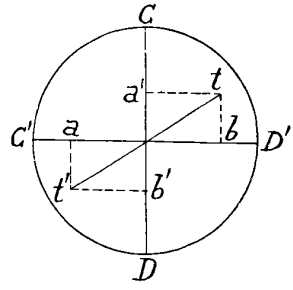


Fig. 162.

146. — Deux nicols croisés, sans interposition de lame cristalline entre eux, ne laissent pas passer de lumière : en effet (fig. 162), les seules vibrations qui arrivent à l'analyseur sont les vibrations transmises par le polariseur et dont la direction est CD ; comme l'analyseur ne laisse passer que des vibrations parallèles à C'D', les vibrations CD sont nécessairement arrêtées et l'on n'obtient aucune intensité lumineuse.

Il n'en est plus de même si, au-dessus du polariseur, on transmet, dans le tube principal du microscope, des vibrations parallèles à une direction oblique *tt'*, car on peut décomposer cette vibration *tt'* en deux vibrations, l'une parallèle à *ab*, l'autre à *a'b'* ; cette dernière est arrêtée par l'analyseur, mais la vibration *ab* le traverse et parvient à l'œil de l'observateur : la lumière est rétablie. C'est ce qui se produit, en général, lorsqu'on place, sur la platine du microscope, une lame cristalline.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

§ 2. — PROPRIÉTÉS DE L'ELLIPSOÏDE.

147. — Tous les phénomènes lumineux que l'on peut produire dans les cristaux peuvent se déduire de la connaissance d'une surface géométrique particulière que l'on imagine dans le cristal et qui, pour chaque espèce minérale, possède une grandeur déterminée et une orientation spéciale. Cette surface est un *ellipsoïde* dont il est utile, par conséquent, de rappeler d'abord quelques-unes des propriétés.

148. — Soient (fig. 163) deux cercles concentriques, de rayons OA et OB ; prenons OA et OB perpendiculaires entre eux. Une droite quelconque OC, passant par le centre O, coupe les deux cercles en deux points C et D ; par C menons une droite parallèle à OB et par D une droite parallèle à OA ; ces deux droites se coupent en un point M. Si l'on fait la même construction pour toutes les droites passant par O, on obtient une suite de points M qui dessinent une courbe AMBA'B' que l'on appelle *ellipse*. On

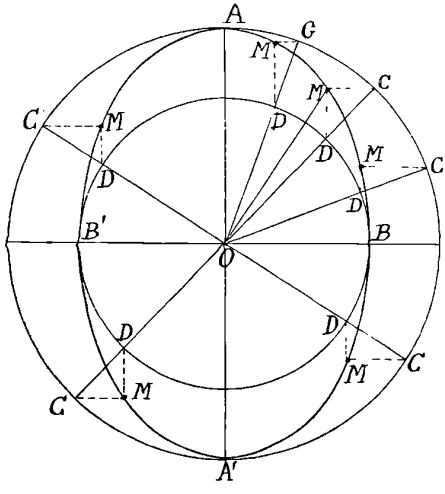


Fig. 163.

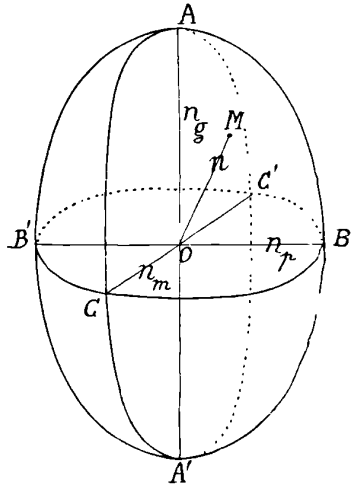


Fig. 164.

voit que cette courbe est symétrique de part et d'autre de AA' et de BB'. Le point O est le *centre* de l'ellipse ; une droite OM, partant du centre O et aboutissant en un point de la courbe, est un rayon ; il y a une infinité de rayons, de grandeurs différentes, mais qui sont tous compris entre un rayon maximum OA et un rayon minimum OB ; ces deux rayons, maximum et minimum,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

sont perpendiculaires entre eux et sont appelés *axes* de l'ellipse. On a d'ailleurs OA′ = OA et OB′ = OB.

Dans le cas où les deux axes OA et OB sont égaux entre eux, l'ellipse devient un *cercle* et tous les rayons deviennent égaux entre eux.

149. — Considérons à présent (fig. 164) trois droites OA, OB, OC, perpendiculaires entre elles et supposons OA > OC > OB. Dans le plan AOB dessinons une ellipse ayant pour axes OA et OB ; faisons de même dans le plan OAC avec les axes OA et OC et dans le plan OBC avec OB et OC. Les trois ellipses, ainsi décrites, donnent une idée de la surface que l'on appelle *ellipsoïde*. Cette surface est symétrique par rapport à chacun des trois plans OAB, OBC, OAC.

La droite qui joint le centre O à un point quelconque M de l'ellipsoïde est un rayon ; nous le désignerons, en général, par la lettre n. Il y a une infinité de rayons dont les longueurs sont comprises entre le rayon maximum OA et le rayon minimum OB.

Les trois rayons OA, OB et OC, perpendiculaires entre eux, sont les *axes principaux* de l'ellipsoïde. L'axe maximum OA sera désigné par n_g, l'axe minimum OB par n_p et le troisième axe par n_m ; celui-ci est appelé axe moyen, quoique sa valeur puisse être très différente de la moyenne des deux autres.

150. — On démontre que, si l'on coupe l'ellipsoïde par un plan quelconque, l'intersection obtenue sera une ellipse, dont les axes n' et n'' peuvent se calculer lorsqu'on connaît les grandeurs des axes principaux et l'orientation, par rapport à ces axes principaux, du plan de section.

Particulièrement, si l'on fait tourner un plan autour de OA = n_g, l'un des axes de l'ellipse de section sera toujours n_g et l'autre sera, dans le plan OBC, compris entre n_p et n_m : ainsi, pour AOB, les axes sont n_g et n_p ; l'axe perpendiculaire devient plus grand que n_p pour atteindre la valeur n_m lorsque le plan occupe la position AOC. Quelle que soit la position du plan, puisque l'un des axes de l'ellipse découpée est n_g, l'autre, compris dans le plan OBC, sera toujours plus petit que n_g.

De même, si l'on fait tourner un plan autour de OB = n_p, l'un des axes de l'ellipse de section sera toujours n_p et l'autre, se trouvant dans le plan OAC, sera compris entre n_g et n_m, c'est-à-dire plus grand que n_p.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

151. — Faisons maintenant tourner un plan autour de OC — n_m ; l'un des axes de l'ellipse sera toujours égal à n_m ; l'autre axe, se trouvant dans le plan OAB, sera compris entre n_g et n_p ; il sera tantôt plus grand, tantôt plus petit que n_m.

Il y aura donc une position du plan pour laquelle le second axe sera précisément égal à n_m ; dans ce cas, la section ne sera plus une ellipse, mais un cercle : c'est une section *cyclique* de l'ellipsoïde.

En général, il y a deux sections cycliques. Soit, en effet (fig. 165), OA = n_g et OB = n_p ; supposons que l'axe moyen n_m se projette en O. Soit OD la position du plan passant par n_m et pour laquelle OD est aussi égal à n_m ; cette section OD est la section cyclique et il en existe évidemment une autre OD′ symétrique de OD par rapport à OA.

152. — Les droites OS et OS′ perpendiculaires aux deux sections cycliques se trouvent nécessairement dans le plan de n_g et de n_p et elles font avec n_g (ou avec n_p) des angles égaux. Ce sont ces droites que nous appellerons axes *optiques*.

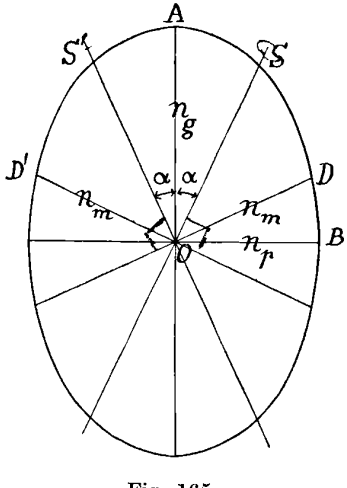


Fig. 165.

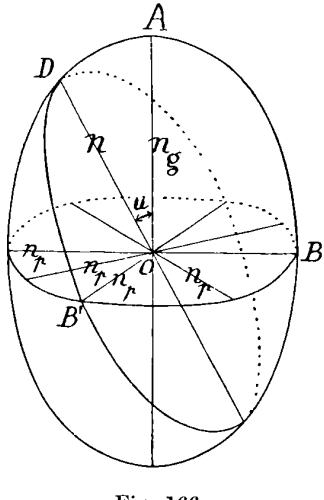


Fig. 166.

153. — Nous pouvons supposer que, dans l'ellipsoïde, l'axe moyen n_m soit égal à l'axe minimum n_p. Dans ce cas (fig. 166), l'ellipsoïde est dit de révolution autour de n_g car, pour une section quelconque passant par n_g, les deux axes seront toujours n_g et n_p ; il n'y a qu'une section cyclique BB′, de rayon n_p, qui est l'*équateur* et il n'y a qu'un seul axe optique coïncidant avec n_g.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Notons également qu'une section quelconque B'OD, faisant un angle u avec n_g, aura l'un de ses axes OB' égal au rayon n_p de l'équateur et l'autre axe OD $= n$ compris entre n_g et n_p, c'est-à-dire plus grand que n_p. Toutes les sections faisant le même angle u avec n_p auront mêmes axes n_p et n.

154. — Si l'on suppose que, dans l'ellipsoïde, l'axe moyen est égal au grand axe n_g, l'ellipsoïde est de révolution autour de n_p ; la section cyclique a pour rayon n_g ; l'axe optique est n_p. Toutes les sections faisant un angle u avec n_p auront pour axes le rayon de l'équateur n_g et un axe n compris entre n_g et n_p, c'est-à-dire plus petit que n_g.

L'ellipsoïde de révolution autour de n_p a la forme de celui de la figure 166 aplatie autour de OA.

155. — Si les trois axes de l'ellipsoïde sont égaux, la surface devient une sphère. Tous les rayons sont égaux ; toutes les sections sont des sections cycliques.

§ 3. — INDICES DE RÉFRACTION. DOUBLE RÉFRACTION

156. — On sait que, lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu 1 dans un milieu plus dense 2, il se réfracte (fig. 167) en se rapprochant, dans le second milieu, de la normale au plan de séparation. On appelle « indice de réfraction » le rapport des vitesses de la lumière dans les deux milieux. L'indice du milieu 2 par rapport au milieu 1 est donc :

$$n = \frac{v_1}{v_2}$$

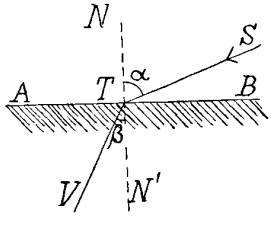


Fig. 167.

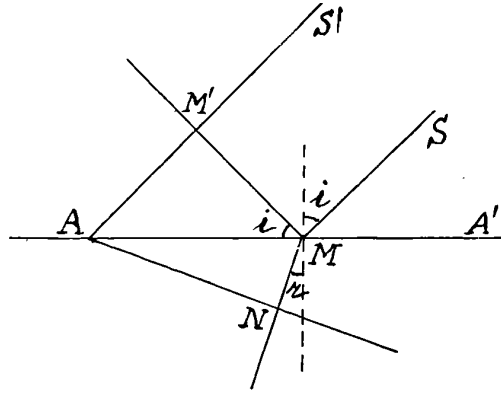


Fig. 168.

Soit (fig. 168) un faisceau SMS'M' de rayons parallèles ; les molécules vibrent dans des plans parallèles au plan MM' normal

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

à SM et nous pouvons choisir le rayon S'A de telle sorte que la longueur M'A représente la vitesse de propagation v_1 dans le milieu 1. Les rayons étant réfractés dans le milieu 2, le plan de vibration devient AN, normal au rayon MN. Pendant le temps que met le rayon SA pour se propager de M' en A, le rayon MN se propage de M en N, de sorte que MN représente la vitesse v_2 dans le second milieu.

Or, on a :

$$AM' = v_1 = AM \sin i$$

$$MN = v_2 = AM \sin r$$

d'où :

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

L'indice de réfraction est donc égal au rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction.

Si l'on suppose que, le premier milieu étant l'air, la vitesse de propagation v_1 est égale à 1, on aura :

$$n = \frac{1}{v_2}$$

et l'indice de réfraction d'une substance par rapport à l'air est égal à l'inverse de la vitesse de propagation dans cette substance.

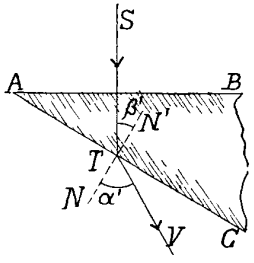


Fig. 169.

157. — Si le rayon tombe (fig. 169) normalement à AB, il pénètre dans le corps sans déviation mais, s'il rencontre ensuite une surface oblique AC, il sortira, en s'écartant de la normale, suivant TV et de telle façon que le rapport $\frac{\sin \alpha'}{\sin \beta'}$ soit encore égal à l'indice n.

158. *Réflexion totale.* — Si un rayon traverse deux milieux d'indices n_1 et n_2, les angles qu'il fait dans ces milieux avec la normale au plan de séparation étant i_1 et i_2, on a :

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Supposons $n_2 > n_1$. Si le rayon passe du milieu **1** au milieu **2**, l'angle de réfraction i_2 sera donné par :

$$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1$$

et il sera toujours réel, puisque $\frac{n_1}{n_2} < 1$; le rayon pénétrera donc toujours dans le second milieu.

Si au contraire le rayon passe du milieu **2** au milieu moins réfringent **1**, l'angle de réfraction sera donné par :

$$\sin i_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin i_2 .$$

Pour qu'il soit réel, il faut donc que l'on ait :

$$\frac{n_2}{n_1} \sin i_2 \leqslant 1 \quad \text{ou} \quad \sin i_2 \leqslant \frac{n_1}{n_2} .$$

Si l'on désigne par l l' angle pour lequel

$$\sin l = \frac{n_1}{n_2}$$

il faut que l'angle d'incidence soit $< l$ pour que le rayon puisse pénétrer dans le milieu moins réfringent. Pour un angle d'incidence $> l$, le rayon sera réfléchi et ne pénétrera pas dans le second milieu.

L'angle l est appelé *angle limite.*

159. — Supposons qu'un rayon lumineux tombe normalement sur un plan AB (fig. 170), produit naturellement ou artificiellement dans un cristal. Ce plan AB découpe, en général, dans l'ellipsoïde du minéral, une ellipse (**147** et **150**) dont on peut calculer les deux axes que nous désignerons par n' et n''. Les choses se passent alors comme si, à l'intérieur du cristal, suivant le rayon SV, se propageaient deux vibrations, l'une parallèle à l'axe n', l'autre parallèle à l'axe n''. De plus l'indice de réfraction de la vibration parallèle à n' est précisément égal à la longueur n' de l'axe de l'ellipse découpée par AB et, de même, l'indice de réfraction de la vibration n'' est égal à la longueur de l'axe n''.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Comme, en général, n' est différent de n'', les deux indices de réfraction sont inégaux et comme la direction SV de propagation des deux vibrations fait, sur la face de sortie VD, l'angle β avec la normale NN', il y aura, à la sortie, deux rayons réfractés VX et VX' qui feront avec la normale NN' des angles α et α' tels que l'on ait :

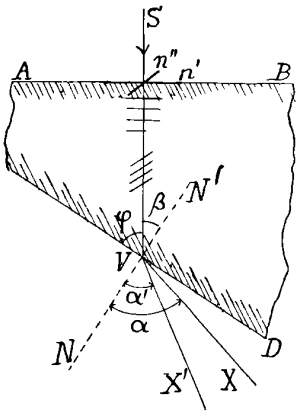


Fig. 170.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n' \qquad \frac{\sin \alpha'}{\sin \beta} = n'' .$$

Tel est le phénomène de la *double réfraction*, que l'on peut aisément constater dans un solide de clivage de la variété transparente de calcite connue sous le nom de *spath d'Islande* ; dans ce minéral, les indices n' et n'' sont très différents l'un de l'autre, de sorte que les deux images produites, par exemple, par un seul point noir examiné au travers du cristal, s'écartent fortement à la sortie et sont bien distinctes.

160. — Pour que les rayons sortent du cristal, il faut que l'angle β soit plus petit que l'angle limite. Or, ici, il y a deux angles limites donnés par $\sin l' = \frac{1}{n'}$ et $\sin l'' = \frac{1}{n''}$. Il peut donc se faire que β soit compris entre l' et l'', de façon que sorte seul l'un des deux rayons.

Observons ici que le seul fait du passage du rayon lumineux au travers d'un cristal polarise rectilignement (**143**) la lumière puisque, à l'intérieur du cristal, chaque vibration devient parallèle à une même droite.

161. — L'ellipsoïde que nous avons imaginé à l'intérieur du cristal est appelé *ellipsoïde des indices*, parce qu'il permet de déterminer les deux indices n' et n'' relatifs à un rayon lumineux SV qui se propage à l'intérieur du cristal : ces deux indices sont en effet représentés par les deux axes de l'ellipse découpée dans l'ellipsoïde par le plan perpendiculaire au rayon.

Comme les ellipses découpées dans un ellipsoïde par des plans d'orientations différentes ont des axes inégaux, il y a, dans un

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

ristal, une infinité d'indices de réfraction dont les valeurs sont omprises entre les deux indices représentés par l'axe maximum n_g et l'axe minimum n_p.

162. — Les indices n_g, n_m et n_p sont les *indices principaux* du minéral. Les propriétés optiques d'un minéral sont déterminées lorsqu'on connaît les trois valeurs de ces indices principaux, ainsi que l'orientation dans le cristal des trois droites (perpendiculaires entre elles) qui les représentent dans l'ellipsoïde des indices. On peut, par exemple, dans ce cas, déterminer par le calcul (**150**) les indices n' et n'' relatifs à un plan quelconque dont on donne l'orientation dans le cristal(1).

163. — Tous les indices de réfraction des minéraux sont plus grands que 1 ; pour quelques minéraux, ils dépassent 2 ; en général, on les mesure avec trois décimales au moins. Les indices varient avec la longueur d'onde de la lumière employée pour la mesure : ainsi, pour le quartz, on a trouvé :

	λr	λj	λb	λv
n_g	1,54990	1,55328	1,55894	1,56772
n_p	1,54090	1,54418	1,54965	1,55817
Différence :	0,00900	0,00910	0,00929	0,00955

La différence entre les indices maximum et minimum varie considérablement d'un minéral à l'autre ; nous voyons que, pour le quartz, elle est égale à 9 millièmes ; pour l'aragonite, dont les indices sont :

$$n_g = 1{,}6859 \qquad n_p = 1{,}5301,$$

la différence $n_g - n_p$ est égale à 156 millièmes.

Les indices varient en même temps que la composition chimique. Ainsi, dans l'enstatite (Mg^2SiO), une partie de MgO est remplacée par FeO, et l'espèce passe à l'hyperstène ; les indices augmentent la teneur de FeO :

(1) On désigne souvent ces trois indices par les lettres α, β et γ ($\alpha < \beta < \gamma$). C'est ainsi qu'ils sont indiqués dans la minéralogie descriptive.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

	% FeO	n_g	n_m	n_p	$n_g - n_p$
Enstatite	2,76	1,665	1,659	1,656	9
Hyperstène	13,00	1,705	1,702	1,692	13

164. — Supposons que, à l'aide d'une lunette tournant autour du point V, on mesure (fig. 170) les angles α et α' ; supposons aussi que l'angle des faces AB et VD ait été mesuré au goniomètre, ce qui donne l'angle β. On possède alors les éléments pour déterminer les indices n' et n'' relatifs à la face AB du cristal.

Or, on verra plus loin (**172**) que la position des indices principaux est liée à la symétrie géométrique du cristal et qu'il est généralement aisé de choisir la face d'entrée AB de façon que son ellipse de section ait pour axes deux des indices principaux, par exemple n_g et n_p ; en répétant l'expérience relativement à une autre face d'entrée dont les indices sont n_m et n_p, on pourra déterminer les trois indices principaux ainsi que leur orientation.

Considérons, par exemple, un cristal orthorhombique ; la symétrie géométrique exige que les indices principaux coïncident avec les axes binaires. Taillons dans le cristal deux prismes, l'un avec face d'entrée parallèle à g^1, l'autre avec face d'entrée parallèle à h^1. A l'aide de ces prismes, on détermine les deux indices relatifs à g^1 et les deux indices relatifs à h^1 ; supposons que l'on ait trouvé :

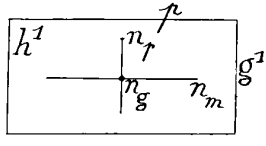


Fig. 171.

pour g^1 { 1,6138 / 1,5700 pour h^1 { 1,5757 / 1,5700

La valeur égale dans les deux expériences (1,5700) étant relative à l'indice dirigé suivant l'intersection de g^1 et de h^1, on a l'orientation suivante :

n_g est perpendiculaire à h^1 et égal à 1,6138
n_m est perpendiculaire à g^1 et égal à 1,5757
n_p est perpendiculaire à p et égal à 1,5700

C'est l'orientation figurée dans la fig. 171 et qui est relative à l'anhydrite.

165. — La mesure exacte des indices de réfraction se fait à l'aide d'instruments spéciaux appelés *spectromètres* et *réfrac-*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

tomètres. Les premiers mesurent l'angle de déviation éprouvé par le rayon lumineux au travers d'un prisme naturel ou taillé dans le cristal ; les seconds mesurent l'angle limite (**158**) au contact d'une face plane du cristal et d'une demi-sphère en verre d'indice élevé. Ces appareils peuvent, lorsque l'on dispose de bons échantillons, donner des résultats très précis.

Dans la pratique minéralogique, on peut cependant déjà obtenir de très bonnes appréciations à l'aide des procédés suivants.

166. — *Cas de petits fragments.* — Supposons (fig. 172) deux substances A_N et A_n en lamelles très minces juxtaposées et d'indices différents $N > n$; éclairons-les au microscope à l'aide d'un faisceau de rayons convergent. Soit B un point de la surface DD′ de

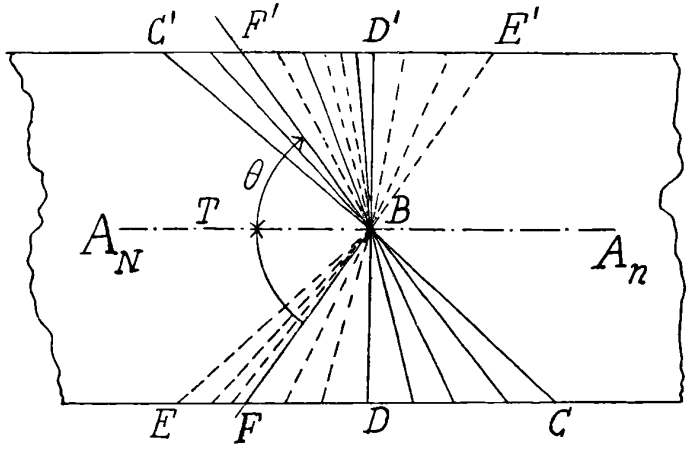


Fig. 172.

séparation, qui est supposée normale au plan des lamelles. Tous les rayons qui parviendront en B en provenant de la partie CD de l'éclaireur seront réfractés de A_n vers A_N, puisque $n < N$ et sortiront donc en C′D′. Mais de tous les rayons provenant de DE, seuls seront réfractés ceux qui font avec la normale BT un angle plus petit que l'angle limite θ (**158**) et ils sortiront en E′D′ ; les autres, provenant de la portion DF, seront réfléchis et sortiront en D′F′. Le faisceau émergent sera donc dissymétrique des deux côtés de la surface de séparation et *l'intensité lumineuse sera plus grande du côté de la substance la plus réfringente.*

Ceci explique que les contours d'un fragment minéral placé dans un liquide de même réfringence sont invisibles, parce que les rayons traversent la surface de séparation sans déviation et sans réfrac-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

tion. Si le minéral est, au contraire, plus réfringent, certains rayons subiront la réflexion totale et les contours deviendront obscurs ; ils apparaîtront d'autant plus que la différence entre les indices du minéral et du liquide sera plus grande.

Pour une raison analogue, les aspérités de la surface d'une lamelle cristalline plongée dans du baume apparaissent d'autant plus fortement que le minéral est plus réfringent ; c'est ce que l'on appelle son *relief*.

Une échelle de comparaison a été dressée à cet effet :

n° 1. — absence de relief :	baume	n =	1,54
n° 2. — relief faible :	quartz		1,55
n° 3. — relief moyen :	andalousite		1,61
n° 4. — relief marqué :	olivine		1,70
n° 5. — relief fort :	épidote		1,75
n° 6. — relief très fort :	grenat		1,80
n° 7. — relief extrême :	rutile		2,00

Les reliefs des lamelles se décèlent aussi lorsqu'on peut les comparer les unes aux autres par juxtaposition, comme cela se fait dans l'étude de lames minces de roches.

167. — Ces phénomènes de réfraction sur les bords de petits grains noyés dans un liquide d'indice connu permettent d'apprécier et même de mesurer les grandeurs de ses indices. En effet, on peut considérer chaque grain comme formant une lentille dont le foyer se trouve vers le haut ou vers le bas suivant que l'indice du grain est plus élevé ou plus faible que l'indice du liquide. Après avoir mis au point le contour du minéral, on élève lentement le tube du microscope et l'on voit une frange lumineuse blanche (frange de Becke), épousant la forme du contour, se former à l'intérieur ou à l'extérieur du grain suivant que l'indice de celui-ci est plus grand ou plus petit que l'indice du liquide.

On peut même employer une platine chauffante qui permet d'élever la température du liquide ; celui-ci se dilatant plus rapidement que le grain solide, son indice de réfraction diminue (en général de 0,0005 par degré) et, en précisant le moment où le phénomène de la frange change de sens, on précise de cette façon la grandeur de l'indice.

On utilise une gamme de liquides d'indices connus, variant de 1,33 à 1,74 et l'on emploie aussi des mélanges fondus de soufre et sélénium dont les indices peuvent monter jusque 3,17.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Lorsque les minéraux sont juxtaposés, comme dans une lame mince de roche, on peut se borner à observer leur ligne de contact en plaçant le doigt ou une carte sous le système optique du microscope et en formant ainsi une ombre qui occupe une partie du champ ; le minéral dont l'indice est le plus fort offre alors une bordure sombre du côté de l'ombre, une bordure brillante à l'opposé, et inversement pour le minéral d'indice plus faible.

168. — Une mesure approximative de l'indice médian peut aussi se faire au microscope par la *méthode du duc de Chaulnes*. Une vis micrométrique, adaptée au tube principal du microscope, permet de mesurer l'épaisseur de la lamelle en mettant successivement au point la partie supérieure et la lame porte-objet ; soit E cette épaisseur (fig. 173). Si l'on met ensuite au point, *à travers la lame cristalline*, des poussières qui se trouvent en i sur le porte-objet, la lumière se comporte comme si elle provenait d'un point i' situé au-dessus à une certaine distance de i ; l'épaisseur mesurée e est alors l'épaisseur apparente. Or, on démontre que $n = \frac{E}{e}$.

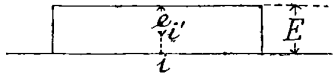


Fig. 173.

Cette méthode rend parfois de grands services parce qu'elle est très rapide ; il faut employer des lamelles simplement placées sur le porte-objet et non collées ; la mesure est d'autant plus exacte que l'épaisseur E est plus grande et que le minéral est plus réfringent. En général, on est certain du 1/10°, rarement du 1/100°.

169. — *Loi de Gladstone.* — Soit, sur un chemin parcouru par la vibration lumineuse, m la longueur occupée par les molécules matérielles, $(1 - m)$ la longueur occupée par l'éther. Si 1 et ν sont les temps employés par la lumière à traverser respectivement l'unité de longueur de l'éther et celle des molécules, le temps employé à traverser l'unité de longueur du corps, c'est-à-dire l'indice n de ce corps, est donné par :

$$n = m\,\nu + (1 - m)$$

ou

$$n - 1 = (\nu - 1)\,m.$$

La longueur m varie avec chacune des lignes que l'on peut mener au travers du corps et la moyenne de toutes ces valeurs est pro-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

portionnelle au volume occupé par les molécules dans l'unité de volume du corps ; ce volume étant proportionnel au poids, la moyenne des valeurs de m est proportionnelle à la densité d et l'on a :

$$\frac{n-1}{d} = K(\nu - 1)$$

Si ν est constant, c'est-à-dire si la molécule a toujours les mêmes propriétés réfringentes, on conclura que

$$\frac{n-1}{d} = K$$

Cette quantité constante est l'*énergie réfractive spécifique* de la substance.

L'énergie réfractive spécifique d'un mélange est à peu près la moyenne arithmétique des énergies des corps mélangés. Dans beaucoup de cas, il en est de même pour les combinaisons, de sorte que l'on peut écrire :

$$\frac{n-1}{d} = k\frac{p}{100} + k'\frac{p'}{100} + \ldots$$

formule où p, p', ... résultent de la composition centésimale et k, k', ... sont les énergies réfractives des composants. On peut donc calculer l'indice médian d'une substance dont on connaît la composition et la densité.

Les énergies spécifiques de diverses bases et oxydes sont données en annexe (table II).

§ 4. — AXES OPTIQUES. — CRISTAUX BIAXES ET UNIAXES. CRISTAUX POSITIFS ET NÉGATIFS. — ORIENTATION OPTIQUE.

170. — Nous appelons *axes optiques* (**152**) les deux droites OS et OS′ perpendiculaires aux sections cycliques de l'ellipsoïde (fig. 165). Comme il n'y a pas lieu de distinguer un rayon de l'autre dans une section circulaire, la lumière n'est pas polarisée ; suivant les axes optiques, il n'y a qu'un seul indice n_m, et, par conséquent, un seul rayon réfracté à la sortie.

L'angle *aigu* que les axes optiques font entre eux est désigné par 2 V. Comme les axes optiques se trouvent toujours dans le

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

plan de n_g et de n_p, la bissectrice de cet angle (ou bissectrice aiguë) sera nécessairement l'un des deux indices n_g ou n_p.

Si l'ellipsoïde est de révolution (**153** et **154**), il n'y a qu'un seul axe optique, dirigé suivant l'axe de révolution, lequel peut être n_p ou n_g.

Les minéraux, d'après ce qui précède, peuvent être *biaxes* ou *uniaxes* ; leurs cristaux sont dits *anisotropes* ; les corps *isotropes* sont les corps amorphes et certains corps cristallisés dans lesquels l'ellipsoïde devient une sphère et qui n'ont tous qu'un seul indice de réfraction (1).

171. — Un minéral biaxe est dit de signe *positif* lorsque la bissectrice aiguë est dirigée suivant n_g et de signe *négatif* lorsqu'elle est dirigée suivant n_p. De même, un cristal uniaxe est positif ou négatif suivant que l'axe optique est dirigé suivant n_g ou n_p.

172. — Dans tout ellipsoïde (fig. 164) à trois axes inégaux, les axes principaux OA, OB, OC sont des axes binaires de la surface et les plans OAB, OAC, OBC sont des plans de symétrie. Dans tout ellipsoïde de révolution (fig. 166), tous les plans passant par l'axe de révolution sont des plans de symétrie.

L'ellipsoïde doit être orienté dans la forme primitive d'une substance cristallisée de façon que ses éléments de symétrie coïncident avec les éléments semblables du réseau.

A. — Dans le *système orthorhombique*, les trois indices principaux sont dirigés suivant les L^2 et cette condition est suffisante. Il y a donc six orientations possibles, suivant que n_g sera normal à h^1, à g^1 ou à p et que, dans chacun de ces cas, n_p occupera l'une ou l'autre direction des deux autres L^2. Pour préciser l'orientation optique, il suffira de dire à quel plan de symétrie est parallèle le plan des axes optiques (plan de n_g et n_p) et quelle est la direction de l'une de ces bissectrices, de préférence celle de la bissectrice aiguë dont on indiquera le signe. Par exemple, on dira :

Plan des axes optiques parallèle à h^1, bissectrice (2) positive perpendiculaire à g^1.

---

(1) Mentionnons ici que, dans les corps isotropes, la direction du rayon lumineux coïncide (fig. 158) avec la direction AB *de propagation du plan d'onde* S ; dans les corps anisotropes, les deux directions ne coïncident pas, mais font entre elles un angle qui est généralement très faible.

(2) Sous-entendu *aiguë*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Cette orientation est dessinée dans la figure 174 ; l'indice parallèle à la bissectrice aiguë (n_g dans ce cas) est souligné, de sorte que l'épure montre quel est le signe du minéral.

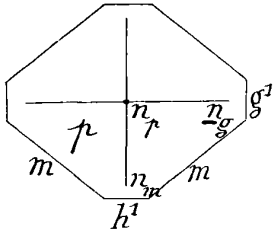


Fig. 174.

B. — Dans le *système clinorhombique*, l'un des axes principaux coïncide nécessairement avec l'axe binaire, mais les deux autres peuvent être situés d'une façon quelconque dans le plan de symétrie. Deux cas peuvent se présenter :

1° Le plan des axes optiques est parallèle au plan de symétrie g^1 ; l'axe moyen n_m est donc dirigé suivant L^2 et il restera à fixer l'orientation et le signe, dans g^1, de la bissectrice aiguë ; à cet effet, on donnera la valeur de l'angle α que fait cette bissectrice avec la verticale et cet angle α sera compté positivement ou négativement suivant que la bissectrice, dans le haut, se dirige vers l'angle *a* ou vers l'angle *o*. Par exemple, on dira (fig. 175) :

Plan des axes optiques parallèle à g^1 ; bissectrice, négative, fait dans g^1 un angle $\alpha = -67°30$.

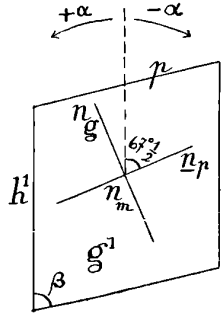


Fig. 175.

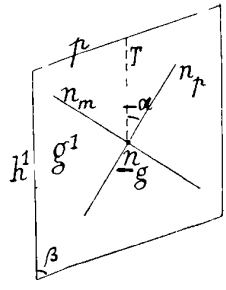


Fig. 176.

2° l'axe binaire coïncide avec n_g ou n_p ; le plan des axes est donc perpendiculaire à g^1 et l'on indiquera l'angle α que fait, dans g^1, l'autre bissectrice avec la verticale. Par exemple (fig. 176) :

Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 ; bissectrice obtuse, négative, fait dans g^1, un angle $\alpha = -8°47'$. (Le minéral est donc +).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

C. — Dans le *système clinoédrique*, l'orientation des indices principaux est quelconque et il devient nécessaire de donner les angles de deux d'entre eux avec les normales à trois faces du cristal.

D. — Dans les *systèmes quadratique, hexagonal et rhomboédrique*, l'un des indices principaux est dirigé suivant l'axe multiple et il s'ensuit que les deux autres sont égaux entre eux ; d'ailleurs, il y a plus de deux plans de symétrie qui passent par le A^n. L'ellipsoïde est donc de révolution et les minéraux cristallisant dans ces systèmes sont uniaxes. Il suffira donc de connaître si l'axe optique coïncide avec n_g ou n_p, c'est-à-dire si le minéral est positif ou négatif.

Observons ici que, pour un plan quelconque, l'un des axes de l'ellipse est toujours égal au rayon de l'équateur (**153**) ; la vibration lumineuse correspondante est dite *ordinaire* et on désigne l'indice correspondant par ω ; l'autre vibration, d'indice variable, est dite extraordinaire et son indice est désigné par ε. Dans les uniaxes positifs, on a toujours $\varepsilon > \omega$ puisque $\omega = n_p$; dans les négatifs $\varepsilon < \omega$, puisque $\omega = n_g$.

E. — Dans le *système cubique*, les trois indices sont dirigés suivant les A^4 et, à cause des A^3, ils sont égaux entre eux. L'ellipsoïde devient donc une sphère et les minéraux cubiques sont isotropes.

§ 5. — NICOLS.

173. — On construit les nicols [1] à l'aide de cristaux purs et transparents de calcite (spath d'Islande). La calcite est rhomboédrique et négative. Il s'ensuit qu'un rayon lumineux tombant sur une face *p* se divise en deux rayons réfractés dont l'un a pour indice $n_g = 1{,}658$ et dont l'autre est compris entre n_g et $n_p = 1{,}486$ (**154**). Soit ABCD (fig. 177) la section faite dans un solide de clivage par un plan de symétrie ; un rayon S, tombant sur une face *p*, se réfracte en deux rayons TU et TV. On divise le cristal en deux par un plan EF convenablement orienté et l'on recolle les deux parties à l'aide de baume, d'indice 1,549 compris entre les

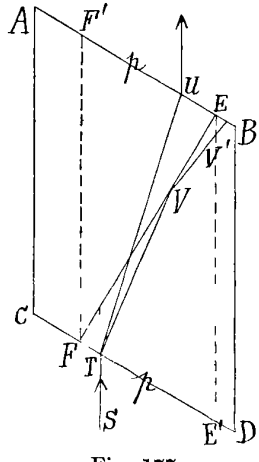


Fig. 177.

[1] Du nom du physicien anglais Nicol.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

deux indices précédents. La section EF est faite de telle façon que le rayon TV d'indice 1,658 subit la réflexion totale (**158**) et est rejeté en VV'. Le cristal étant alors limité par les plans EE' et FF', les rayons d'indice n_p le traversent seuls et l'on sait qu'ils vibrent dans le plan de symétrie ABCD. On obtient donc de la lumière polarisée dont on connaît la direction de vibration.

§ 6. — POLYCHROÏSME (PLÉOCHROÏSME).

174. — Lorsque, avec de la lumière blanche, on examine un cristal par transparence, tout ou partie des couleurs composant la lumière peut être absorbée ; suivant la proportion des couleurs absorbées, le minéral paraît alors diversement coloré, ou même opaque.

L'absorption dépend de l'épaisseur. Les minéraux, colorés en masse, peuvent donc changer de teinte en lame mince ; ils peuvent aussi devenir incolores ; pour d'autres, l'opacité persiste, quelle que soit l'épaisseur. Ainsi, la magnétite reste opaque ; l'oligiste prend, en lames très minces, une teinte rouge ; l'or devient vert.

175. — L'absorption diffère, dans les cristaux anisotropes, suivant la direction traversée par une vibration lumineuse. Si donc on fait tomber un rayon polarisé sur un cristal, parallèlement à chacun des trois indices principaux, la teinte obtenue pourra varier. C'est ainsi que la cordiérite présente une teinte bleu clair suivant n_g, violet foncé suivant n_m et jaune clair suivant n_p.

176. — Cette propriété que possèdent les cristaux de présenter des teintes différentes suivant les directions traversées par la lumière, constitue le *polychroïsme* ; une lame d'un corps polychroïque présente deux teintes différentes suivant les deux axes de son ellipse de section : elle est *dichroïque*.

Pour constater le dichroïsme d'une lame, il suffit de l'examiner au microscope polarisant, au-dessus d'un nicol (polariseur) et sans employer l'analyseur (**144**) ; en tournant la lame autour de l'axe du microscope, on observera les changements de couleurs ou de teintes.

La différence de teintes est la plus forte pour une lame parallèle à n_g et n_p.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En général, l'absorption est d'autant plus grande et la teinte plus foncée que la vibration traverse plus lentement le cristal ; comme l'indice de réfraction est inverse de la vitesse (**156**), la teinte plus foncée coïncide avec la vibration n_g et la teinte la plus claire avec n_p. Cette loi, dite de Babinet, ne se vérifie cependant pas toujours.

Dans la tourmaline, qui est rhomboédrique et négative, l'absorption suivant le rayon ordinaire (n_g) est si forte que la vibration est complètement absorbée, de sorte qu'un cristal parallèle à l'axe fait office de nicol et ne laisse passer que des vibrations parallèles à l'axe.

Les teintes d'un minéral en lames minces, vues au-dessus du polariseur, ne doivent pas être confondues avec les teintes de polarisation (**185**) que ces lames donnent entre nicols croisés.

§ 7. — LUMIÈRE PARALLÈLE.

A. — Lumière monochromatique

177. — Lorsqu'on examine une lame cristalline, limitée (fig. 178) par deux plans AB et CD parallèles entre eux, en la plaçant sur la platine d'un microscope, on envoie, sur la face inférieure, un faisceau de lumière polarisée composé de rayons parallèles entre eux. En tout point M de la partie supérieure, les phénomènes produits seront identiques puisque tous les rayons traversent la lame dans des conditions identiques : pour chacun d'eux, l'épaisseur traversée est la même et l'ellipse perpendiculaire est l'ellipse découpée par le plan CD dans l'ellipsoïde du cristal. On dit alors que la lame est étudiée en lumière parallèle.

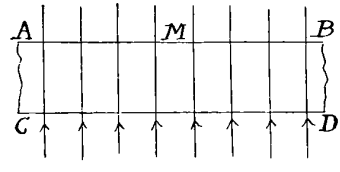


Fig. 178.

178. — Nous avons vu (**145**) que les deux nicols du microscope sont croisés et que les directions des vibrations qu'ils émettent sont indiquées par les fils OP et OA d'un réticule (fig. 179). Eclairons le microscope par une lumière monochromatique, telle qu'une lumière rouge, de longueur d'onde $\lambda = 0{,}624$. Les deux nicols croisés ne laissent pas passer de lumière (**145**). Mais si nous plaçons sur la platine une lame cristalline, avec les axes n' et n'' de son

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

ellipse de section placés à 45° des fils du réticule, nous verrons que le champ du microscope s'éclaire d'une teinte rouge là où se trouve la lamelle. On peut expliquer comme suit ce phénomène (1).

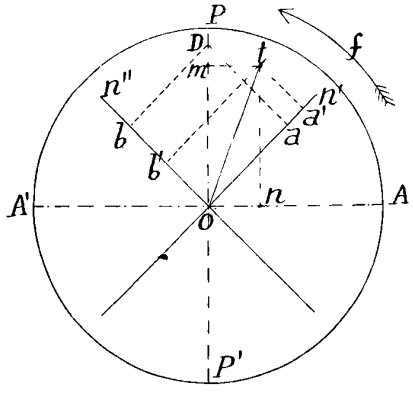


Fig. 179.

Nous pouvons représenter par une certaine longueur OD la vibration qui sort du polariseur. En pénétrant dans la lame, cette vibration donne naissance à deux vibrations Oa et Ob parallèles aux deux axes n' et n'' de l'ellipse de la lame. Mais ces deux vibrations ne traversent pas la lame avec la même vitesse, de sorte que, à la sortie, elles peuvent être représentées par les longueurs Oa' et Ob' qui donnent, dans l'air, un rayon polarisé représenté par Ot. En arrivant sur l'analyseur, la vibration Ot se décompose suivant On et Om ; la vibration Om est arrêtée, tandis que On passe et arrive à l'œil de l'observateur. La lumière est donc rétablie.

179. — Supposons maintenant que nous fassions tourner la lame autour de l'axe O du microscope dans le sens de la flèche f, ce qui revient à faire tourner les axes n' et n'' de l'ellipse de section. Il arrivera un moment où ces axes coïncideront avec les directions OP et OA. Dans cette position, la vibration OD traverse intégralement la lame suivant On' qui lui est parallèle et cette vibration est arrêtée par l'analyseur : la lame devient obscure.

Dans le mouvement de rotation, la teinte de la lame diminue d'intensité, puis disparaît, pour réapparaître si l'on continue la rotation. Il y a, pendant un tour complet de 360°, quatre extinctions qui se produisent quand On' coïncide avec OP, OA, OP' et OA' (On'' lui étant toujours perpendiculaire).

180. — Si la lame est perpendiculaire à un axe optique, son ellipse de section devient un cercle et il n'y a plus de différence de vitesse entre les deux vibrations Oa et Ob qui la traversent. La résultante, au sortir de la lame, est donc encore OD et cette

(1) Voir compléments, n^{os} **553 à 557.**

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

vibration est arrêtée par l'analyseur. D'ailleurs, on peut considérer qu'à chaque instant un rayon de la section cyclique coïncide avec OP ; une lame de ce genre ne rétablit pas la lumière.

181. — Les observations précédentes permettent de préciser si une lame est perpendiculaire ou non à un axe optique et, dans ce dernier cas, de déterminer les directions des axes de l'ellipse de section par rapport à ses contours géométriques. Ainsi, une lame de clivage g^1 de gypse s'éteint (fig. 180) lorsque la normale à la trace h^1 fait un angle de 37° ½ avec l'un des fils du réticule.

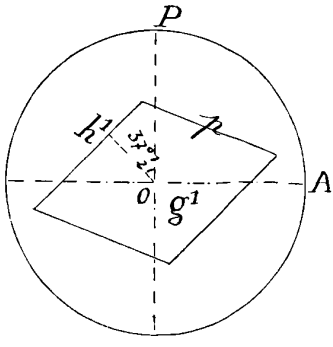


Fig. 180.

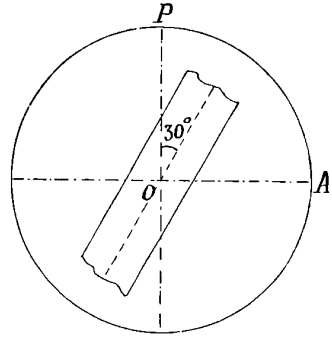


Fig. 181.

182. — Les angles ainsi mesurés sont dits *angles d'extinction* de la lame ; on les rapporte à une ligne cristallographique remarquable telle qu'une trace de clivage, une direction d'allongement, etc.

La détermination de l'angle d'extinction d'une lame est souvent très utile dans les études cristallographiques. Exemple : le disthène (Al^2SiO^5) se trouve en cristaux allongés et possédant un clivage facile parallèle à l'allongement : une lame de clivage (fig. 181) s'éteint à 30° de cette direction ; on peut déduire de ces faits que le disthène est clinorhombique ou clinoédrique ; car, s'il était uniaxe, le clivage *unique* devrait être perpendiculaire à l'axe optique et il y aurait extinction continue ; s'il était orthorhombique, le clivage devrait être parallèle à l'un des plans de symétrie et l'allongement devrait se faire parallèlement à l'un des axes binaires de ce plan, axe qui serait parallèle à l'un des indices principaux : la lame s'éteindrait donc parallèlement à l'allongement.

183. — Si l'on considère une suite de faces en zone, c'est-à-dire parallèles à une même droite, et si l'axe de zone est l'un des indices

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

principaux, pour toute face de la zone, l'ellipse de section aura l'un de ses axes parallèle et égal à cet indice principal. Ainsi, quelle que soit la face e^2 d'un cristal de quartz qui repose sur le porte-objet (fig. 182), il y aura extinction lorsque l'axe du cristal sera dirigé suivant l'un des fils du réticule.

Mais si l'axe de zone n'est pas l'un des indices principaux, la direction d'extinction sera oblique à l'allongement et l'angle d'extinction variera d'une face à l'autre de la zone.

La reconnaissance des espèces cristallines est souvent basée sur la mesure des angles d'extinction dans des zones remarquables ; on en donnera l'application dans l'étude des feldspaths, des pyroxènes, des amphiboles, etc.

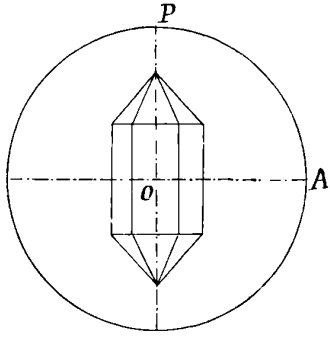


Fig. 182.

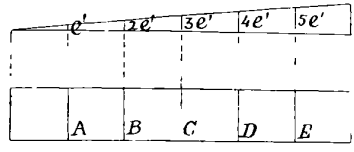


Fig. 183.

184. — Il existe certaines épaisseurs, pour une lame découpant une ellipse d'axes n' et n'', pour lesquelles, en lumière monochromatique λ, la lame reste toujours éteinte quelle que soit son orientation sur la platine du microscope. Cela est dû à ce que, pour chacune de ces épaisseurs, la résultante Ot, à la sortie de la lame, (fig. 179), coïncide toujours avec OP. Ces épaisseurs sont :

$$e' = \frac{\lambda}{n' - n''}, \; 2\,e', \; 3\,e', \; \ldots \; (1)$$

Il suit de là que si une lame taillée en biseau (fig. 183) est examinée au microscope, avec ses axes d'ellipse à 45° des nicols,

(1) Ainsi, pour une lame de quartz parallèle à l'axe, les indices étant 1,553 et 1,544, avec la lumière rouge $\lambda = 625$ millionièmes de millimètre, on a

$$e' = \frac{625 \text{ millionièmes}}{9 \text{ millièmes}} = 7 \text{ centièmes de millimètre.}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

elle prendra la teinte due à la longueur d'onde de la lumière employée, tout en présentant, de distance en distance, des raies noires A, B, C, ...

B. — Lumière blanche. — Echelle des teintes de Newton

185. — Si l'on éclaire le microscope avec de la lumière blanche (la lumière solaire, par exemple) dans laquelle les diverses longueurs d'onde λ_r, λ_j, λ_v ..... entrent dans diverses proportions, comme l'épaisseur e' dépend de λ, là où il y a extinction pour le rouge, les autres couleurs se combineront pour donner une certaine teinte. Les teintes se succéderont donc, sans raies obscures, dans le biseau de la figure 183 et suivant un certain ordre qui constitue l'*échelle des teintes* de Newton. Ces teintes sont dites *teintes de polarisation.*

186. — En lumière blanche, une lame à faces parallèles prendra l'une de ces teintes, dépendant de son épaisseur e et de la différence des axes n' et n'' de son ellipse de section. D'ailleurs, lorsqu'on fera tourner la lame, cette teinte augmentera ou diminuera d'intensité d'après la position des axes d'ellipse par rapport aux nicols, s'éteignant lorsque ces axes d'ellipse seront parallèles aux fils du réticule (**179**).

187. — La vibration qui se meut parallèlement à l'axe n', à l'intérieur de la lame met, pour la traverser, un temps t qui est égal à l'épaisseur e de la lame (espace parcouru) divisé par sa vitesse r'. Or, la vitesse est précisément égale à l'inverse de l'indice de réfraction n'. On a donc, pour chacune des deux vibrations :

$$t' = \frac{e}{r'} = e\,n' \qquad\qquad t'' = \frac{e}{r''} = e\,n''$$

La différence des temps que mettent les deux vibrations à traverser la lame, ou le *retard* R que l'une d'entre elles prend sur l'autre (*retard de la lame*), est donc :

$$R = en' - en'' = e\,(n' - n'').$$

La teinte d'une lame d'indices n' et n'' dépend de son retard R.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On évalue le retard en *cent-millièmes de millimètre* (1) et l'on a mesuré les retards pour toutes les teintes de l'échelle de Newton. Le tableau suivant donne les retards correspondant à quelques teintes :

	Retard R	Teinte
1er ordre	10	gris
	23	blanc
	28	jaune paille
	51	orangé rougeâtre
	55	rouge
2e ordre	57,5	*violet* (v_1)
	59	indigo
	66	bleu
	75	vert
	87	jaune
	100	orangé
	110	rouge violacé
3e ordre	112,8	*violet* (v_2)
	115	indigo
	126	bleu
	133	vert
	153	rouge carmin
4e ordre	165	gris violacé (v_3)
	168	bleu
	174	vert
	200	gris blanc

On voit que les teintes sont divisées en quatre ordres dans chacun desquels elles se succèdent à peu près régulièrement. On dit que la teinte monte lorsque le retard augmente. Les teintes du 4e ordre sont beaucoup moins nettes que les teintes des ordres précédents et, au-dessus du gris blanc de retard 200, les lames ne donnent plus de teintes caractéristiques. On ne devra donc les examiner qu'avec des épaisseurs telles qu'elles donnent des teintes variant du 1er au 3e ordre. Ces épaisseurs sont de quelques centièmes de millimètre.

---

(1) Le temps est ici évalué en *espace* : c'est la différence des espaces d'air ε' et ε'' que les vibrations traverseraient dans les temps qu'elles mettent à traverser la lame. La vitesse dans l'air étant 1, on a :

$$t' = \frac{e}{r'} = \varepsilon' \qquad t'' = \frac{e}{r''} = \varepsilon''$$

d'où $$R = \varepsilon' - \varepsilon'' = e\left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{r''}\right) = e\,(n' - n'').$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

188. — Les violets marqués v_1, v_2, v_3 sont des *teintes sensibles* car, pour de très faibles variations de retard, elles montent au bleu ou descendent au rouge.

Notons ici que, le retard dépendant des épaisseurs et des différences des indices, deux lames taillées dans des minéraux différents, d'épaisseurs e' et e'', d'indices n'_1 et n''_1, n'_2 et n''_2, peuvent donner la même teinte. Il suffit pour cela que l'on ait :

$$e' \ (n'_1 - n''_1) = e'' \ (n'_2 - n''_2)$$

La teinte n'est donc pas une caractéristique d'un minéral, non plus que d'un plan quelconque mené au travers d'un cristal.

C. — Signe des directions d'extinction

189. — Des deux directions d'extinction d'une lame, l'une correspond au grand axe n' de l'ellipse de section, l'autre au petit axe n''. La première est la direction *positive*, la deuxième la direction *négative*.

Il est utile de pouvoir déterminer le signe d'une direction d'extinction. Par exemple, dans le cas de cristaux uniaxes, si l'on emploie une lame parallèle à l'axe et sur laquelle on a repéré la position du Λ^n (qui est l'axe optique), la détermination du signe de cette direction revient à dire si le minéral lui-même est positif ou négatif (**172**, *D*). C'est notamment le cas du quartz de la figure 182.

190. — La détermination du signe des directions d'extinction repose sur le fait suivant :

« Lorsqu'on superpose deux lames cristallines, de telle façon » que leurs axes d'ellipses soient superposés, les deux retards » s'ajoutent ou se retranchent suivant que les grands axes sont » parallèles ou croisés ».

En effet, soient N' et n' les deux indices relatifs à deux des axes superposés, N'' et n'' les deux indices relatifs aux deux autres axes superposés, E et e les épaisseurs des deux lames ; le temps mis à traverser les deux lames est $(EN' + e\,n')$ pour la première vibration, $(EN'' + e\,n'')$ pour la seconde. Le retard total est donc :

$$R = (EN' + en') - (EN'' + en'') = E\,(N' - N'') + e\,(n' - n'').$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Si $N' > N''$ et $n' > n''$, c'est-à-dire si les grands axes sont superposés, on a :

$$R = R_1 + R_2$$

mais si $N' > N''$ et $n' < n''$, c'est-à-dire si les grands axes sont croisés, on doit écrire :

$$R = E(N' - N'') - e(n'' - n') = R_1 - R_2.$$

Ainsi, supposons qu'une lame donne un retard 57,5 correspondant au violet v_1 et superposons-lui, à axes parallèles, une lame de retard 13,7 donnant le gris. Si les grands axes sont parallèles, le retard total sera : 57,5 + 13,7 = 71,2 donnant le bleu verdâtre ; s'ils sont croisés, il deviendra : 57,5 — 13,7 = 43,8 donnant l'orangé.

Si les retards des deux lames étaient égaux, on obtiendrait l'extinction dans le cas des grands axes croisés, puisque le retard total deviendrait nul ; on dit alors qu'il y a *compensation.*

191. — On comprend par là que, si l'on connaît la direction positive d'une lame quelconque (lame témoin), on peut déterminer les signes des directions d'extinction d'une autre lame.

A cet effet, on place la lame à examiner sur la platine du microscope, on produit l'extinction et l'on tourne de 45° ; les directions d'extinction se trouvent alors à 45° des fils du réticule.

Ensuite dans une ouverture OO' (fig. 184), pratiquée dans le tube du microscope, un peu au-dessus de l'objectif, on introduit la lame témoin AB, qui est placée entre deux lames de verre rectangulaires ; la construction est faite de façon que ses axes d'ellipse sont à 45° des bords du rectangle, de sorte que ses directions d'extinction sont superposées à celles de la lame à étudier, placée comme il est dit ci-dessus ; on a, de plus, indiqué sur le verre, à l'aide d'une flèche f par exemple, la direction d'extinction positive de la lame témoin.

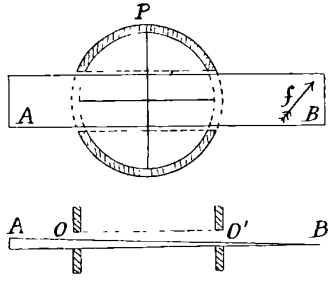


Fig. 184.

Dans ces conditions, si la teinte monte, c'est que la direction positive de la lame étudiée est dirigée suivant f ; si la teinte descend, c'est qu'elle est perpendiculaire à f,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les constructeurs de microscope fournissent des lames témoins préparées ; on emploie, suivant, les cas, un mica $\frac{1}{4}$ d'onde, un gypse teinte sensible, ou un biseau de quartz.

192. — MICA $\frac{1}{4}$ D'ONDE. — C'est une lame de clivage de mica blanc, d'épaisseur 4,3 centièmes de millimètre et donnant la teinte gris bleu correspondant à un retard 13,7. On l'appelle quart d'onde parce que ce retard est égal à $\frac{\lambda_j}{4}$.

Cette lame convient très bien pour la détermination du signe des directions d'extinction de lames donnant des teintes du 1er ordre ; car, par addition, elle amène alors les teintes vives du 2d ordre et, par soustraction, elle produit des teintes très basses voisines du gris.

La direction du grand axe du $\frac{1}{4}$ d'onde se détermine comme il est dit ci-dessous (**195**).

193. GYPSE TEINTE SENSIBLE. — C'est une lame de clivage g^1 de gypse donnant l'un des deux violets v_1 et v_2. La direction du grand axe se détermine à l'aide d'une lame de mica $\frac{1}{4}$ d'onde préalablement orientée et qui fait passer la teinte violette du gypse au bleu ou au rouge, suivant qu'il y a addition ou soustraction.

Cette lame s'emploie pour des teintes élevées de 2e ou 3e ordre que, par soustraction, elle fait descendre dans les gris inférieurs.

194. BISEAU DE QUARTZ. — C'est un biseau analogue à celui de la figure 183 ; l'angle du biseau n'est d'ailleurs que de quelques minutes et il est taillé, dans un cristal de quartz, parallèlement à l'axe optique, de façon que le Λ^3 du quartz soit placé à 45° des bords rectangulaires du biseau. Le quartz étant de signe positif, la direction d' extinction positive du biseau coïncide avec le Λ^3. Si l'on enfonce le biseau dans le microscope, sa pointe en avant, son retard va en augmentant et l'on voit passer la série des teintes de l'échelle de Newton.

Si l'on superpose le biseau à une lame cristalline de telle façon que les ellipses soient croisées, le retard de la lame diminuera, à chaque instant, de la quantité donnée par le retard du quartz et,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

comme celui-ci va en augmentant, le retard total ira en descendant et il arrivera un moment où, sous l'influence du biseau, la lame s'obscurcira : c'est que, à ce moment, le retard du quartz est précisément égal à celui de la lame et qu'il y a compensation ; on peut s'en assurer en enlevant la lame car, alors, le biseau doit donner la même teinte que donnait la lame. On pourra même vérifier l'ordre de cette teinte puisque, en sortant lentement le biseau, on verra repasser la série des teintes inférieures et, en comptant le nombre de violets, on constatera où se trouvait la teinte dans l'échelle de Newton. Supposons, par exemple, que l'on ait une teinte verte : si, en retirant le biseau, on voit passer 3 violets (vérifier sur le tableau de la p. 131), c'était le vert de 4e ordre ; s'il n'en passe qu'un, c'était le vert de 2e ordre.

Si les grands axes des ellipses de la lame et du biseau sont parallèles, en enfonçant celui-ci, la teinte de la lame montera et atteindra rapidement les gris blancs supérieurs. On ne peut confondre ces gris blancs avec la teinte de compensation car, en enlevant la lame, le biseau seul ne donnera pas la même teinte que donnait la lame seule.

195. — Les indices de réfraction du quartz ont été déterminés comme il a été exposé aux n^{os} **164** et **165.** On a constaté ainsi que le quartz est positif, c'est-à-dire que l'axe optique (ou le Λ^3) coïncide avec n_g. On peut dès lors préciser la direction du grand axe dans une lame (ou dans un biseau) taillée parallèlement à l'axe optique. Cette lame témoin obtenue, on peut, par la méthode de juxtaposition de lames, préciser la direction d'extinction positive du $\frac{1}{4}$ d'onde ou du gypse teinte sensible.

D. — Biréfringence

196. — La différence $(n' - n'')$ des grandeurs des axes n' et n'' de l'ellipse découpée par une lame quelconque dans un cristal s'appelle la *biréfringence* de la lame. Nous la désignerons par b.

La biréfringence s'évalue en *millièmes*. Ainsi, les indices d'une lame e^2 de quartz étant : $n' = 1{,}55328$ et $n'' = 1{,}54418$ on a $b(e^2) = 9{,}1$; ceux d'une lame p de calcite étant : $n' = 1{,}6585$ et $n'' = 1{,}5637$, on a $b(p) = 94{,}7$.

197. — Si $n' = n''$, la biréfringence est nulle : c'est le cas d'une lame quelconque taillée dans un cristal cubique et d'une lame perpendiculaire à l'axe optique d'un uniaxe ou d'un biaxe. On

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

voit que la biréfringence est indépendante de la réfringence : le diamant, fortement réfringent, a une biréfringence nulle.

La biréfringence d'une lame taillée dans un minéral anisotrope (**170**) est maximum lorsque l'un des indices est le plus grand possible (n_g) et l'autre le plus petit possible (n_p). Cette biréfringence maximum ($n_g - n_p$), que nous désignons par B, est une constante optique caractéristique du minéral.

198. — Nous savons (**187**) que le retard R, qui donne la teinte d'une lame, est égal à $e\,(n' - n'')$. *Le retard étant évalué en* CENTMILLIÈMES *et la biréfringence en* MILLIÈMES, *il faudra donc, dans cette formule, évaluer l'épaisseur en* CENTIÈMES DE MILLIÈMES (1).

Aucune lame, d'épaisseur e, ne peut, dans un minéral, donner de teinte correspondant à un retard supérieur à $e\,(n_g - n_p)$. Ainsi, la biréfringence du gypse étant 10, aucune lame d'épaisseur 5 ne pourra donner de teinte plus haute que l'orangé rougeâtre de 1er ordre ($5 \times 10 = 50$).

199. — Les indices d'une lame quelconque peuvent se calculer lorsqu'on connaît les trois indices principaux et l'on peut, par conséquent, en déduire la biréfringence de cette lame. Cependant, comme les biréfringences sont de l'ordre des millièmes, les indices principaux doivent à cet effet être connus à $\frac{1}{1000^e}$ et même à $\frac{1}{10.000^e}$ près. Il est donc préférable — et aussi plus facile — de mesurer directement les biréfringences par l'une des méthodes indiquées ci-dessous que de les déduire par le calcul de la mesure des indices (2). Cependant, si l'on connaît la biréfringence maximum B de l'espèce ainsi que les angles θ' et θ'' que la normale à une lame fait avec les axes optiques, la formule :

$$b = B \sin \theta' \sin \theta''$$

permet de calculer la biréfringence b de la lame (3).

---

(1) Dans de nombreux traités, on évalue la biréfringence en *dix-millièmes* et les retard en *millionièmes*.

(2) Par exemple, les mesures directes d'indices de l'anglésite ont donné à Azruni : $n_g = 1{,}88630$, $n_m = 1{,}87502$, $n_p = 1{,}86981$; on en déduit que la biréfringence $b_p = (n_g - n_m) = 11{,}3$; or la mesure directe a donné à Cesàro : $b_p = 10{,}3$; on peut supposer $n_g = 1{,}885$, qui ne donne avec n_g mesuré qu'une différence de l'ordre du millième et qui concorde avec la valeur de la biréfringence mesurée très exactement.

(3) Voir compléments, nos **558** à **560**.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

200. — La formule $R = eb$ permet de déterminer la biréfringence b d'une lame par la mesure de son retard R et par celle de son épaisseur e.

L'*épaisseur* de la lame se détermine à l'aide de la vis micrométrique qui permet une mise au point très nette du porte-objet et de la partie supérieure de la lame ; dans la plupart des instruments cette vis donne le $\frac{1}{100^e}$ de millimètre, de sorte que la différence des deux lectures indique l'épaisseur. Il est bon d'expérimenter sur la partie de la lame donnant la teinte de polarisation la plus haute car, si les teintes varient en A, B, D, C (fig. 185), cela tient à ce que l'épaisseur varie d'une plage à l'autre et il est évident que, si l'on détermine le retard pour l'une des plages A, B ou D, en mesurant l'épaisseur pour la plage C, la biréfringence trouvée sera fautive. On répète plusieurs fois l'opération en relevant le microscope avec le mouvement rapide et en l'abaissant avec le mouvement lent, et l'on prend la moyenne des différentes mesures : on atténue ainsi les erreurs dues au pas irrégulier de la vis micrométrique.

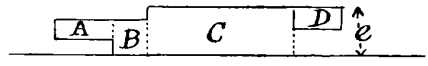


Fig. 185.

Si la lame doit être taillée (1) dans le cristal, on peut la coller sur le porte-objet entre deux lames e^2 de quartz, lames dont on connaît la biréfingence et que l'on use en même temps ; les trois lames auront même épaisseur si les deux lames de quartz présentent la même teinte. Or, la biréfringence B du quartz étant 9, on peut, après avoir déterminé, comme il est dit ci-dessous, son retard R_q, établir son épaisseur $e = \frac{R_q}{9}$: c'est aussi l'épaisseur de la lame étudiée.

Si l'on connaît l'indice médian n du minéral étudié, on peut mesurer son épaisseur apparente e' (**168**) et l'on a $e = ne'$.

La détermination du *retard* peut se faire à l'aide de divers instruments qui reviennent à compenser la teinte de polarisation de la lame comme il est indiqué au n° **190**, à l'aide d'une lame témoin et à mesurer dans cette position le retard R_t du témoin : le retard R de la lame lui est égal. On peut aussi agir de façon à amener une teinte sensible v_1 ou v_2, soit par addition, soit par sous-

(1) Les lames se taillent dans les cristaux par un procédé analogue à celui qui sera décrit pour les lames de roches (**356**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

traction. Supposons par exemple que, par addition, on ait produit la teinte $v_2 = 112{,}8$, on a :

$$R_t + R = 112{,}8$$

La mesure de R_t permettra de déterminer R.

201. — Pour la détermination de R_t, on peut employer (fig. 186) les *micas superposés* de Fédorow : ce sont des lamelles de mica, donnant chacune un retard $\frac{1}{4}\lambda_j = 13{,}7$ et superposées en escalier ; en partant de A vers B ,on obtient donc successivement les teintes : $\frac{1}{4}\lambda$, $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{3}{4}\lambda$, λ, $\frac{5}{4}\lambda$, $\frac{3}{2}\lambda$, ... Lorsqu'on a la compensation, il suffit de compter le nombre de lamelles superposées pour avoir le retard ; ainsi, en F, il serait de $5 \times \frac{\lambda}{4} = 68{,}5$.

Fig. 186.

202. *Compensateur de Cesàro.* — Une mesure plus précise du retard peut être faite (fig. 187) avec un biseau de quartz dont le retard est mesuré par une *vis micrométrique* contenue dans un tube AB et que l'on peut faire sortir de son étui à l'aide de la virole V.

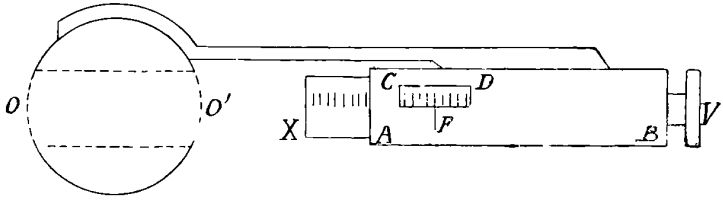


Fig. 187.

L'étui porte une fenêtre CD dans laquelle se voit la graduation du tube qui se lit par rapport à un repère fixe F. Lorsque le tube est complètement rentré, la graduation est au zéro ; lorsqu'on tourne la virole, le tube sort de son étui en se dirigeant de A vers X.

L'appareil est fixé au microscope en face de l'ouverture OO' qui sert à l'introduction des lames témoins. Le biseau de quartz s'introduit, le coin en avant, par O et, lorsqu'il vient buter contre

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

le tube au zéro, son retard est maximum et égal à une quantité A. Pour chaque division dont on fait avancer le tube de A vers X, le quartz est repoussé et son retard diminue d'une quantité B. Pour une division l, ce retard sera donc : $A - Bl$.

Les constantes A et B varient d'un biseau à l'autre et d'un instrument à l'autre. Elles se déterminent aisément, une fois pour toutes, en prenant deux teintes de retards connues et pour chacune desquelles on mesure l. On choisit d'ordinaire les teintes $v_1 = 57{,}5$ et $v_2 = 112{,}8$.

Supposons, par exemple que, pour v_1, on ait trouvé : $l = 23{,}4$ et pour v_2 : $l = 13{,}1$. On a :

$$57{,}5 = A - 23{,}4\,B$$

$$112{,}8 = A - 13{,}1\,B$$

$$B = \frac{112{,}8 - 57{,}5}{23{,}4 - 13{,}1} = 5{,}37$$

$$A = 57{,}5 + (23{,}4 \times 5{,}37) = 183{,}10.$$

La formule du biseau est donc :

$$R_t = 183{,}10 - 5{,}37\,l.$$

Pour $l = 20$, on aurait $R = 65{,}7$.

203. — *Compensateur de Babinet.* — Ce compensateur sert surtout lorsque la teinte naturelle de la lame rend peu distinctes les teintes de polarisation. Il se compose (fig. 188) de deux biseaux de quartz 1 et 2, parallèles à l'axe du quartz, de biréfringence B = 9 et superposés en sens inverses : l'un d'entre eux a son grand axe de section dirigé suivant la longueur du quartz, l'autre perpendiculairement. Il s'ensuit que les retards se retranchent : Les deux biseaux ayant même angle α, le retard total est nul suivant l'axe OO′ du microscope tandis qu'il augmente vers la droite ou vers la gauche : on voit donc, entre

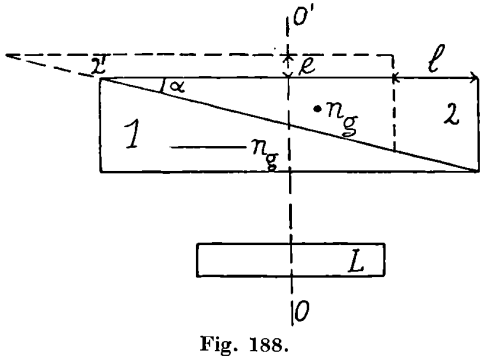


Fig. 188.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

nicols croisés, une raie noire au centre et, de part et d'autre, des franges colorées suivant l'échelle de Newton.

Si l'on place sous le compensateur une lame L avec ses axes parallèles à ceux du biseau (soit à 45° des nicols), la raie noire sera déplacée vers la droite ou vers la gauche, puisque le retard de la lame s'ajoute ou se retranche au retard total des biseaux et, pour la ramener au centre, on doit déplacer le biseau supérieur 2, dans un sens ou dans l'autre de telle sorte que, par exemple, en le déplaçant vers la gauche, le retard dû à l'épaisseur e du quartz au centre soit égal à celui de la lame.

Pour connaître e, il suffit de mesurer la longueur l dont on a déplacé le biseau, puisque $e = l \text{ tang } \alpha$.

On gradue le biseau en amenant au centre la frange violette v_1. Soit l_1, la longueur mesurée, on a :

$$v_1 = l_1 \times B \times \text{tang } \alpha \qquad \text{ou} \qquad \frac{v_1}{l_1} = k$$

et, pour un déplacement quelconque :

$$R = l \times B \times \text{tang } \alpha = k\, l$$

On peut aussi déterminer la valeur k, en lumière monochromatique λ, à l'aide des franges obscures de retard λ, 2λ, 3λ, etc.

204. — *Compensateur de Berek.* — Le principe de cet appareil est le suivant : une lame a^1 de calcite, minéral rhomboédrique, placée dans le tube du microscope sous l'analyseur, peut tourner autour d'un axe dirigé à 45° des directions des nicols. Dans sa position normale, la calcite donne un retard nul mais le mouvement de rotation amène les rayons lumineux à la traverser sous des épaisseurs de plus en plus grandes et dans des directions de plus en plus obliques sur l'axe optique ; le retard donné par la lame augmente donc et est fonction de l'angle de rotation, que l'on peut mesurer. Une table remise avec l'instrument par le constructeur donne le retard pour chaque valeur d'angle.

La calcite étant négative, l'axe de rotation coïncide toujours avec le grand axe de section.

On cherche à obtenir, par superposition au retard de la lame étudiée, l'extinction ou l'un des violets, ce qui permet de déterminer le retard cherché.

Cet appareil est très sensible et donne d'excellents résultats.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

§ 8. — LUMIÈRE CONVERGENTE

A. — Principe de la méthode

205. — Supposons qu'au lieu d'envoyer sur la lame cristalline un faisceau de rayons parallèles (**177**) qui la traversent sous même épaisseur et qui présentent chacun le même retard, nous rendions, à l'aide d'un système optique approprié, le faisceau lumineux, à la sortie du polariseur, convergent en un point O situé à la partie inférieure de la lame (fig. 189) ; les choses se passeront comme si la lame était traversée par des rayons lumineux provenant d'une source de lumière O et les rayons lumineux seront de plus en plus divergents à partir du rayon OM qui traverse normalement la lame sous son épaisseur *e*. A la partie supérieure de la lame, les phénomènes optiques ne seront plus identiques en tous les points, car : 1° l'épaisseur traversée par le rayon OM′ n'est pas la même que celle suivant OM″ ou suivant OM ; 2° les deux vibrations et la biréfringence relatives au rayon OM′ seront données par les axes de l'ellipse perpendiculaire à OM′ et non plus par ceux de l'ellipse de la lame : pour le rayon OM seul, l'ellipse à considérer est celle de la lame ; pour tout autre rayon OM′, OM″,... il faut rechercher quelle est l'ellipse découpée dans l'ellipsoïde par le plan perpendiculaire au rayon.

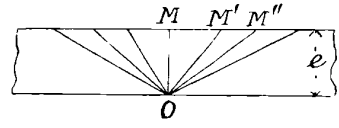


Fig. 189.

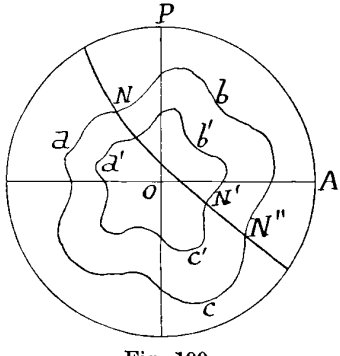


Fig. 190.

206. — Il résulte de là, que le retard variera d'un point à l'autre de la lame qui ne prendra plus une teinte uniforme ; mais si l'on réunit les points pour lesquels le retard, et par suite la teinte, restent les mêmes, on obtiendra une série de courbes (fig. 190) telles que *abc*, *a′b′c′*, de teintes différentes entre elles, qui sont des *courbes d'égal retard*. La forme de ces courbes permet de préciser comment la lame est située dans l'ellipsoïde inverse par rapport aux axes principaux et par rapport aux axes optiques. Par con-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

séquent, en examinant en lumière convergente des lames parallèles à des faces convenablement choisies du cristal, on pourra, de l'examen des courbes, déduire si le cristal est uniaxe ou biaxe et, en même temps, préciser la position des axes optiques et des indices principaux dans le cristal.

L'ensemble des lignes d'égal retard constitue la *figure d'interférence* en lumière convergente, car chaque teinte est due à une différence de vitesse des rayons lumineux se propageant suivant un rayon, c'est-à-dire à l'interférence de ces deux vibrations.

207. — Il faut noter de plus que l'intensité de la teinte en un point *a* d'une courbe d'égal retard dépend, comme en lumière parallèle (**179**), de la position, par rapport aux nicols, des axes de l'ellipse perpendiculaire au rayon qui aboutit en *a* ; si ces axes sont parallèles aux vibrations OA et OP des nicols, le point sera obscur et si l'on réunit les points N, N' ... pour lesquels cette condition est réalisée, on obtiendra une *ligne obscure* qui traversera les courbes d'égal retard.

208. — Si l'on fait tourner la lame autour de l'axe OM du microscope (fig. 190), le retard relatif à un rayon quelconque OM' ne variera pas ; ce rayon décrira un cône autour de OM, c'est-à-dire que le point M' décrira un cercle autour de M ; la forme des courbes d'égal retard ne variera donc pas, mais ces courbes tourneront, en conservant leurs formes, autour de l'axe du microscope.

Mais, pour tous les points, la position des ellipses perpendiculaires aux rayons ne restera pas la même, pendant la rotation, par rapport aux nicols, de sorte qu'un point N (fig. 190) de la courbe obscure qui, dans une position donnée, avait ses axes d'ellipse parallèles aux nicols, ne les aura plus dans la position suivante ; ce point s'éclairera alors en prenant la teinte de la ligne *a b c* tandis qu'un autre s'éteindra. La forme des courbes obscures peut donc changer pendant la rotation.

209. — Pratiquement, l'examen des lames en lumière convergente se fait en amenant, à l'aide d'un levier approprié, près de la face inférieure de la lame, le tube *t* du microscope (fig. 161) ; ce tube contient, au-dessus du polariseur, un système de lentilles (éclaireur) qui rend les rayons convergents ; on peut donc examiner les lames en lumière parallèle ou en lumière convergente selon que l'on éloigne ou rapproche le tube *t*. L'image obtenue en lumière

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

convergente s'examine directement en enlevant l'oculaire ; on peut l'agrandir à l'aide d'une loupe (loupe Bertrand) que l'on glisse dans le tube principal du microscope, un peu au-dessus de l'analyseur, et on l'observe alors avec l'oculaire ; l'objectif doit être à fort grossissement pour ne comprendre dans son champ que des rayons convergents. On met donc d'abord, bien au centre, en lumière parallèle, la partie O de la lame *abcd* (fig. 191) que l'on veut examiner ; puis l'on change d'objectif (1), on met au point, on élève le polariseur et ses lentilles et l'on observe, soit en enlevant l'oculaire, soit en plaçant la loupe Bertrand au-dessus de l'analyseur.

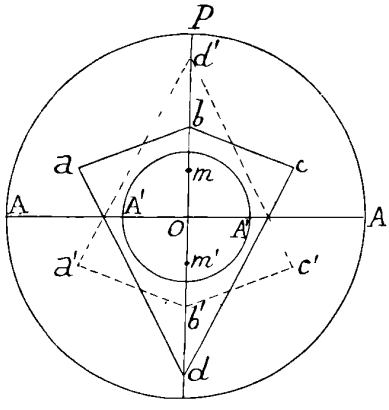


Fig. 191.

Notons ici que l'image observée à l'aide d'un oculaire est renversée ; la lamelle *abcd* a, en réalité, sur le porte-objet, la position *a'b'c'd'*. Si donc on l'examine, en O, en lumière convergente, à l'aide d'un fort grossissement (les contours *abcd* disparaissant du champ) *et sans l'oculaire*, la lamelle se voit alors dans la position réelle *a'b'c'd'* ; un point qui se verra, en lumière convergente, *sans l'oculaire*, en *m'*, doit donc, si l'on veut préciser sa direction par rapport aux contours de la lame en revenant en lumière parallèle, à un grossissement plus faible, et *avec l'oculaire*, être considéré comme se trouvant en *m*, à distance $Om = Om'$.

210. — Les minéraux isotropes ne donnent pas de figures d'interférence en lumière convergente. Nous allons examiner les figures que donnent des lames taillées suivant des directions déterminées dans les cristaux uniaxes et biaxes (2).

B. — Cristaux uniaxes

211. Lame perpendiculaire a un axe optique. — Soit (fig. 192) ABA'B' la lame d'épaisseur OC ; l'axe optique est OC.

(1) Ce qui, au lieu du champ OA, ne donne plus que le champ OA'.
(2) Voir compléments, nos **561** à **564**.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La biréfringence en C est nulle. Si nous considérons la série de droites OR, OP, OQ, OS, OB, les biréfringences des sections perpendiculaires iront en augmentant depuis OC où elle est nulle, jusqu'à OB où elle est égale à la biréfringence du minéral $B = n_g - n_p$. De plus, l'épaisseur parcourue augmente de OC vers OQ. Il suit de là que le retard $R = e'(n' - n'')$ augmente de C vers Q et que l'on apercevra, aussi bien de C vers B', que de C vers A', la série des teintes de l'échelle de Newton. Le retard variera d'ailleurs d'autant plus rapidement que la biréfringence du minéral est élevée, à épaisseurs égales ; par exemple, on calcule que, pour une épaisseur de 8 (centièmes), le retard en un point R faisant un angle $\alpha = 30^o$ avec OC, sera de :

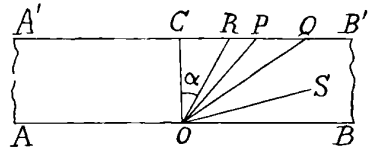


Fig. 192.

8,5 (gris 1er ordre) pour $B = 9$ (quartz) ;
24 (blanc 1er ordre) pour $B = 26$ (phosgénite) ;
57 (violet v_1) pour $B = 61$ (anatase) ;
162 (carmin 3e ordre) pour $B = 172$ (calcite).

Le retard varie aussi, à biréfringences égales, d'autant plus rapidement que l'épaisseur est grande. Il pourra donc se faire que, pour une lame d'épaisseur e, le premier violet soit hors du champ, tandis qu'il deviendra visible pour une épaisseur $2e$.

Voyons maintenant la répartition des teintes autour du centre C. Puisque l'ellipsoïde est de révolution autour de OC, on peut en conclure que les phénomènes resteront les mêmes pour tous les cercles menés de C comme centre sur A'B'. En fait, toutes les directions faisant un angle α avec OC seront perpendiculaires à des ellipses ayant mêmes axes (nos **153** et **154**) ; la biréfringence en tous les points R sera donc la même et, comme l'épaisseur OR ne varie pas pour ces directions, les retards en R seront égaux. Or, toutes les droites (fig. 192) faisant un même angle avec OC forment un cône autour de OC : on aura donc une série de cônes de même sommet O, coupés par la partie supérieure de la lame suivant des cercles qui auront chacun même teinte.

Les lignes d'égal retard sont donc des cercles de centre C, colorés à partir de C suivant la gamme des teintes de Newton ; les cercles v_1, v_2, etc. seront d'autant plus rapprochés du centre que la biréfringence du minéral et l'épaisseur seront grandes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En lumière monochromatique, rouge, par exemple, de longueur d'onde λ_r, on aura, pour des raisons analogues à celles qui donnent des raies noires dans un biseau de quartz (**184**), une série de cercles colorés en rouge alternant avec des cercles obscurs : le 1er cercle obscur a pour retard λ_r, le deuxième : $2\,\lambda_r$, le troisième : $3\,\lambda_r$, et ainsi de suite.

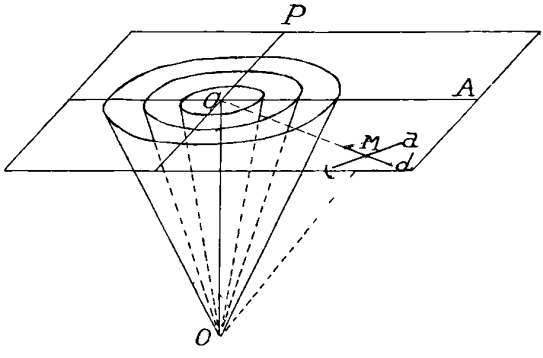


Fig. 193.

Quant aux lignes incolores, pour s'en faire une idée, il suffit de considérer un rayon OM (fig. 193) quelconque ; l'un des axes (*a*) de l'ellipse normale, parallèle à un rayon de l'équateur, est perpendiculaire au plan COM, l'autre axe *d* étant dans ce plan (**153**). Les points M, pour lesquels *a* et *d* sont parallèles aux nicols, sont donc des points situés sur OA et OP et les lignes obscures constituent une croix parallèle au réticule (voir planche I).

Si l'on fait tourner la lame autour de OC, la figure formée par les lignes incolores et par les lignes d'égal retard (cercles traversés par une croix) ne change pas.

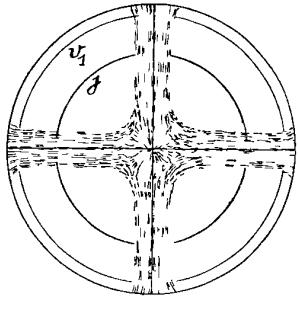


Fig. 194.

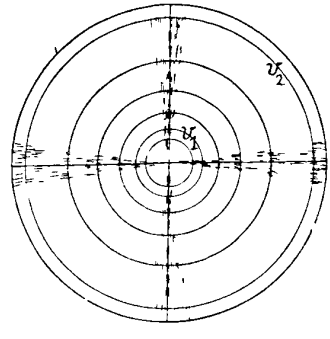


Fig. 195.

La figure 194 montre l'apparence optique d'une lame taillée dans un cristal peu biréfringent et la figure 195 l'apparence d'une lame taillée dans un cristal fortement biréfringent. On voit que la croix noire s'étend plus ou moins largement, ce qui est dû à ce

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

que, pour les points proches des sections des nicols, les axes d'ellipses sont proches du parallélisme et la teinte est par conséquent très faible.

212. LAME OBLIQUE A L'AXE OPTIQUE. —L'axe du microscope est OC (fig. 196) ; l'axe optique OO′ perce la lame en O′. Les lignes d'égal retard sont encore des ~~cercle~~s (1) et les lignes incolores sont des droites formant une croix parallèle aux nicols OP et OA. Mais, ici, quand on fait tourner la lame autour de OC, le point O′ décrit un cercle autour de C ; on voit donc la figure se mouvoir, sans changer de forme, en gardant toujours le point O′ pour centre de figure.

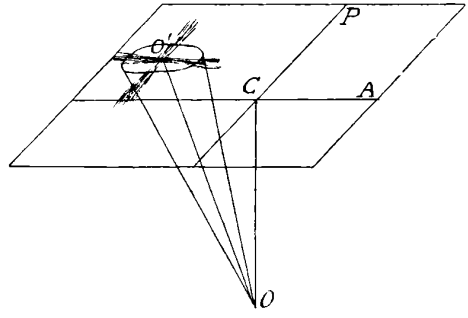


Fig. 196.

La figure 197*a* montre les positions que prennent, pendant un quart de tour suivant le sens *f* de rotation, les cercles et la croix ; l'axe optique perce le champ en O′. Il peut même arriver que O′ (fig. 197*b*) soit en dehors du champ et l'on n'aperçoit alors qu'une seule branche de la croix noire, tantôt celle parallèle à OA, tantôt celle parallèle à OP ; cette branche traverse le champ en restant parallèle à OA ou à OP.

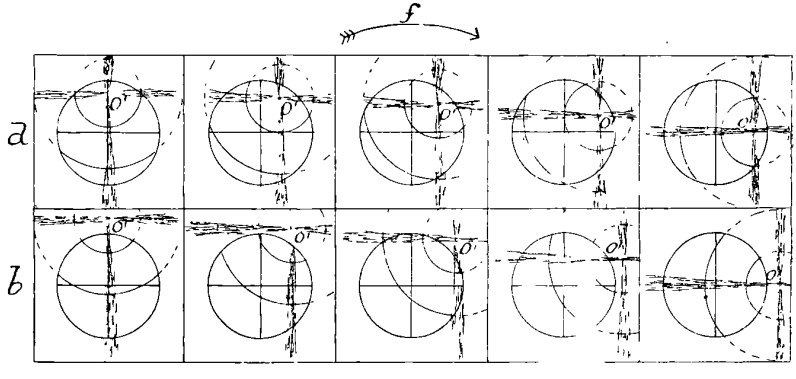


Fig. 197.

(1) Ou mieux : *approximativement* des cercles. En effet, l'intersection d'un cône par un plan oblique à son axe OO′ est une ellipse. Mais ces figures ne s'observent que pour les lames peu inclinées sur l'axe optique, de sorte que les ellipses sont peu différentes de cercles.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

213. LAME PARALLÈLE A L'AXE OPTIQUE. — (Voir n° **220**).

C. — Cristaux biaxes

214. LAME PERPENDICULAIRE A LA BISSECTRICE AIGUË. — Soient (fig. 198) : OC la bissectrice aiguë, OS et OS′ les axes optiques. Les trois indices principaux sont dirigés suivant OA, OB et OC ; l'indice moyen n_m coïncide en tout cas avec OB.

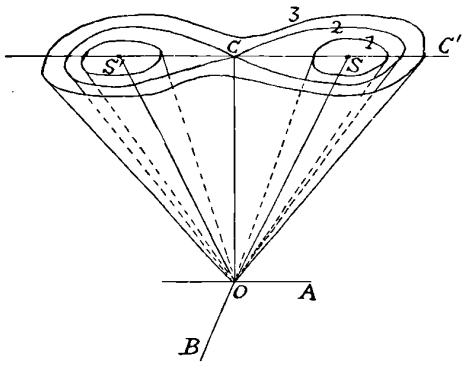


Fig. 198.

En C, la biréfringence est égale à $(n_m - n_p)$ si le cristal est positif, à $(n_g - n_m)$ s'il est négatif. En S et S′, la biréfringence est nulle.

Le retard est donc nul en S et S′ et il ira en augmentant dans toutes les directions à partir de ces deux points. Les courbes d'égal retard ont, aux environs de S et S′, la forme approximative d'ellipses ; puis, la courbe passant par le centre a la forme d'un 8 et les courbes suivantes enveloppent cette dernière ; toutes ces courbes sont des *lemniscates* ; elles sont colorées, à partir de S et S′, suivant l'ordre des teintes de Newton ; en lumière monochromatique, on a des lemniscates de la couleur due à la longueur d'onde λ employée, séparant des lemniscates obscures dont les retards successifs sont, à partir de S et S′ : λ, 2λ, 3λ...

Les courbes colorées sont d'autant plus rapprochées que la biréfringence B du minéral est plus élevée et que l'épaisseur de la lame est grande. La courbe passant par le centre C, et qui a pour retard $e\,(n_m - n_p)$ ou $e\,(n_g - n_m)$, peut donc être une courbe de teinte très haute ou très basse ; si elle est très basse, on peut ne pas voir des lemniscates dans le champ du microscope : les choses se passent comme si les courbes 2 et 3 appartenaient encore au gris blanc de 1er ordre. On reconnaît alors l'orientation de la lame à la forme des lignes obscures.

Les lignes obscures (fig. 199) consistent en deux branches passant toujours par les pôles des axes optiques T et T′ et opposées par les sommets : ce sont des *hyperboles* (voir planche I).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Si l'on fait tourner la lame autour de l'axe du microscope, de façon à amener la trace TT′ du plan des axes optiques en UU′ (fig. 198), les lignes d'égal retard ne changent pas de forme, mais

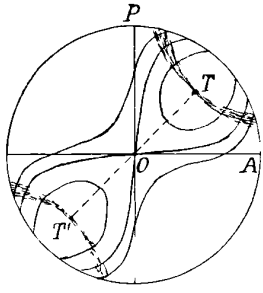


Fig. 199.

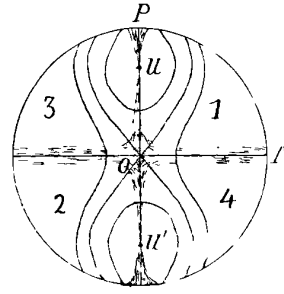


Fig. 200.

les courbes incolores, pendant la rotation, se rapprochent de O et se réunissent pour former une croix noire lorsque le plan des axes optiques UU′ coïncide avec l'un des nicols. Si l'on continue à tourner dans le même sens, la croix se disloque et les deux branches opposées s'ouvrent dans les quadrants 3 et 4.

L'angle des axes optiques peut être assez grand pour amener les pôles des axes optiques en dehors du champ. C'est le cas représenté dans la figure 202*a* qui montre la suite des figures obtenues pendant une rotation de 90° ; la position des lemniscates détermine à chaque instant la position des axes optiques. Pour préciser avec certitude cette position, on forme la croix noire et l'on tourne ensuite la platine du microscope d'un angle déterminé, 45° par exemple.

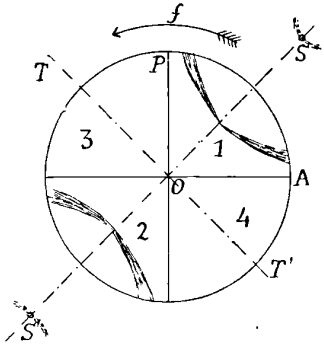


Fig. 201.

215. — Lorsque les lemniscates ne sont pas visibles, on peut préciser encore la position des axes optiques par le sens du mouvement des lignes obscures. Supposons (fig. 201) qu'après avoir formé la croix noire OA, OP, on tourne la platine dans le sens de la flèche *f* et que l'on voie les branches se former dans les quadrants 1 et 2 ; lorsqu'on aura tourné de 45°, les pôles se trouveront alors sur la droite SS′. Si les branches s'étaient montrées dans les quadrants 3 et 4, les pôles, après 45° de rotation,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

se trouveraient sur TT'. En d'autres termes, les lignes incolores se meuvent suivant la trace du plan des axes optiques.

216. LAME PERPENDICULAIRE A UN AXE OPTIQUE. —La figure obtenue se comprendra en supposant que la lame soit perpendiculaire à l'une des droites OS ou OS' de la figure 198 : les courbes d'égal retard sont approximativement des cercles, mais on ne voit qu'une seule des lignes incolores qui, pendant la rotation de la platine, tantôt est parallèle à l'un des nicols, tantôt est incurvée.

Les figures 202*b* et *c* montrent comment varie la forme de la ligne incolore pendant une rotation de 90°. La lame est un peu oblique à l'axe optique : dans *b*, l'axe optique vient la percer dans le champ, dans *c* en dehors du champ.

217. — On peut donc en général distinguer un biaxe d'un uniaxe par la forme des lignes incolores : un uniaxe, dans une lame perpendiculaire à l'axe optique, montre une croix noire ; une lame oblique à l'axe montre une branche *qui reste toujours parallèle* à l'un des nicols. Un biaxe, perpendiculairement à la bissectrice aiguë, montre une croix noire qui se disloque en deux branches

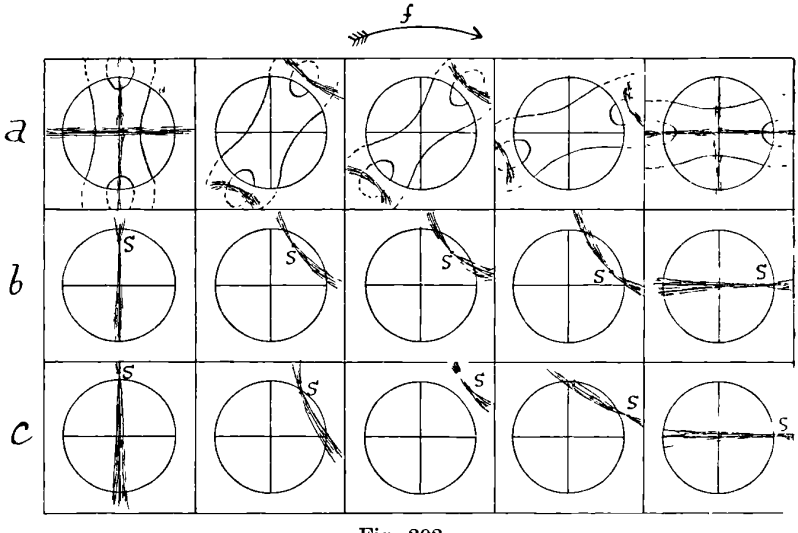


Fig. 202.

incurvées ; perpendiculairement ou un peu obliquement à un axe optique, on ne voit qu'une branche traversant le champ *en s'incurvant.*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Cependant, dans ce dernier cas, si l'angle des axes optiques est très petit, il peut y avoir indécision ; on voit en effet (fig. 203) que, les axes S et S′ étant très rapprochés de la bissectrice aiguë, la courbure des deux branches est peu prononcée et ces branches se rapprochent rapidement des droites OA et OP. Une lame oblique, dont le pôle se trouverait par exemple en T, montrera donc une courbure *ab* très peu prononcée et qui semblera parallèle à OA.

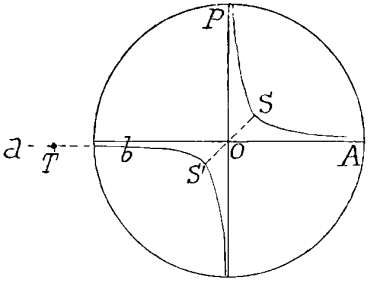


Fig. 203.

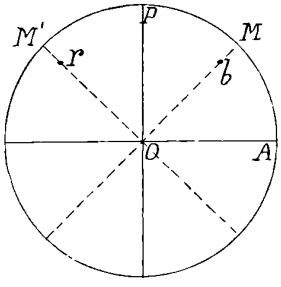


Fig. 204.

218. Lame perpendiculaire a la bissectrice obtuse. — Les courbes sont analogues à celles d'une lame perpendiculaire à la bissectrice aiguë, mais les lemniscates sont rarement visibles ; quant aux lignes obscures, elles sortent toujours du champ, pendant la rotation, conformément à la figure 202*a* ; une lame perpendiculaire à la bissectrice obtuse peut donc être confondue avec une lame perpendiculaire à la bissectrice aiguë d'un biaxe à angle axial très grand.

219. Lame parallèle au plan des axes optiques. — Cette lame est parallèle à n_g et n_p ; l'un de ces deux indices est la bissectrice aiguë. Lorsque, après avoir produit l'extinction en lumière parallèle, on tourne de 45°, les deux bissectrices n_g et n_p sont amenées en OM et OM′ (fig. 204). Passant en lumière convergente, on constate, si le retard de la lame est assez élevé, que la teinte varie différemment suivant OM et OM′ ; suivant la bissectrice aiguë, le retard varie moins rapidement que suivant la bissectrice obtuse ; si donc, près des bords du champ, on voit du bleu en *b* et du rouge en *r*, c'est que la bissectrice aiguë se trouve suivant OM′ (1).

La rotation de la lame donne naissance à des lignes obscures

(1) Voir compléments, n° 565.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

analogues à celles d'un biaxe perpendiculaire à la bissectrice aiguë, mais la croix noire est plus épaisse et elle se disloque en sortant très rapidement du champ ; la direction suivant laquelle s'écartent les deux branches est toujours celle de la bissectrice aiguë.

On peut vérifier ces faits sur la lame de gypse, teinte sensible.

220. — En lumière convergente, l'apparence optique d'une lame parallèle à l'axe optique d'un uniaxe est pratiquement la même que celle d'une lame parallèle au plan des axes optiques d'un biaxe. Ce qui a été dit relativement à la direction de la bissectrice aiguë s'applique à la direction de l'axe optique.

§ 9. — DÉTERMINATION DU SIGNE OPTIQUE

221. — Par l'examen de lames prélevées dans un cristal, dans plusieurs directions, l'application des méthodes exposées dans les paragraphes précédents permet généralement de déterminer si le minéral est uniaxe ou biaxe, et, dans ce dernier cas, de préciser la position du plan des axes optiques et de la bissectrice aiguë. La distance des pôles des axes optiques au centre du champ, permet également d'apprécier la valeur de l'angle axial, que l'on pourra même souvent mesurer par la méthode exposée plus bas (**230**).

Nous avons dit qu'un cristal est positif ou négatif suivant que l'indice maximum n_g coïncidait ou non avec la bissectrice aiguë dans un biaxe, ou avec l'axe optique dans un uniaxe. La détermination du signe d'un minéral est importante à faire car elle permet de limiter le nombre des espèces dont il peut faire partie ; il existe plusieurs méthodes à cet effet, que l'on emploie suivant l'orientation des lames que l'on a à sa disposition. On utilise concurremment la lumière parallèle et la lumière convergente. Notons ici que si, en examinant une lame *en lumière convergente*, on lui superpose dans l'ouverture OO′ (fig. 184) du microscope une lame témoin, les rayons qui traverseront cette lame témoin seront tous parallèles entre eux ; les phénomènes qui se manifesteront dépendront donc de ce qu'il y aura en divers points de la lame addition du retard de la lame témoin, en d'autres points soustraction, l'ellipse de la lame témoin gardant la même orientation en tous ses points, tandis que l'ellipse de la lame cristalline a des orientations différentes (**177** et **205**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

222. Lame perpendiculaire a la bissectrice aiguë d'un biaxe. Lumière parallèle. — Lorsque l'on est certain d'avoir une lame perpendiculaire à la bissectrice aiguë, ce que l'on constate en lumière convergente, il est très aisé de déterminer le signe optique. A cet effet, on forme la croix noire et l'on tourne de 45°. Le plan des axes optiques prend alors (fig. 205) l'une des positions OM ou ON ; supposons qu'il soit dirigé suivant ON : il s'ensuit que les trois indices principaux sont dirigés suivant OM, ON et suivant l'axe O du microscope et il s'agit de déterminer si, suivant O, est dirigé n_g (cristal positif) ou n_p (cristal négatif). Or, suivant OM, on est certain que se trouve l'axe moyen n_m (**170**) ; il suffira donc de déterminer *en lumière parallèle*, par l'une des méthodes exposées au n° **191**, si la direction d'extinction ON de la lame est plus grande ou plus petite que OM $= n_m$. Si elle est plus grande, on a ON $= n_g$ et le cristal est négatif ; si elle est plus petite, on a ON $= n_p$ et le cristal est positif.

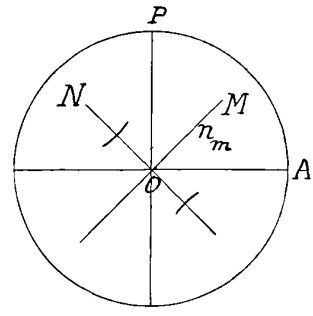


Fig. 205.

223. — La même méthode peut être employée dans le cas d'une lame normale à la bissectrice *obtuse* dont on détermine ainsi le signe qui est l'inverse de celui de l'espèce.

Souvent, il y a indécision si la bissectrice est aiguë ou obtuse. On devra en ce cas rechercher une lame où l'une des méthodes suivantes sera applicable.

224. Biaxe. Lame parallèle au plan des axes optiques. — Cette lame est parallèle à n_g et n_p. Or, il est parfois possible, soit par l'examen des teintes, soit par l'examen des lignes incolores (**219**), de préciser la direction de la bissectrice aiguë ; dans ce cas, il suffit, *en lumière parallèle*, de déterminer si cette direction d'extinction est plus grande ou plus petite que la direction perpendiculaire, c'est-à-dire si elle coïncide avec n_g (cristal positif) ou avec n_p (cristal négatif).

Mais le plus simple, dans ce cas, est d'employer la *méthode Cesàro* [1] : la lame étant examinée *en lumière convergente*, on intro-

[1] Voir compléments, n° **565**.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

duit au-dessus un biseau de quartz de façon que son grand axe A_q (fig. 206) soit perpendiculaire au grand axe A_l de la lame (ce que l'on a vérifié préalablement en lumière parallèle) on voit alors, au fur et à mesure de l'introduction du biseau, une série de courbes se mouvoir dans l'ordre 1, 2, 3, 4, 5... inscrit sur la figure. Le point I, où ces courbes changent de direction, se trouve :

vers le bas dans le cas d'un cristal positif (fig. 206*a*).

vers le haut dans le cas d'un cristal négatif (fig. 206*b*).

Nous rappelons qu'avec l'oculaire et la loupe, les images seront renversées (**209**).

L'expérience est facile à vérifier avec la lame de gypse sensible (positif).

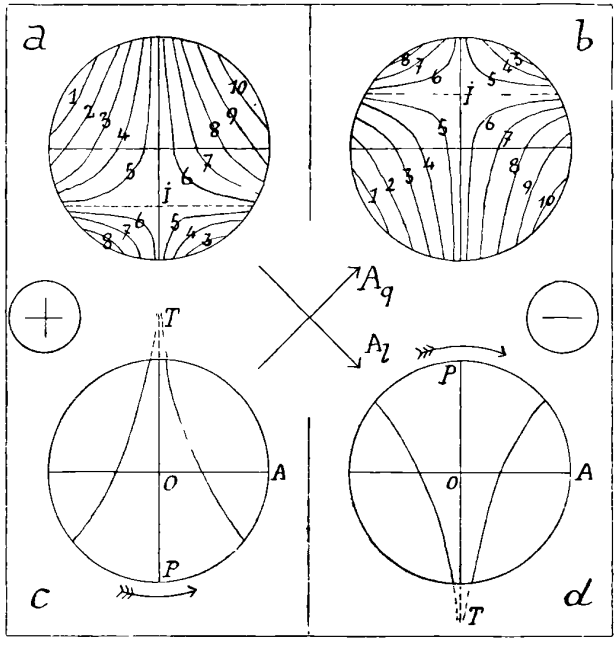


Fig. 206.

La distance du point I au centre dépend de plusieurs facteurs et notamment de l'angle axial ; plus cet angle est grand, plus cette distance est grande. Il peut même se faire que le point I sorte du champ et, dans ce cas, on voit basculer les courbes autour d'un point T situé vers le haut si le cristal est positif (fig. 206*c*), vers le bas s'il est négatif (fig. 206*d*).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Si l'angle des axes est proche de 90°, les courbes se confondent avec les droites traversant le champ parallèlement à OP.

Remarque importante : pour obtenir le mouvement des courbes tel qu'il est renseigné sur la figure 206, l'axe du quartz doit être dirigé du N.E. au S.W. comme la figure l'indique.

225. Biaxe. Lame perpendiculaire a la bissectrice obtuse. — La méthode de Cesàro est applicable dans ce cas, sans modification. Nous avons dit que l'on pouvait difficilement distinguer une lame perpendiculaire à la bissectrice obtuse d'une lame normale à une bissectrice aiguë d'axes très écartés (**218**). Mais, d'après ce qui est dit ci-dessus, si l'angle des axes est proche de 90°, on s'en apercevra du fait du passage de droites parallèles à OA. Il y aura indécision quant au signe du minéral, mais l'indication obtenue de 2V = environ 90° pourra servir au diagnostic du minéral (1).

226. Uniaxe. Lame parallèle a l'axe optique. — Si l'on connaît la direction de l'axe multiple (axe optique), on pourra, en lumière parallèle, déterminer si cette direction est n_g (cristal positif) ou n_p (cristal négatif).

La méthode Cesàro peut également être appliquée à ce cas, et il n'est pas besoin alors de connaître la direction de l'axe optique.

227. Uniaxe. — Lame perpendiculaire a l'axe optique. — Cette lame montre en lumière convergente (**211**) une série de cercles concentriques dont le retard va en augmentant du centre vers le bord du champ. De plus, suivant une direction quelconque partant du centre O (fig. 207), les axes d'ellipses perpendiculaires au rayon qui aboutit en l'un de ses points sont, l'un dans le plan méridien passant par O et l'autre perpendiculaire à cette direction. Ainsi, suivant OF, les axes d'ellipses sont parallèles à a et b; d'ailleurs l'axe b (**154** et **211**) est égal au rayon de l'équateur.

Supposons le cristal positif; le rayon de l'équateur est n_p. Introduisons, au-dessus de la lame, un mica $^1/_4$ d'onde avec son axe dirigé suivant N.

Sur tous les points de OF, puisque $b = n_p$, on a $a > b$ et il y a addition de retards; suivant OF', pour la même raison, il y a soustraction. Il suit de là que, si les cercles 1, 2, 3, ... diffèrent

(1) Il s'agit ici, bien entendu, de l'angle réel 2 V des axes optiques et non de l'angle apparent 2 E qui sera mentionné plus loin (**230**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

entre eux d'un retard égal à $^1/_4$ d'onde, le cercle 1 prendra sur OF la teinte de 2 et, sur OF′, il s'éteindra ; le cercle 2 prendra, sur OF la teinte 3 et, sur OF′, la teinte de 1 et ainsi de suite. Il se formera de part et d'autre du centre, sur OF′, deux points noirs ; la direction OF′ faisant avec l'axe du mica le signe +, on voit que cette indication montre que le cristal est positif.

Si le cristal est négatif, les deux points noirs se formeront sur OF, c'est-à-dire dans la direction de l'axe N du mica témoin.

On peut, au lieu du quart d'onde, employer le biseau de quartz ; au fur et à mesure qu'on avancera le biseau, les retards augmenteront sur OF, de sorte que la teinte 3 viendra en 2, puis en 1. De même, par soustraction, le point noir viendra de 1′ en 2′, puis en 3′ ; en somme, on verra un mouvement de teintes de F en O et de O en F′ : le second mouvement OF′ faisant le signe + avec l'axe N du biseau dans le cristal du cas positif ; si le cristal est négatif, le 2e mouvement se fait suivant l'axe du biseau.

228. — Un raisonnement analogue au précédent conduit, dans le cas d'une *lame perpendiculaire à la bissectrice aiguë d'un biaxe*, à employer également, en lumière convergente, le biseau de quartz. Si le cristal est positif, on voit, en introduisant le biseau *avec son axe N perpendiculaire à la ligne SS′* (fig. 208) *des pôles des axes*,

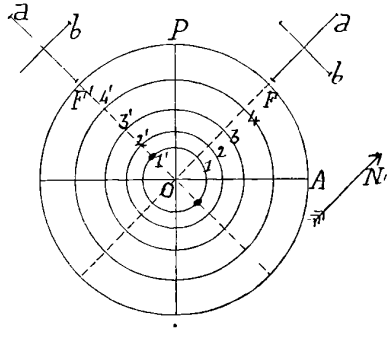


Fig. 207.

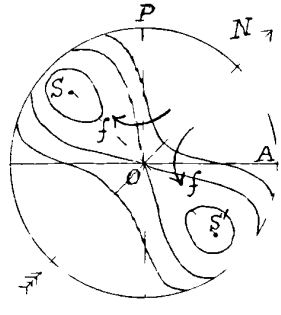


Fig. 208.

les lemniscates se contracter, c'est-à-dire que les teintes suivent le mouvement des flèches *f*. Le mouvement est inverse si le cristal est négatif.

§ 10. — MESURE DE L'ANGLE DES AXES OPTIQUES.

229. — Nous avons désigné par 2 V l'*angle réel* des axes autour de la bissectrice aiguë. Cet angle dépend de la valeur des trois

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

indices principaux n_g, n_m^m et n_p. On démontre, en effet (1), que la tangente de l'angle φ que fait un axe optique avec n_p est donnée par la formule suivante :

$$\text{tang } \varphi = \frac{n_p}{n_g}\sqrt{\frac{n_g^2 - n_m^2}{n_m^2 - n_p^2}}.$$

Si φ est plus grand que 45°, n_g est bissectrice aiguë, le cristal est positif et $V = 90° - \varphi$. Si φ est plus petit que 45°, n_p est la bissectrice aiguë, le cristal est négatif et $V = \varphi$.

230. — Les divers rayons qui traversent une lame en lumière convergente atteignent obliquement la partie supérieure de la lame et se réfractent à la sortie en s'écartant de la normale. La construction du microscope est telle que l'image visible se forme (fig. 209) sur une surface TCT', que l'on examine, soit directement (sans oculaire), soit en l'agrandissant (avec l'oculaire et la loupe). Or si, dans une lame perpendiculaire à la bissectrice aiguë, nous considérons le rayon qui se propage suivant l'axe optique OS, faisant à l'intérieur de la lame un angle SOC = V avec la bissectrice aiguë OC, nous constatons que, au sortir de la lame, ce rayon se réfracte suivant IT de telle façon que l'on a :

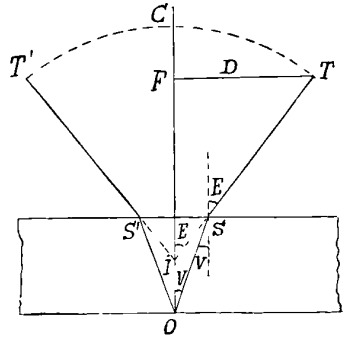


Fig. 209.

$$\sin E = n_m \sin V.$$

L'angle 2 E des axes *dans l'air* est l'angle visible au microscope.

Cet angle est toujours plus grand que l'angle réel 2 V, puisque n_m est toujours plus grand que 1. Il peut même se faire que les axes optiques subissent la réflexion totale (**158**), de sorte que l'on ne voit pas alors les pôles de ces axes en lumière convergente, dans une lame perpendiculaire à la bissectrice aiguë. L'on peut en ce cas interposer, entre la lame et l'objectif, un liquide plus réfringent

(1) Il suffit, pour cela, d'écrire que le point D de la figure 165, dont les coordonnées sont $n_m \cos \varphi$ et $n_m \sin \varphi$, se trouve sur l'ellipse d'axes n_g et n_p.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

que l'air, d'indice n_l. Si l'on désigne par 2 H la valeur de l'angle des axes dans ce liquide, on trouve facilement que :

$$\sin V = \frac{n_l \sin H}{n_m}$$

On emploie généralement l'huile d'œillette, dont l'indice n_l est égal à 1,468 (pour les rayons jaunes, entre 15° et 25°). On peut également employer l'eau, d'indice 1,33, ou la naphtaline monobromée, d'indice 1,66.

231. — Il existe plusieurs genres d'appareils propres à mesurer 2 E ou 2 H; ces appareils conduisent à faire tourner la lame (perpendiculaire à une bissectrice) autour de n_m, de façon à amener le pôle de chaque axe optique au point de croisement des fils du réticule.

Une méthode indirecte mais rapide consiste à mesurer la distance TF = D qui sépare le pôle d'un axe du centre du champ. On a, en effet, pour deux minéraux différents, dont 2 E et 2 E′ sont les angles axiaux et D, D' les distances TF respectives :

$$\frac{\sin E}{\sin E'} = \frac{D}{D'}$$

Si donc l'on connaît E′ et D', il suffit de mesurer D pour calculer ensuite E.

On peut employer, comme lame témoin, une lame d'aragonite, pour laquelle $2E' = 31°$; on détermine D' une fois pour toutes (avec le même instrument) et, en posant $\frac{\sin E'}{D'} = K$, on a : $\sin E = KD$.

La mesure de TF se fait, soit à l'aide d'un micromètre placé dans l'oculaire, soit à l'aide d'une chambre claire qui projette l'image sur une feuille de papier placée toujours à même distance de l'appareil et sur laquelle on peut faire les mesures avec une échelle graduée.

232. — Lorsqu'on peut mesurer l'angle des axes optiques autour de la bissectrice aiguë et autour de la bissectrice obtuse, on en déduit aisément l'angle 2 V sans qu'il soit besoin de connaître l'indice n_m de la lame. Soient, en effet, $2E_a$ et $2E_o$ ces deux angles axiaux; on a (**230**) :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

$\sin E_a = n_m \sin V$ et $\sin E_o = n_m \sin (90^o - V) = n_m \cos V$;

d'où $$\text{tang } V = \frac{\sin E_a}{\sin E_o}.$$

On aurait de même :

$$\text{tang } V = \frac{\sin H_a}{\sin H_o}.$$

à condition, bien entendu, que l'on emploie le même liquide pour la mesure de H_a et de H_o.

233. — La valeur de l'angle 2 V des axes optiques dépend (**229**) de la grandeur des trois indices principaux n_g, n_m, et n_p. De faibles variations dans ces quantités peuvent donner lieu à de fortes variations de 2 V.

Or, la valeur des indices dépend de la composition chimique qui peut varier insensiblement d'un point à l'autre de la lame, de sorte que l'on constate souvent dans la même lame (et *à fortiori* dans des cristaux différents d'un même minéral) une variation notable dans l'axe axial. C'est le cas pour la dewalquite, la hopéite, la monazite ; c'est aussi le cas des micas, dont certaines variétés montrent un angle axial presque nul, tandis que, dans d'autres, cet angle peut s'élever à plus de 70° (pour 2 E).

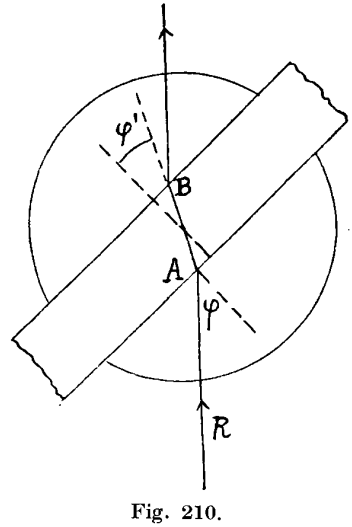


Fig. 210.

§ 11. — APPAREIL DE FÉDOROW.

234. — Nous n'indiquerons que le principe et quelques applications possibles de cet appareil dont il existe plusieurs modèles plus ou moins compliqués.

Le but de l'appareil est d'examiner une lame dans une position inclinée quelconque. La préparation est placée entre deux hémisphères en verre d'indice n_v (fig. 210) ; un rayon R parallèle à l'axe du microscope la traverse donc dans la direction AB et l'on a :

$$\sin \varphi' = \frac{n_v \sin \varphi}{n}$$

n étant l'indice médian du cristal.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

L'angle φ est mesurable, de sorte que l'on connaît, pour chaque angle φ, la direction φ' suivie dans le cristal par le rayon lumineux.

235. — L'appareil se compose (fig. 211) d'une platine spéciale remplaçant la platine ordinaire du microscope et qui est composée de plusieurs pièces : un cercle gradué 1 entourant un autre cercle 2 qui peut tourner dans le plan de 1 ; un cercle 3 entourant les hémisphères V en verre qui renferment la préparation L ; celle-ci peut tourner dans le plan de 3 ; le cercle 3 peut tourner autour de l'axe *hh* et l'ensemble autour de l'axe JJ, comme aussi autour de l'axe O du microscope. On peut donc amener la préparation L dans une position inclinée quelconque et, toutes les rotations étant mesurables, déterminer, pour une de ces positions, la latitude relativement à la normale à la lame et la longitude relativement à un repère tel qu'une trace de clivage.

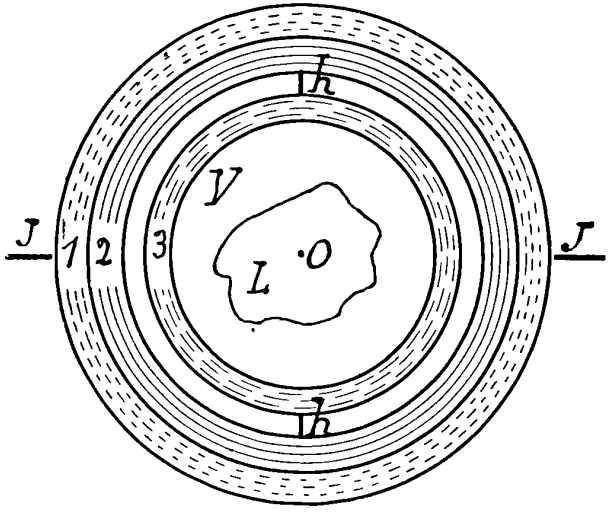


Fig. 211.

236. *Applications.* — Les plans de clivage qui traversent la lame peuvent être placés verticalement suivant l'un des fils du réticule et l'on peut donc déterminer les angles que ces plans font entre eux.

Si l'on place la lame de façon que l'un des indices principaux se trouve suivant l'axe JJ et si l'on place cet axe parallèlement à l'un des nicols, il y aura extinction ; de plus, une rotation

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

quelconque autour de JJ maintiendra l'extinction. On pourra donc déterminer la position des indices principaux relativement à la normale à la lame ou à un repère choisi. On déterminera ensuite parmi les axes principaux ainsi repérés quels sont ceux qui correspondent aux indices n_g n_m et n_p. La position du plan des axes optiques sera ainsi repérée ; enfin, si l'axe optique est dirigé suivant l'axe du microscope, une rotation de l'appareil autour de cet axe maintiendra l'obscurité : on pourra donc aussi mesurer l'angle des axes optiques en amenant chacun d'eux suivant l'axe du microscope.

En plaçant un axe de zone suivant JJ et en faisant tourner l'ensemble autour de JJ de divers angles φ, on pourra pour chaque position déterminée par φ, mesurer l'angle d'extinction ε en tournant l'ensemble autour de l'axe du microscope.

Ces indications suffiront à montrer l'emploi de cet appareil qui permet, par exemple, en pétrographie, à l'aide d'une seule lame, de déterminer parmi tous les feldspaths quel est celui auquel elle correspond.

§ 12. — DISPERSION.

237. — La grandeur des indices de réfraction varie d'une couleur à l'autre (**163**) ; il en résulte que la grandeur de l'angle des axes optiques et même leur orientation peut varier d'une couleur à une autre. Il se produit alors, dans les images en lumière convergente, une *dispersion des couleurs* qui indique le sens de l'orientation optique pour les longueurs d'onde extrêmes du spectre. Il existe plusieurs genres de dispersion ; l'un des plus fréquents se rencontre dans des cristaux orthorhombiques, pour lesquels l'orientation des indices est telle que les axes optiques sont contenus dans un même plan pour toutes les couleurs mais que l'angle des axes rouges est plus grand ou plus petit que l'angle des axes violets ; dans le premier cas, on écrit : $\rho > v$ et, dans le second cas : $\rho < v$.

Ce phénomène est souvent très appréciable, lorsque l'on examine la figure d'interférence (fig. 212) à l'aide d'un verre rouge puis d'un verre bleu. Si $\rho > v$, on verra, avec le verre rouge, les pôles des axes en R et R' ; avec le verre bleu, on les verra en V et V' ; on pourra apprécier et mesurer les distances RR' et VV'. En lumière blanche, les lignes obscures passant par R et R' ne seront obscures que pour le rouge et elles seront donc colorées en bleu, tandis que les lignes passant par V et V' seront colorées en rouge.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

238. — On comprend même que l'angle des axes puisse diminuer de plus en plus jusqu'à devenir nul, c'est-à-dire que le minéral, biaxe pour certaines radiations, serait uniaxe pour d'autres ; enfin, les axes violets peuvent ensuite s'ouvrir dans un plan perpendiculaire à celui des axes rouges.

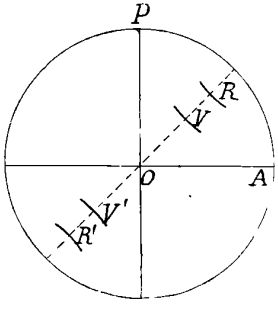


Fig. 212.

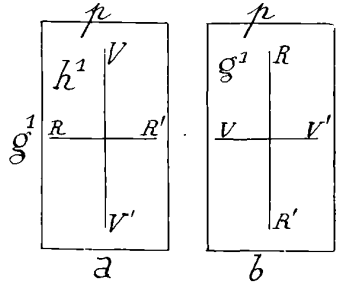


Fig. 213.

Ainsi la brookite (TiO^2), qui présente des lamelles h^1 orthorhombiques, a le plan des axes optiques parallèle à p pour les rayons rouges et parallèle à g^1 pour les rayons verts (fig. 213*a*) ; il existe une couleur jaune verdâtre pour laquelle le minéral est uniaxe ; on constate aisément que $\rho > v$.

Dans la goethite ($Fe^2O^3.H^2O$) le plan des axes est parallèle à h^1 pour le rouge et parallèle à p pour le vert (fig. 213*b*) ; on a $\rho > v$.

La dispersion, intense dans les deux cas mais de sens différent, permet de différencier aisément les lamelles de ces deux espèces minérales.

239. — La dispersion est aussi la cause de l'absence d'extinction nette en lumière blanche parallèle pendant la rotation de la lame : c'est que, en ce cas, la lame possède des ellipses d'orientations différentes pour les diverses couleurs. On l'examinera alors en lumière monochromatique.

§ 13. — POLARISATION ROTATOIRE.

240. — Certaines substances cristallisées, traversées suivant une direction déterminée par une vibration rectiligne, ont la propriété de dévier la direction de cette vibration de sorte que, à la sortie, cette vibration rectiligne n'est plus parallèle à la vibration incidente mais a tourné d'un angle ω qui est l'*angle*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de rotation. C'est le cas, entre autres, pour le quartz et le cinabre, rhomboédriques, lorsque le rayon polarisé est dirigé suivant l'axe optique, normalement à a^1. Ce phénomène se produit aussi, pour toutes directions, dans certains cristaux cubiques tels que le chlorate de sodium. Ces corps sont dits : *actifs.*

Toutes les substances qui présentent cette particularité montrent une hémiédrie holoaxe, donnant lieu à des formes conjuguées non superposables (**505**).

La rotation de la vibration peut s'effectuer, soit de gauche à droite (corps *dextrogyres*), soit de droite à gauche (corps *lévogyres*). Les cristaux montrent, par la position des faces hémièdres, le sens de la rotation ; ainsi, les quartz présentant les faces hémièdres (fig. 103) en s sont dextrogyres, ceux qui les présentent en s' étant lévogyres.

241. — L'angle de rotation dépend de la longueur d'onde de la lumière employée et il est proportionnel à l'épaisseur traversée. Pour le quartz, il est, par millimètre d'épaisseur, de 15°30, pour la raie B (λ_r), de 21°67 pour la raie D (λ_j), de 42°20 pour la raie G (λ_v).

242. — Il suit de là que, pour une lame a^1 de quartz (fig. 214) lévogyre, examinée en lumière monochromatique λ_r, il n'y aura pas extinction entre nicols croisés puisque la vibration incidente OP aura tourné de OP en OP′ et, à la sortie, ne sera plus normale à l'analyseur OA ; pour obtenir l'extinction, il faudra tourner du même angle ω l'analyseur, et dans le même sens ; pour une lame dextrogyre, la vibration de sortie serait OP″ et l'analyseur devrait être tourné en sens inverse.

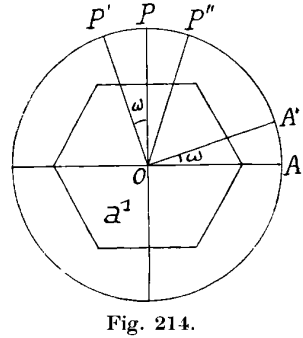


Fig. 214.

De plus, en lumière blanche, on ne pourra jamais obtenir l'extinction, puisqu'une rotation ω de l'analyseur pourra éteindre les radiations rouges mais laissera subsister une teinte résultant des autres radiations ; au fur et à mesure de la rotation de l'analyseur, la lumière transmise est successivement verte, bleue, violette, rouge, orangée et jaune. La teinte violette (fleur de pêcher) qui est très sensible, correspond à la raie D (jaune moyen).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En lumière convergente, et en lumière blanche, les lames assez épaisses de quartz et de cinabre montrent une croix noire (fig. 194) dont le centre reste éclairé.

243. — Mallard, a montré que l'empilement de lamelles biaxes extrêmement minces et orientées de telle façon que chacune a tourné, par rapport à la lamelle inférieure, d'un angle constant, donnait un ensemble uniaxe jouissant de la polarisation rotatoire. La rotation du plan de polarisation est inverse de l'empilement.

L'expérience a confirmé cette théorie ; on a pu obtenir, à l'aide de lamelles de mica biaxes, empilées de façon que le plan des axes soit à 60° d'une lamelle à l'autre, un ensemble uniaxe présentant le phénomène.

D'autres théories ont d'ailleurs été émises pour expliquer le phénomène.

244. — Certains corps, comme le quartz, actifs à l'état cristallin, perdent cette propriété lorsqu'ils sont fondus ou mis en solution. D'autres, comme la saccharose (**78**), la conservent ou ne la montrent qu'en solution. Dans ce dernier cas, la propriété est certainement due à la forme de la molécule qui occasionne une déviation de la vibration et, cette déviation se faisant dans le même sens d'une molécule à l'autre, il en résulte un effet rotatoire moyen proportionnel à la concentration de la solution.

On comprend donc que cette propriété peut servir, à l'aide d'instruments dits *polarimètres*, à déterminer la teneur en sucre d'une solution ; l'appareil permet de comparer l'angle de déviation d'une solution type à l'angle de déviation de la solution étudiée.

§ 14. — CRISTAUX MACLÉS.

245. — Une lame mince traversant une macle montrera deux plages s'éteignant dans des positions différentes l'une de l'autre par rapport au plan de macle ; lorsque l'une d'entre elles sera éteinte, l'autre sera éclairée. Si la lame est perpendiculaire au plan de macle (fig. 215), les extinctions seront symétriques par rapport à la trace de ce plan.

Il peut se faire aussi que la lame comprenne deux plages maclées parallèlement à son plan et superposées ; en général, les axes d'ellipses des deux plages ne seront pas parallèles entre eux, de sorte que l'on n'obtiendra pas d'extinction nette en lumière paral-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

lèle, puisque, l'une des plages étant en position d'extinction, l'autre ne le sera pas.

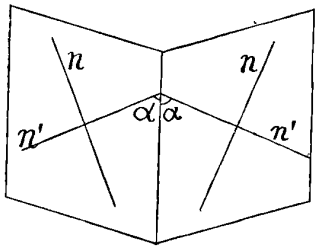


Fig. 215.

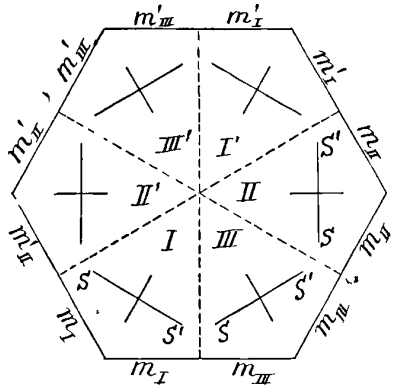


Fig. 216.

246. — Les groupements mimétiques (**116**) se reconnaîtront immédiatement dans les lames minces ; dans le cas de la macle répétée de l'albite, par exemple (fig. 134), on verra une série de plages éteintes séparées par des plages éclairées (voir la figure 3 de la planche III).

247. — L'examen de lames taillées dans des groupements approximatifs (**120**) décèlera également la structure de l'assemblage. Ainsi, un prisme hexagonal d'aragonite pourra présenter l'aspect de la figure 216 : les plages I et I′, II et II′, III et III′ s'éteignent deux à deux ensemble, ce qui montre un groupement de trois cristaux ; en lumière convergente, on constate que les traces des plans des axes optiques sont dirigées dans les diverses plages suivant les droites SS′, c'est-à-dire à 120° l'une de l'autre. L'assemblage est formé de cristaux orthorhombiques limités par des faces *m* et joints par des plans perpendiculaires à *m* dont la notation est g^2. Cependant le groupement n'est qu'approximatif, car l'angle des faces *m* n'est pas exactement égal à 120° ; l'assemblage n'a donc pas la régularité de la figure.

248. — Les études optiques faites sur de nombreux minéraux cubiques ont montré que leurs cristaux devraient être considérés comme constitués par des groupements de cristaux anisotropes et biaxes. Ainsi, certains rhombododécaèdres b^1 de grenats,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

lorsqu'on examine les lames parallèles aux faces, montrent les figures d'interférence orientées comme dans la figure 217. On en déduit que ces cristaux à symétrie cubique, sont en réalité formés par le groupement de 12 pyramides OABC, à bases rhombiques, biaxes, assemblées autour du centre O. C'est là un exemple d'une substance *pseudocubique*. La leucite et la boracite présentent des groupements analogues.

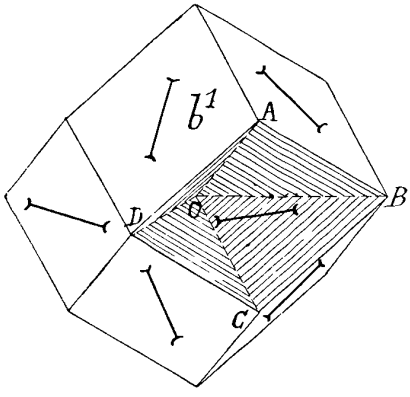


Fig. 217.

Cependant, à une certaine température, ces substances perdent leur biréfringence et deviennent isotropes ; cela se passe, pour la leucite à 433°, pour la boracite à 265°, mais les indications du groupement reparaissent quand le cristal se refroidit.

Le même genre d'assemblage se manifeste dans des cristaux autres que ceux du système cubique.

On dit que les minéraux, dont les caractères optiques, incompatibles avec leur système cristallin, s'expliquent par des assemblages de ce genre, présentent des *anomalies optiques* : ils offrent une *pseudosymétrie* géométrique supérieure à celle des individus qui les composent.

§ 15. — ÉTUDE DES MINÉRAUX OPAQUES.

249. — L'étude optique des minéraux opaques ou semi-transparents se fait par *réflexion* de la lumière sur une surface polie du minéral. Le polissage doit être parfait et la section doit être placée exactement normale à l'axe du microscope ; l'éclairage s'établit le mieux par un illuminateur latéral à l'instrument et dont la lumière est renvoyée sur la section à l'aide d'un prisme ou d'une glace plane.

250. — En lumière naturelle, on peut étudier la couleur que le minéral donne par réflexion et la comparer à celle de minéraux connus. On observe, à titre d'exemples :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Chalcopyrite, jaune ;
Pyrite, jaune crème ;
Covelline, bleue ;
Bornite, brune ;
Argent, blanc crème ;
Cobaltine, blanc rosé ;
Tétraédrite, blanc grisâtre ;
Blende, grise.

Les minéraux oxydés transparents restent plus ou moins gris ; un éclairage oblique permet d'y provoquer des réflexions internes.

251. — Le pouvoir réflecteur R est le rapport entre l'intensité de la lumière réfléchie et celle de la lumière incidente. Il dépend de l'indice de réfraction du corps et, pour les corps transparents, Fresnel a donné la formule :

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 ;$$

pour les corps non transparents, on doit faire intervenir un *coefficient d'absorption.*

252. — On a déterminé par plusieurs méthodes, le pouvoir réflecteur *absolu* de plusieurs minéraux que l'on prend pour étalons ; exemples :

Diamant : 0,171
Galène : 0,445
Argent : 0,950.

La mesure du R d'un corps par rapport à l'un de ces étalons donnera donc son pouvoir réflecteur absolu ; ainsi, pour la tétraédrite, on a mesuré, par rapport à la galène :

$$\frac{R_t}{R_g} = 0{,}66 \quad \text{d'où,} \quad R_t = 0{,}29$$

La mesure (procédé Orcel) se fait à l'aide d'une cellule photoélectrique disposée à la place de l'objectif. Cette cellule est une ampoule remplie d'argon et portant sur sa face supérieure interne une couche de potassium hydruré ; illuminé, le potassium émet des électrons et un courant, alimenté par une batterie de piles, s'établit

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

entre ce métal et un fil de tungstène central ; un potentiel accélérateur agit sur ce courant et actionne un galvanomètre à miroir qui donne un spot lumineux dont on enregistre la déviation δ ; on agit de même sur un minéral étalon qui donne une déviation Δ et le rapport $\frac{\delta}{\Delta}$ donne le pouvoir réflecteur relativement à l'étalon choisi.

253. — Par réflexion, on constate que les corps opaques sont isotropes ou anisotropes, comme les corps transparents. Une section plane anisotrope possédera deux indices n_1 et n_2 auxquels correspondront les pouvoirs réflecteurs R_1 et R_2. Si α et β sont les angles que les vibrations incidente et réfléchie font avec n_1, on démontre (1) que l'on a :

$$\text{tang. } \beta = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}} \text{ tang } \alpha$$

Il y a donc rotation de la vibration incidente d'un angle $\omega = \beta - \alpha$, ce que l'on pourra constater à l'aide d'un analyseur. Mais si $\alpha = 0$, on a $\beta = 0$, ce qui permet, en laissant l'analyseur normal au polariseur, de repérer la position des deux axes principaux n_1 et n_2 de la section.

254. — La *biréflectence* d'une section est la différence $R_1 - R_2$.

255. — Ce procédé d'étude permet donc :

1° de faire un examen comparatif des couleurs par réflexion et de déterminer s'il y a dichroïsme ou non ;

2° de voir si les sections sont isotropes ou anisotropes et, dans ce dernier cas, de préciser les positions des axes principaux par rapport à des repères choisis ;

3° de déterminer les pouvoirs réflecteurs absolus et les biréflectences ;

4° de préciser une orientation analogue aux orientations de l'ellipsoïde inverse ; ainsi, dans la stibine (orthorhombique), on a trouvé que $R_g = 0{,}53$ est normal à p, $R_m = 0{,}43$ est normal à h^1 et $R_p = 0{,}34$ est normal à g^1.

---

(1) Voir compléments. nos 566 à 568.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE V

PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES ET ÉLECTRIQUES

256. — Tous les corps de la nature sont sensibles aux actions magnétiques. Les uns sont attirés par les aimants comme le fer doux : on les appelle *paramagnétiques* ; les autres, appelés *diamagnétiques*, sont repoussés. Le fer, la sidérite, la tourmaline sont paramagnétiques ; le bismuth, la calcite, la topaze sont diamagnétiques.

L'intensité de l'action magnétique sur les minéraux est très variable de l'un à l'autre.

Cette propriété, utilisée dans le diagnostic des minéraux fortement magnétiques, comme la magnétite, sert également à effectuer des séparations dans les mélanges de minéraux, par exemple dans les concentrés obtenus au cours de lavage de sables de rivière pour la recherche des substances utiles ; un aimant naturel attirera d'abord la magnétite ; un électro-aimant plus ou moins puissant terminera la séparation d'autres minéraux paramagnétiques.

Le wolfram, attirable, peut être ainsi séparé de la cassitérite.

257. — Certains cristaux, dépourvus de centre, jouissent de la propriété de se charger d'électricité lorsqu'on fait varier leur température ; l'une des extrémités d'un de leurs axes de symétrie se charge d'électricité positive et l'autre d'électricité négative. On appelle pôle *analogue* l'extrémité où l'addition de chaleur produit une charge positive et pôle *antilogue* l'autre extrémité. L'inverse se produit pendant le refroidissement.

Ce phénomène constitue la *pyroélectricité* ; il se manifeste dans la tourmaline (fig. 105), la calamine (fig. 72), le quartz (fig. 103).

Une ingénieuse méthode pour examiner ce phénomène a été imaginée par Kundt : le cristal est saupoudré d'un mélange en poudre fine de minium rouge et de soufre jaune que l'on fait passer au travers d'un tamis, ce qui l'électrise par frottement, le soufre négativement et le minium positivement ; le soufre se dépose alors sur les parties du cristal électrisées positivement et le minium sur les parties électrisées négativement, de telle sorte que les deux régions deviennent bien visibles.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On constate ainsi que trois des arêtes verticales d'un cristal de quartz s'électrisent positivement et les trois autres, alternant avec les premières, négativement.

Dans la tourmaline et la calamine, c'est la partie la plus pointue de ces cristaux qui constitue le pôle antilogue.

Dans un cristal de boracite, cubique tétraédrique, quatre angles du cube s'électrisent positivement et les quatre autres négativement, montrant ainsi l'hémiédrie.

258. — Des cristaux dépourvus de centre se chargent également d'électricité lorsqu'on les comprime suivant certaines directions. Il en est ainsi du quartz suivant ses axes binaires.

Ce phénomène constitue la *piézoélectricité.*

Cette propriété est utilisée dans le *quartz piézoélectrique* de Curie, qui constitue un étalon d'électricité parfaitement constant. L'appareil (fig. 218) est formé d'une lame de quartz *q*, longue et mince, normale à un axe binaire et mastiquée en ses deux extrémités H et B dans des pièces métalliques ; l'extrémité H est suspendue à un crochet fixe. Les faces opposées de la lame sont recouvertes de feuilles d'étain isolées *mn* et *m'n'*, mises en communication, à l'aide de ressorts *r* et *r'* avec des appareils d'électricité.

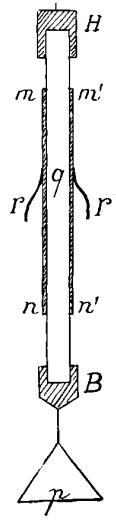


Fig. 218.

Si l'on exerce sur le quartz une traction en posant des poids sur le plateau *p*, les deux faces *mn* et *m'n'* se chargent de deux couches d'électricité de noms contraires ; si, après avoir déchargé les feuilles d'étain, on fait ensuite cesser la traction, le condensateur se charge de nouveau mais, cette fois, les charges sur les faces sont égales et de signes contraires à celles obtenues précédemment. La quantité d'électricité dégagée par la lame est proportionnelle au poids tendeur.

Egalement, dans le triplet quartz-acier de Langevin, une lame de quartz déformée élastiquement sous l'influence d'un courant alternatif, émet, dans l'eau, des ondes ultrasonores dont l'appareil peut recevoir l'écho produisant à nouveau des charges électriques oscillantes que l'on peut déceler par les moyens ordinaires de la télégraphie sans fil ; le temps nécessaire pour la perception de l'écho est fonction de la distance à laquelle se trouve l'obstacle qui a provoqué le retour du son.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE VI

ÉTUDE DES CRISTAUX PAR LES RAYONS X

259. — Lorsqu'on fait passer un courant électrique à haute tension, provenant d'une bobine de Rhumkorf, dans un tube ou une ampoule renfermant un gaz très raréfié, cette masse gazeuse s'emplit de lueurs de teintes variables d'après la nature du gaz et sa raréfaction. Ces lueurs partent surtout de l'électrode positive ou *anode*; mais si l'on raréfie fortement le gaz, une lueur violette part de l'électrode négative, ou *cathode*; cette lueur est due aux *rayons cathodiques*, qui jouissent de curieuses propriétés : ils rendent fluorescents les corps qu'ils rencontrent; ils sont déviés par les corps électrisés; ils rendent l'air conducteur de l'électricité, etc. Les rayons cathodiques sont dus à la projection continue de *particules matérielles* lancées par la cathode avec une énorme vitesse; ces particules, en frappant la paroi en verre de l'enceinte dans laquelle on les produit, ou mieux une plaque métallique (platine, tungstène) appelée *anticathode*, se transforment en radiations d'un autre genre appelées ***Rayons X*** ou ***Rayons de Roentgen.***

260. — Ces rayons déchargent les corps électrisés; ils impressionnent les plaques photographiques; ils pénètrent plus ou moins tous les corps; ils ne se polarisent pas.

Cependant, une différence de longueur d'onde les distingue seule des radiations lumineuses et il existe plusieurs espèces de rayons X comme il y a plusieurs espèces de radiations lumineuses; la moyenne de leurs longueurs d'onde est le dixième du millionième de millimètre.

Les radiations émises par une ampoule à rayons X diffèrent suivant la pression intérieure de l'ampoule et aussi suivant la substance métallique employée comme anticathode. Si, par analogie avec les radiations lumineuses, on dit qu'il existe une radiation « blanche », on peut ajouter aussi que, sous l'influence d'une excitation convenable, chaque substance anticathodique est capable d'émettre un rayonnement X homogène et caractéristique ayant une longueur d'onde déterminée λ.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

261. — Le degré de transparence des corps aux rayons X paraît lié à la grandeur des poids atomiques de leurs constituants ; ainsi, une lame de platine n'est guère traversée, tandis qu'une plaque d'aluminium l'est plus fortement. Les os doivent aux poids moléculaires des sels de calcium qu'ils renferment la presque entière opacité dont ils font preuve. On comprend ainsi que le diamant et le graphite, minéraux constitués par du carbone, soient également transparents aux rayons X ; cette transparence est presque complète, tandis que le verre est opaque ; on a donc là un moyen de distinguer les diamants vrais des diamants faux. Le corindon (Al^2O^3) est un peu moins transparent que le diamant. Le quartz, les feldspaths, et surtout la fluorine sont faiblement transparents ; la tourmaline est peu sensible. Le soufre, l'épidote, le béryl sont presque entièrement opaques.

262. — Un atome est constitué (**10**) par un noyau autour duquel gravitent des *électrons* ; lorsqu'une vague de rayons X arrive sur l'un de ces éléments, celui-ci donne lieu à une émission secondaire qui envoie des ondes dans toutes les directions ; les véritables centres d'émissions sont les électrons et, pour chaque atome, on peut considérer l'enveloppe des émissions de tous les électrons correspondants.

263. — Supposons un réseau plan d'atomes (fig. 219) sur lesquels l'onde AB produit des émissions secondaires suivant des

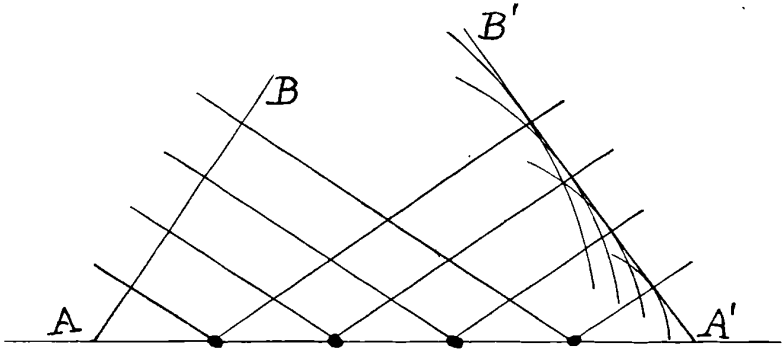


Fig. 219.

surfaces d'onde sphériques. Au temps t après que l'onde est en AB, le plan tangent à ces surfaces est en A'B' et c'est l'onde réfléchie ; on voit que l'angle de réflexion est égal à l'angle d'in-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

cidence, car les chemins parcourus par les rayons doivent être égaux.

264. — Mais le train d'ondes réfléchi est trop faible pour être perceptible ; il ne peut devenir sensible que s'il est le résultat d'ondes dues à un grand nombre de plans parallèles et dont les effets s'ajoutent.

Or, représentons (fig. 220) par p_1, p_2, p_3... différents plans réticulaires limitrophes et par d la distance qui sépare deux de ces plans. Le faisceau de rayons CD pénètre dans la couche sous l'angle θ. Recherchons la condition pour que les ondes produites

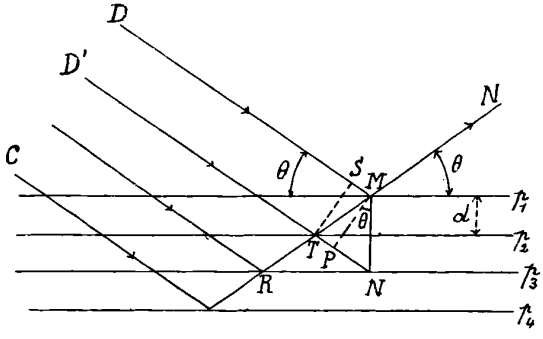


Fig. 220.

par diffraction aux différents points M, T, R,... et se propageant suivant MN soient rendues sensibles en N. Menons MP et TS perpendiculairement à DM. La différence des chemins parcourus par les rayons D'TM et DM est :

$$TM - SM = TN - TP = PN = 2\,d \sin \theta.$$

Si cette différence est égale à un nombre entier de λ, les rayons réfléchis suivant MN par p_2, p_3,... ajouteront leur effet à celui qui est réfléchi par p_1, et il y aura réflexion sensible suivant l'angle θ. Mais, pour la plus petite différence entre PN et λ, les milliers de trains d'onde réfléchis suivant MN donneront une amplitude résultante nulle.

On voit que, si un train d'onde homogène tombe sur une face cristalline, il n'y aura réflexion que pour certaines valeurs bien déterminées de θ données par :

$$\begin{aligned} \lambda &= 2\,d \sin \theta_1 \\ 2\lambda &= 2\,d \sin \theta_2 \\ 3\lambda &= 2\,d \sin \theta_3 \text{ etc.} \end{aligned} \qquad (1)$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Ce sont les formules de Bragg.

On obtiendra donc pour les plans réticulaires d'intervalle d une série de réflexions correspondant à des angles θ_1, θ_2, θ_3,... et que l'on désigne par les expressions : « premier, deuxième, troisième,... spectres ».

265. — Les rayons lumineux donnent réflexion quel que soit l'angle θ ; la formule de Bragg montre que, avec les rayons X, la moindre différence dans λ ou dans θ pourra annuler la réflexion perceptible. De plus, il n'y a réflexion que si

$$\sin \theta < 1 \qquad \text{ou} \qquad d > \frac{n \lambda}{2}$$

Certains plans ne donneront qu'un spectre, d'autres deux ou plusieurs, d'autres aucun.

266. — Les équations (1) montrent que l'on a, pour une même face cristalline :

$$\sin \theta_1 : \sin \theta_2 : \sin \theta_3 = 1 : 2 : 3 \qquad (2)$$

Effectivement, si l'on fait l'expérience avec des rayons de palladium sur une face p de sel gemme (cubique), on constate trois spectres correspondant aux angles :

$$\theta_1 = 5°54' \qquad \theta_2 = 11°51' \qquad \theta_3 = 18°09'$$

et l'on peut vérifier que la relation (2) est très suffisamment satisfaite.

Si l'on emploie une lame parallèle à des plans réticulaires d'intervalle d', on aura :

$$n \lambda = 2 d' \sin \theta. \qquad (3)$$

En employant une même lame cristalline, les équations (1) permettent donc de comparer les longueurs d'onde de vibrations monochromatiques [1]. Réciproquement, avec une même vibration, et en employant des lames différentes, les équations (1) et (3)

---

[1] Ce mot « monochromatique » est employé par analogie avec les rayons lumineux. Diverses considérations jointes aux précédentes ont permis d'évaluer les valeurs absolues de certains λ des rayons X. On a trouvé, par exemple : λ (palladium) $= 0{,}58 \times 10^{-8}$ cm. et λ (cuivre) $= 1{,}55 \times 10^{-8}$ cm.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

permettent de comparer les intervalles d et d' des plans réticulaires correspondants.

267. — L'énergie totale diffusée par un atome de poids atomique est sensiblement celle que diffuseraient $\frac{M}{2}$ électrons. Comme on attribue généralement à chaque atome un nombre d'électrons égal à son nombre atomique (1), l'intensité des spectres de premier ordre sera généralement proportionnelle au poids atomique.

Sur une série de plans comportant chacun les mêmes atomes, le pouvoir réflecteur décroît d'une façon continue et rapide quand on passe de la réflexion du 1er ordre aux suivantes suivant la loi exposée plus haut, parce que l'intensité est à peu près proportionnelle à $\frac{1}{\sin^2 \theta}$.

Mais supposons que les divers plans parallèles soient (fig. 221) alternativement composés de plans P contenant une espèce d'atomes et de plans P′ contenant une autre espèce d'atomes ; soit d l'intervalle des plans P et d' l'intervalle des plans P et P′. Les ondes réfléchies par les atomes de P donneront une série de spectres d'intensité régulièrement décroissante ; il en sera de même des ondes réfléchies par P′ ; mais l'ensemble des spectres obtenus montrera une irrégularité d'intensité qui permettra, en calculant les intervalles d et d', de préciser les espèces d'atomes contenus dans les divers plans.

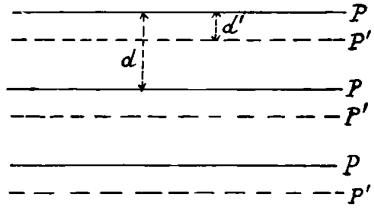


Fig. 221.

On est parvenu ainsi à préciser divers types de structure. Nous nous bornerons à en donner deux exemples.

268. — Considérons les corps haloïdes cristallisant dans le système cubique. Supposons que les atomes d'un de ces corps, de formule RCl, se trouvent (fig. 222) aux nœuds d'un réseau cubique ; représentons les atomes métalliques R par des cercles

(1) Le *nombre atomique* représente le rang du corps, dans la suite naturelle des éléments classés dans l'ordre de leurs poids atomiques croissants.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

noirs et les atomes Cl par des cercles blancs et supposons-les répartis comme l'indique la figure.

On voit aisément que les plans p du réseau renferment chacun des atomes des deux espèces et qu'il en est de même des plans b^1 ; mais les plans a^1 sont alternativement composés d'atomes R et d'atomes Cl.

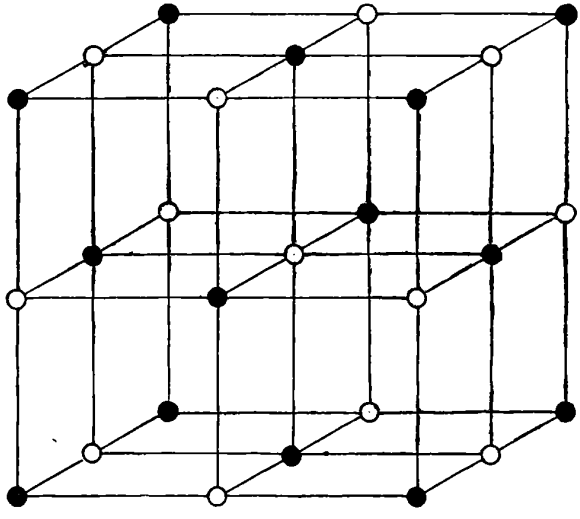


Fig. 222.

L'intervalle de deux plans p étant supposé égal à 1, l'intervalle des plans b^1 est $\frac{1}{\sqrt{2}}$ et l'intervalle des plans a^1 est $\frac{1}{\sqrt{3}}$.

Dans la sylvine KCl, les poids atomiques de K (39) et de Cl (35,5) sont très voisins ; les premiers spectres obtenus sur chacun des trois plans devront donc satisfaire à la relation

$$\sin\theta : \sin\theta' : \sin\theta'' = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} \qquad (4)$$

et, effectivement, ces spectres correspondent aux angles :

$$\theta = 5°13' \qquad \theta' = 7°18' \qquad \theta'' = 9°3'$$

Dans le sel gemme (NaCl), où les poids atomiques Na (23) et Cl (35,5) diffèrent déjà notablement, la relation (4) est bien satisfaite pour les plans p et b^1 car on a :

$$\theta = 5°54' \qquad \theta' = 8°16'$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

mais les premier et troisième spectres de lames a^1 sont extrêmement faibles à cause de l'interférence des deux séries d'ondes réfléchies par les plans Na et par les plans Cl.

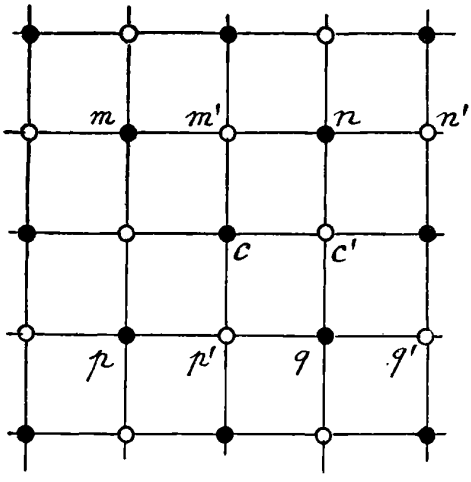


Fig. 223.

La figure 223 représente la projection sur p du réseau de corps halogènes. Les métaux R occupent les nœuds m, n, p, q, d'un premier réseau cubique, dont le centre c de chaque face porte également un atome R ; les atomes Cl dessinent un autre réseau cubique m' n' p' q', également centré en c', et ces deux réseaux s'interpénètrent régulièrement.

Cet exemple montre que, si les plans successifs parallèles à une face du cristal ont une action identique sur les rayons X, l'intensité des différents spectres décroît régulièrement quand leur numéro d'ordre (ou l'angle θ) croît. Si cette régularité manque, on doit en conclure, ou que les plans successifs ont des constitutions différentes, ou que leur intervalle est différent.

269. — Les expériences faites sur les plans p, b^1, a^1, de la blende Zn S peuvent s'interpréter par la structure représentée sur la figure 224. Soit ABCD une maille d'un réseau cubique ; les atomes Zn se placent aux sommets et aux centres des faces ; les atomes S (cercles noirs) se placent aux centres de quatre des petits cubes élémentaires composant la maille principale.

Cette structure du réseau est encore représentée sur la figure 225 où les cercles blancs indiquent la position des atomes Zn sur la face supérieure du cube précédent. Les cercles noirs représentent la position des atomes de soufre dans le plan mené par M et N (fig. 214), c'est-à-dire au quart de la hauteur totale de la maille. Les atomes de Zn du plan PQR sont représentés par des croix et les atomes de soufre inférieurs sont représentés par des points noirs.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les atomes de soufre dessinent donc aussi dans l'espace un réseau cubique à faces centrées dont les nœuds se placent aux centres des cubes élémentaires de la maille principale du réseau analogue formé par les atomes de Zn. C'est l'ensemble ABCD qui constitue le *motif* (**30**) se répétant périodiquement dans le réseau de Bravais.

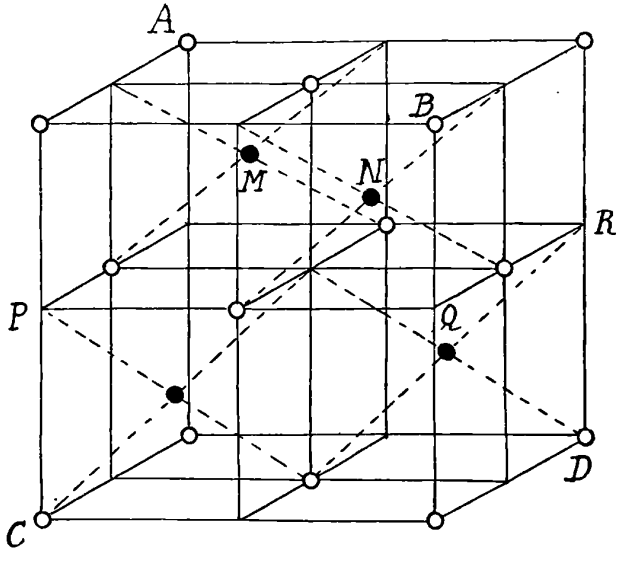


Fig. 224.

On voit aisément, en étudiant les deux figures 224 et 225, que les plans b^1 renferment des atomes de Zn et S et, par conséquent, qu'ils doivent montrer des spectres de décroissance régulière, ce que l'expérience confirme. Les plans p sont alternativement formés de Zn et de S et cette disposition tend à faire disparaître le premier spectre. Quant aux plans a^1, ils sont alternativement composés de Zn et de S, mais la distance d'un plan S à un plan Zn est le quart de celle de deux plans Zn ; aussi le second spectre est-il beaucoup plus faible que le premier et le troisième.

Le diagramme de la figure 225 montre bien que la blende ne possède que les éléments de symétrie du groupe antihémiédrique du système cubique.

270. — Des structures de nombreux corps cristallisés ont été étudiées de même façon et les résultats obtenus par le seul examen des spectres confirment et expliquent les résultats des études

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

cristallographiques (1). Le quartz, par exemple, peut être conçu comme constitué par un enroulement hélicoïdal d'atomes Si et

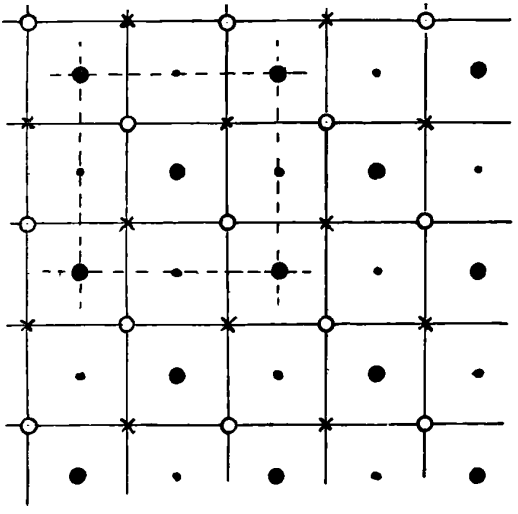


Fig. 225.

O^2 autour d'un axe ternaire, l'enroulement, dextrorsum ou sinistrorsum, correspondant aux formes droites et gauches des cristaux (**240**).

271. — *Radiogrammes.* — Les premières expériences concernant l'action des rayons X sur les cristaux, conçues en 1921 par Laüe, procédaient par transmission au travers d'une lame cristalline.

---

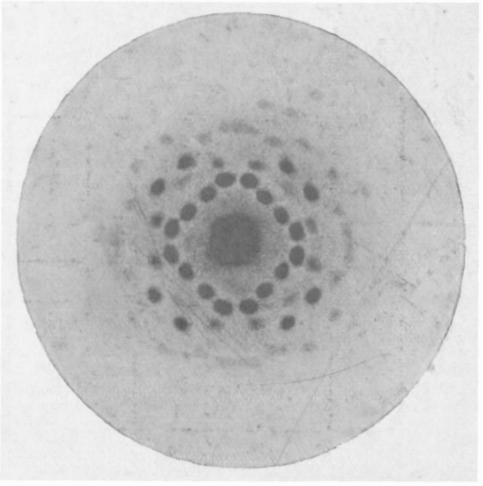
(1) L'équidistance des différents plans cristallins a pu également être calculée en faisant intervenir dans les formules (1), les volumes moléculaires et les densités. Pour le sel gemme, l'intervalle des plans p est égal à :

$$d = 2{,}81 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

Les longueurs d'onde des rayons X sont donc du même ordre de grandeur que les intervalles atomiques.

On trouve d'ailleurs que les volumes des mailles réticulaires sont toujours dans un rapport rationnel simple avec les volumes des molécules et cette loi permet de fixer le nombre de molécules existant par maille. Ainsi le volume de la maille du NaCl est $d^3 = 22{,}2 \times 10^{-24}$ cm³ et celui de sa molécule est $\varphi = 44{,}49 \times 10^{-24}$ cm³. Le rapport est égal à 0,5. On en déduit qu'il y a quatre molécules par maille et que cette maille doit avoir un paramètre $2d$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1



1. — Radiogramme d'une lame de blende parallèle a une face du cube.

2. — Pechblende du Katanga (exposition de 14 heures) :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Soit (fig. 226) ABCD la section faite dans un cristal par un plan mené suivant la direction OT du faisceau incident tombant sur le cristal en O. Sur une plaque photographique PP′, il se produira, en plus d'une tache centrale T, différentes taches, telles que *t*, provenant de la réflexion sur un système de plans réticulaires parallèles à la direction O*p*. Or, comme T*t* = OT tg2θ, il est facile, par la mesure de T*t*, de calculer l'angle θ de diffraction et, ensuite, de fixer sur la sphère la position du pôle S du plan réticulaire O*p*. D'autres calculs permettent de préciser, en plus de la position des plans réflecteurs, les longueurs d'onde des rayons réfléchis et les pouvoirs diffractants des atomes.

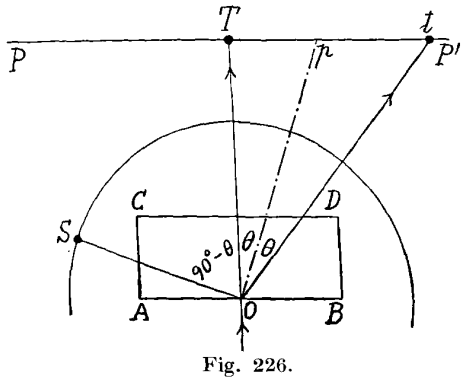


Fig. 226.

En considérant tous les plans passant par OT, on voit que la plaque montrera une série de taches disposées plus ou moins symétriquement autour de OT et donnera des indications sur la symétrie du cristal.

De plus, on démontre aisément que tous les plans réflecteurs passant par une droite O*p* (plans en zone) donnent des réflexions se trouvant sur un cone d'angle θ et que les taches produites se trouvent, par conséquent, sur une ellipse dont le grand axe est T*t*. Le grand cercle de zone correspondant se projette en OS.

La figure 1 de la planche II donne un exemple de ces radiogrammes.

272. — Dans d'autres instruments, tels que le spectromètre de Bragg, on fait tourner une face cristalline devant un faisceau de rayons X qui, par réflexion, est reçu dans une chambre d'ionisation reliée à un électroscope permettant de mesurer, par l'intensité du courant transmis, l'intensité de la réflexion ; on obtient donc les angles θ correspondant à une même face.

Dans la méthode du cristal tournant, le cristal est placé en face de la plaque photographique et traversé par un faisceau normal à cette plaque ; le cristal tourne autour d'un axe normal au faisceau de sorte que, pour une révolution complète, chaque système de plans réticulaires donne quatre taches symétriques.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

273. — *Méthode des poudres.* — Si le cristal soumis à l'action d'un faisceau de rayons X subit une rotation autour de l'axe du faisceau, chaque faisceau réfléchi décrira un cône autour du même axe et, sur une plaque photographique normale au faisceau incident, donnera un cercle dont le rayon permettra de déterminer l'angle θ de la formule de Bragg. Or, une matière cristalline réduite en poudre et comprimée, réalisera une infinité de petits cristaux d'orientations mélangées et permettra d'obtenir, sans rotation, des cercles de diffraction correspondant aux diverses équidistances réticulaires. En comparant la loi de succession de ces équidistances aux lois d'équidistances des plans réticulaires dans diverses structures types, on peut préciser à laquelle de ces structures appartiennent les cristaux examinés. Exemple : l'étude d'une poudre de molybdène permet d'identifier le réseau cristallin de ce métal à un réseau de cubes centrés d'arête $a = 3{,}143 \times 10^{-8}$ cm. Effectivement, le calcul de la densité du métal basé sur ce réseau conduit à une valeur de 10,20, alors que la mesure directe donne 10,28.

Cette méthode, souvent très délicate, permet d'analyser des substances dont les cristaux, trop petits, échappent aux autres moyens d'investigation ; il en est ainsi dans l'étude des métaux et des alliages. Elle a permis de constater également l'état cristallisé des charbons et l'identité de leurs radiogrammes avec celui du graphite. On a pu aussi constater l'état cristallisé de particules d'or dans des solutions colloïdales.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE VII

RADIOACTIVITÉ DES MINÉRAUX

274. — Certains minéraux émettent *spontanément* des radiations pénétrantes qui sont analogues aux rayons cathodiques et aux rayons X. Ces minéraux sont dits *radioactifs* et cette propriété est liée à leur constitution atomique ; elle est due à la présence d'atomes de certains éléments dans leur molécule.

La radioactivité a été reconnue d'abord dans les composés d'uranium et de thorium. L'étude des minéraux uranifères ayant montré que certains d'entre eux possédaient un pouvoir radioactif de beaucoup supérieur à celui de l'uranium, on devait en conclure qu'ils renfermaient des atomes d'un corps beaucoup plus puissant que l'uranium. On a découvert ainsi le polonium, puis le radium, l'actinium, l'hélium.

275. — Les corps radioactifs rendent l'air et les diélectriques bons conducteurs ; ils donnent lieu à des effets phosphorescents ; ils produisent sur les solides une radioactivité induite qui les rend eux-mêmes radioactifs. Les radiations qu'ils émettent peuvent être séparées, au moyen d'un champ magnétique, en trois catégories : 1° les *rayons* α, qui transportent de l'électricité positive et sont rapidement absorbés par l'air en donnant de l'hélium ; 2° les *rayons* β, chargés négativement ; 3° les *rayons* γ, très pénétrants comparables aux rayons X.

Chaque particule, qui se désagrège en émettant une particule α, engendre, en se transformant, un autre corps de poids atomique moindre ; celui-ci donne à son tour naissance à une projection de particules et à un corps nouveau : il y a donc fragmentation de l'atome. L'uranium, de poids atomique 238, donne ainsi, en passant par divers intermédiaires, du radium, dont le poids atomique est 226 ; le radium donne un gaz appelé *émanation*, ou *radon*, et, la désagrégation continuant, donne finalement du plomb.

276. — La quantité de particules d'un corps radioactif détruite dans l'unité de temps est toujours proportionnelle à la quantité

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

existante ; les corps radioactifs se détruisent donc avec une vitesse variable et de plus en plus lente. Si l'on envisage une certaine quantité q d'éléments, un certain temps t sera nécessaire pour la destruction de la quantité $\frac{1}{2}\ q$; pendant un second terme t, la moitié $\frac{1}{4}\ q$ de la quantité restante se détruira, et ainsi de suite.

La moitié d'une quantité quelconque d'un corps radioactif se transforme donc dans un temps constant et cette constante de temps est la *période de désagrégation* du corps. La figure 227

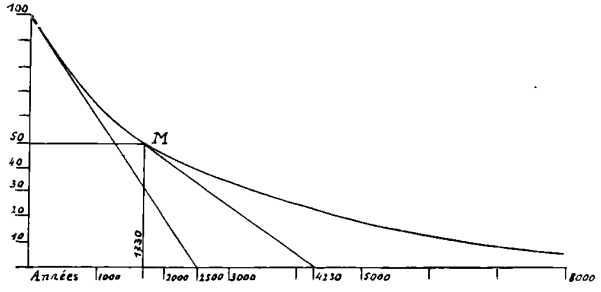


Fig. 227.

représente la courbe de désagrégation du radium ; on voit qu'une quantité 100 de ce corps est réduite de moitié après 1730 années.

La *vie moyenne* est le temps qui serait nécessaire pour la destruction d'une quantité donnée si cette destruction se faisait avec une vitesse uniforme ; cette destruction serait alors représentée par la tangente à la courbe au point représentant la quantité envisagée : on voit sur la figure que, pour le radium, la vie moyenne est de 2500 années.

Entre la vie moyenne V et la période de désactivation P, on a la relation : $V = 1{,}45 \times P$.

La *constante radioactive* est la fraction d'une masse donnée qui se transforme en une seconde et cette constante est l'inverse de la vie moyenne estimée en secondes.

Pour l'émanation du radium, la vie moyenne est de 5,57 jours, ou de 481.250 secondes ; on peut donc dire que, chaque seconde, la $\frac{1}{481.250}$ partie de l'émanation existante se transforme. D'autre part, la période de désactivation est de 3,85 jours.

Pour l'uranium, la période est de 5×10^9 années.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

277. — A la destruction d'un corps radioactif correspond la formation d'un autre corps, mais celui-ci se décomposant à son tour il arrive un moment où la quantité du second corps disparaissant en une seconde est compensée par la quantité produite : il existe donc un rapport d'équilibre entre deux corps radioactifs et l'on comprend ainsi que la quantité de radium existant dans un minerai soit proportionnelle à la quantité d'uranium. On admet qu'un minerai uranifère contient un gramme de radium par 2907 kilogrammes d'uranium métal, soit 292 milligrammes de radium par tonne d'oxyde U^3O^8.

278. — L'identification par voie chimique des corps radioactifs dans les minéraux est pratiquement impossible, mais les propriétés des radiations qu'ils émettent permettent l'emploi de méthodes de recherches très simples.

L'une de ces méthodes est basée sur l'action de ces rayons sur la plaque photographique. Plaçant une plaque de sensibilité moyenne dans un papier noir qui l'entoure deux fois, et la couche de gélatine au-dessus, et posant sur la feuille noire des parcelles du minéral à essayer, on laisse le tout dans l'obscurité pendant plusieurs heures ; la présence de taches noires sur la plaque développée décèle les substances radioactives et, toutes choses égales, ces taches sont d'autant plus sombres que le minéral a une activité plus grande (planche II, fig. 2). Le nombre d'heures pendant lequel le minéral doit rester sur la plaque varie de 3 à 48.

279. — Des mesures quantitatives peuvent se faire à l'aide d'*électromètres* spéciaux.

Supposons par exemple, que les plateaux A et B d'un condensateur (fig. 228) soient reliés, l'un au sol, l'autre à un électroscope E à feuilles d'or chargé d'électricité. Dans les circonstances ordinaires, l'air formant isolant entre A et B, l'électroscope reste chargé ; mais si l'on place sur le plateau B une matière active finement pulvérisée, la charge de l'électromètre s'écoule au sol et il suffit de mesurer la vitesse de chute des feuilles pour avoir une valeur de l'activité de la substance ; on

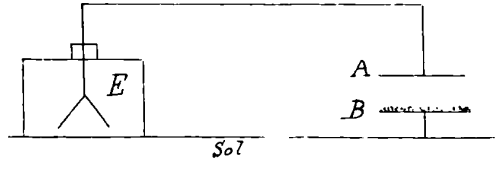


Fig. 228.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

compare à l'activité de l'oxyde d'urane noir, que l'on prend pour unité. On mesure d'abord la vitesse de chute à vide en chronométrant le nombre n de secondes que mettent les feuilles pour parcourir d divisions ; on fait la même mesure N pour D divisions avec de l'oxyde noir d'urane pris pour étalon ; on a :

$$V = \frac{D}{N} - \frac{d}{n}$$

On essaie ensuite le minerai après avoir fait un nouvel essai à vide et l'on a :

$$V_m = \frac{D'}{N'} - \frac{d'}{n'}$$

et la radioactivité R du minerai est $\frac{V_m}{V}$.

On trouve dans le commerce des électroscopes très portatifs : les substances essayées sont placées en poudre sous faible épaisseur sur des disques en laiton ou en verre que l'on introduit dans la cage de l'appareil préalablement chargé à l'aide d'un bâton d'ébonite.

280. — Pour des mesures délicates, on porte le plateau B (fig. 229) à un potentiel élevé en le reliant à l'un des pôles d'une batterie d'accumulateurs P dont l'autre pôle est à la terre ; la plateau A est maintenu au potentiel de la terre par le fil DC. Quand on place sur B une substance radioactive pulvérisée, un courant s'établit entre les deux plateaux.

Si l'on interrompt en C la communication avec la terre, la charge du plateau A agit sur l'électromètre E ; on *compense* alors cette charge à l'aide du quartz piézoélectrique q (**258**) que l'on a préalablement soumis à une tension connue ; par enlèvement de poids, on soulève peu à peu le plateau p, ce qui fait dégager au quartz une quantité d'électricité et l'on règle l'opération de façon que l'électromètre E reste au zéro, c'est-à-dire que la quantité d'électricité dégagée soit égale à celle qui traverse le condensateur AB.

La mesure, effectuée dans ces conditions, est indépendante de la sensibilité de l'électromètre ; elle permet de déceler la radioactivité d'un produit quand elle n'est que le $\frac{1}{100^e}$ de celle de l'uranium métallique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Lorsque le corps étudié est très radioactif, on diminue la surface occupée par la substance sur le plateau B, ou l'on place la substance à une certaine distance au-dessus du condensateur.

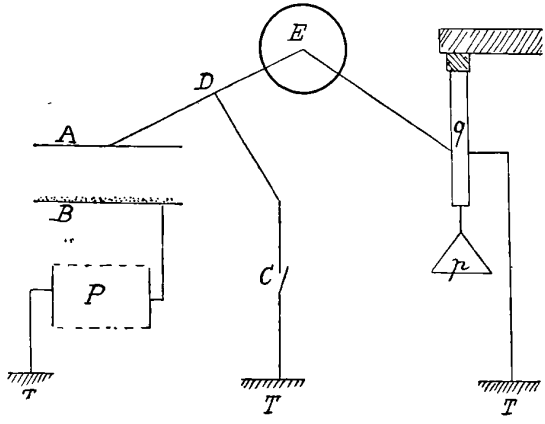


Fig. 229.

Lorsqu'on augmente fortement la différence de potentiel entre A et B, l'intensité du courant croît vers une valeur limite qui est prise pour mesure de la radioactivité : avec des plateaux de 8 centimètres de diamètre, distants de 3 centimètres, et avec les différences de potentiel dépassant 100 volts, les sels d'uranium donnent des courants de 10^{-11} ampères.

281. — En prenant comme unité la radioactivité de l'uranium, on a trouvé pour celle de divers minéraux radioactifs :

oxyde noir d'urane	100	euxénite	63
pechblende du Katanga	335	clévéite	60
uranite	230	samarskite	50
carnotite	270	monazite	20
autunite	120	fergussonite	30

282. — Dans quelques minéraux colorés, examinés au microscope en lame mince, on constate des *auréoles* circulaires se produisant autour de très petits cristaux de substance étrangère qui constituent des *inclusions* dans le minéral englobant. Ces auréoles sont plus foncées que le reste de la lame mince et montrent un dichroïsme très intense ; elles se manifestent fréquemment autour de zircons dans le mica noir.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Ces auréoles résultent de l'activité de rayons provenant de substances radioactives (uranium, thorium, radium) contenues dans les inclusions. La cause réelle de leur coloration n'est pas connue ; peut-être est-elle due à la production d'hélium dans les zones colorées.

283. — Certaines expériences ont fait émettre l'idée que l'on pourrait déterminer l'âge de certains minerais (et, par conséquent, l'âge minimum des terrains encaissants) en se basant sur le rapport de la quantité de plomb uranique qu'ils contiennent à la quantité d'uranium et de thorium. On aurait ainsi, en millions d'années :

$$A = \frac{Pb}{Ur + 0{,}384\ Th} \times 8000$$

De même, Rutherford a montré qu'un gramme d'uranium en équilibre produisait par an 11×10^{-5} millimètres cubes d'hélium, ce qui permettrait encore de déterminer l'âge d'un minerai, en supposant qu'il n'y a pas eu de perte du gaz par diffusion (1).

(1) L'âge de la pechblende du Katanga serait, d'après la première méthode, de 665 millions d'années, celle du Canada de 1200 millions et celle du Dakota, de 1700 millions.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE VIII

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES CRISTAUX

A. — Dureté

284. — On peut définir la dureté d'un minéral comme étant la résistance que la cohésion de ses molécules apporte à la destruction de sa structure. En général, on compare la dureté d'un minéral à celle d'un autre minéral ; on dit que l'un est plus dur que l'autre lorsqu'il le raye.

Plusieurs méthodes ont été proposées pour mesurer la dureté. On a déterminé le poids dont il fallait charger un instrument rayant, dit *scléromètre*, pour produire une rayure dans le minéral étudié. On a aussi déterminé le temps nécessaire pour polir une face d'un cristal avec un abrasif de composition type, ou encore la perte de matière que subissait le cristal tant qu'une quantité fixe de cet abrasif produisait effet.

Pratiquement, on a choisi dix minéraux, qui constituent l'*échelle de Mohs*, numérotés de 1 à 10 dans l'ordre croissant de dureté. L'intervalle qui sépare deux de ces types n'a rien de quantitatif comme le montre le tableau suivant :

	Echelle de Mohs	Dureté d'après Rosival
Talc	1	0,33
Gypse	2	1,25
Calcite	3	4,50
Fluorine	4	5,00
Apatite	5	6,50
Orthose	6	37,00
Quartz	7	120,00
Topaze	8	175,00
Corindon	9	1.000,00
Diamant	10	140.000,00

Dans l'emploi de l'échelle de Mohs, qui est universel aujourd'hui, on dit, par exemple, qu'un corps a une dureté de 3,5 lorsqu'il raye la calcite et est rayé par la fluorine. Les nos 1 et 2 sont rayés par l'ongle ; les nos 1 à 5 par l'acier ; le no 6 raye faiblement le verre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Ce caractère de la dureté est très utile dans la détermination de minéraux. Par exemple, les chalcopyrites ($CuFeS^2$) massives ressemblent beaucoup aux pyrites (FeS^2) ; mais la dureté des premières n'est que de 4 au maximum, tandis que celle des secondes est de 6 à 6,5.

285. — Il n'existe pas de relation entre la dureté et la densité d'un minéral ; le diamant a une densité de 3,516 et une dureté de 10, tandis que l'or a une densité de 19,33 et une dureté de 2,75. Cependant lorsqu'une substance se présente sous plusieurs formes, la plus dense est généralement la plus dure ; exemples :

		Dureté	Densité
Diamant	C	10	3,516
Graphite	C	1,5	2,23
Aragonite	$CaCO^3$	3,5	2,940
Calcite	$CaCO^3$	3	2,713

286. — La dureté varie d'une face à l'autre d'un cristal et, sur une même face, d'après la direction de la rayure. C'est là un résultat de la structure réticulaire. Ainsi, la calcite est plus dure sur les faces prismatiques e^2 que sur la base a^1 et, sur cette base (fig. 230), la dureté est plus grande dans le sens f que dans le

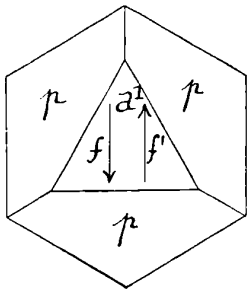


Fig. 230.

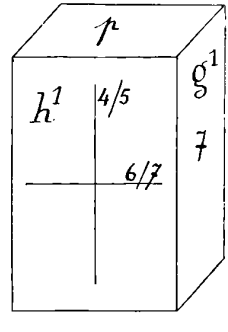


Fig. 231.

sens f'. — Ces différences de dureté sont souvent faibles, mais parfois elles sont très appréciables ; dans le disthène (Al^2SiO^5), la dureté (fig. 231) sur g^1 est 7 ; sur h^1, elle est de 6 à 7 perpendiculairement à g^1 et de 4 à 5 verticalement.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

B. — Clivages. Cassures

287. — L'attraction moléculaire oppose une résistance à tout effort que l'on fait pour occasionner un déplacement des molécules. Cette résistance peut varier d'une direction à l'autre.

Lorsque l'attraction moléculaire est presque la même dans toutes les directions, comme c'est le cas du verre, la substance se brise sous le choc sans qu'il y ait de direction privilégiée ; on obtient une cassure *conchoïdale* dont un bon exemple est donné par le quartz.

Nous avons vu (**133**) que, dans un réseau cristallin à paramètres déterminés, les faces fréquentes dans les cristaux sont celles pour lesquelles les densités réticulaires sont les plus grandes ; de plus, la distance qui sépare deux plans réticulaires parallèles est d'autant plus grande que la densité réticulaire est forte. Ce sont probablement les plans réticulaires dont cette densité est la plus forte qui sont des plans de *clivage*.

Le clivage peut s'obtenir, en général, dans un cristal, en un point quelconque, mais il arrive cependant aussi (fig. 232) que le clivage ne s'obtient qu'en des points *a*, *b*, *c* inégalement distants ; on a alors un clivage partiel ou interrompu donnant des *plans de séparation*.

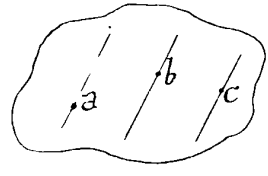


Fig. 232.

Les clivages sont d'ailleurs plus ou moins faciles ; les uns, comme dans le mica, s'obtiennent par simple décollement ; les autres, comme dans la blende, par le choc.

Lorsqu'on polit une face artificielle dans un cristal possédant une ou plusieurs directions de clivage, les séparations se feront avec d'autant plus de facilité et se montreront d'autant plus

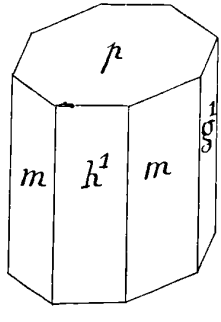


Fig. 233.

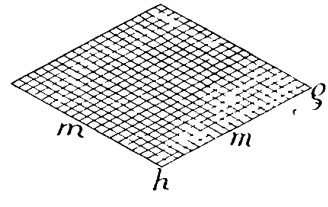


Fig. 234.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

serrées sur la face artificielle que l'angle de cette face avec le plan de clivage se rapprochera de 90°. Ainsi, la hornblende cristallise en prismes clinorhombiques (fig. 233) dont l'angle antérieur des faces *m* est de 55° ; ces faces *m* sont des directions de clivages ; les

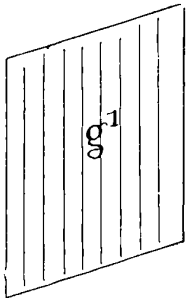


Fig. 235.

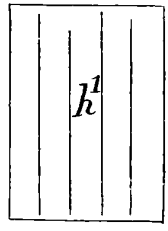


Fig. 236.

figures 234, 235 et 236 montrent la différence des traces de clivage qui se produisent par polissage sur un plan horizontal (faisant 90° avec *m*), sur un plan g^1 (faisant avec *m* un angle de 65°30′) et sur un plan h^1 (faisant 24°30′ avec *m*).

C. — Élasticité

288. — Un minéral, dans lequel les particules constituantes sont cohérentes, oppose une résistance à toute force qui tend à modifier les positions relatives de ces particules. Si la cohésion est suffisante pour empêcher une déformation permanente, les particules reviennent à leur position originale quand la force n'agit plus : le minéral est *élastique* ; un exemple typique est donné par le mica dont les feuilles minces obtenues par clivage se courbent sans se briser et reprennent leur position initiale dès que l'on cesse tout effort.

Lorsque la cohésion n'est pas suffisante, le minéral est flexible, mais non élastique ; c'est le cas de la chlorite.

Enfin, certains minéraux, comme l'or, la chalcosine, sont *sectiles*, on peut les couper au couteau.

289. — On peut produire dans certains minéraux, des *déformations mécaniques permanentes* qui donnent lieu à des *macles artificielles* semblables à celles que l'on rencontre dans la nature.

Ainsi, l'une des macles fréquentes de la calcite a pour plan de macle b^1 (fig. 237). Or, soit (fig. 238) un rhomboèdre de calcite

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

placé sur une table avec une de ses arêtes *b* horizontale. Si, sur l'arête *b* supérieure, on introduit en un point proche de l'angle *a*, et parallèlement à la flèche *f*, la lame d'un canif, on voit la partie pointillée se déplacer et tourner autour de *ss'* dans la direction *a E* ; le triangle *ass'* vient se placer en *Ess'* symétriquement au plan *p* par rapport au plan *ss's''* (qui est b^1) ; c'est la macle naturelle b^1 qui s'est produite. On voit que l'angle *a* supérieur est devenu un angle *E* ; l'arête *as*, qui était une arête *b*, est devenue

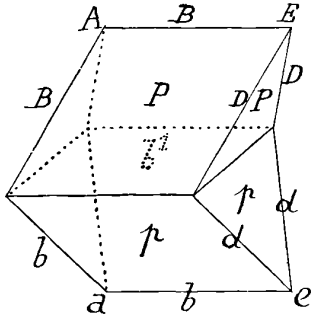


Fig. 237.

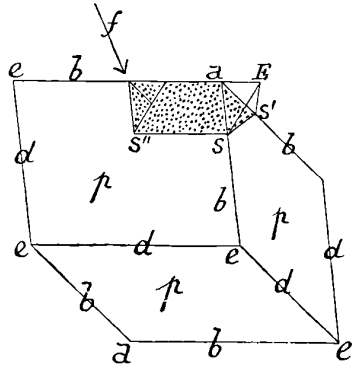


Fig. 238.

Es, qui est une arête *D*. — On peut même produire des faces D^1 artificielles : il suffit, avant de produire la macle, de gratter avec un canif les arêtes *as* en se dirigeant de *s* vers *a* ; lorsque la macle se produit sous l'effort *f*, on voit les faces grossières b^1 ainsi préparées devenir, en *Es* et *Es'*, des faces D^1 (symétriques de *ee*) parfaitement miroitantes.

D. — Figures de rayure, de percussion, de pression

290. — Lorsqu'on raye certaines faces de cristaux avec un instrument dont la dureté est un peu supérieure à celle du minéral, on peut produire des *figures de rayure* qui indiquent la symétrie de la face. Nous donnerons quelques exemples.

a) la *stibine*, rayée sur une face de clivage g^1 (orthorhombique) avec la pointe d'un crayon, donne, si la rayure est à peu près verticale, une série de triangles isoscèles (fig. 239), dont les bases *ab* sont horizontales.

b) la *vivianite*, clinorhombique, donne sur les lames de clivage g^1 des figures analogues ;

c) un cube de sel gemme (fig. 240), rayé à peu près perpendiculairement à une arête *b*, donne aussi des triangles isoscèles ;

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

d) un cristal orthorhombique d'aragonite, de forme mg^1e^1 (fig. 241), rayé sur une face *m* dans la direction de *h* vers *g*, donne aussi des triangles isoscèles dont la base *bb* est verticale et dont les côtés *ab* sont perpendiculaires aux arêtes me^1. Ces figures de rayure permettent de déchiffrer un assemblage tel que celui de la figure 242 :

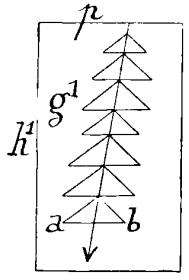


Fig. 239.

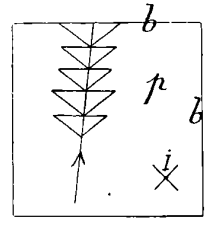


Fig. 240.

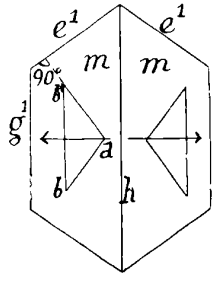


Fig. 241.

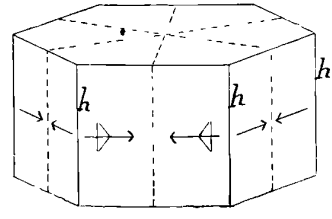


Fig. 242.

le sens de la rayure produisant les triangles montrera que toutes les arêtes verticales du prisme hexagonal sont des arêtes *h* du prisme orthorhombique de l'aragonite.

291. — Lorsqu'on frappe sur une lame de mica en un point O à l'aide d'une épingle, on produit trois fissures faisant entre elles des angles de 120° : ce sont les droites figurées en traits pleins sur la figure 243 ; cette *figure de percussion* est différente de la *figure de pression* produite au même point en appuyant sur la lame à l'aide d'une pointe mousse : les trois plans de fissures sont alors ceux figurés en pointillé. La position du plan des axes optiques coïncide, pour certains micas, avec l'un des plans de percussion, pour d'autres avec l'un des plans de pression.

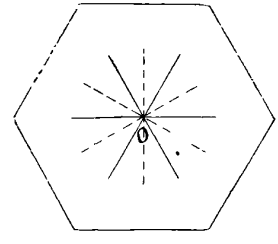


Fig. 243.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Egalement, un choc donné par un instrument pointu en un point i d'un cube de sel (fig. 239) produit deux fissures parallèles à b^1.

E. — Déformations optiques

292. — Les constantes optiques des corps varient lorsque l'on produit des déformations moléculaires tout en se maintenant dans les limites de l'élasticité.

Certains corps amorphes ou isotropes deviennent biréfringents. Ainsi, lorsque, à l'aide d'une épingle, on donne un choc brusque en un point O (fig. 244) d'une lame de clivage b^1 de blende (cubique), on voit, entre nicols croisés (placés suivant OA et OP), deux bandes étroites éclairées aa' et bb' perpendiculaires aux arêtes b^1b^1 et deux triangles i et i' également éclairés ; les parties obscures, qui séparent les bandes et les triangles s'éclairent lorsqu'on fait tourner la lame de sorte que toute la zone entourant le point O est devenue biréfringente. On peut constater que la position des grands axes des ellipses de section produites est celle des droites marquées en gros traits sur la figure.

De même, sous des influences analogues, les constantes optiques de corps cristallisés peuvent varier en grandeur et en direction.

Ainsi, les indices principaux de l'orthose (clinorhombique) sont toujours dirigés suivant les droites 1, 2 et 3 de la figure 245

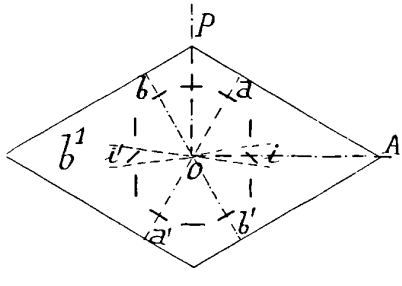


Fig. 244.

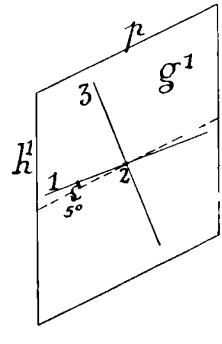


Fig. 245.

et la bissectrice aiguë, négative n_p est toujours dirigée suivant 1 ; en général n_g est perpendiculaire à g^1 et dirigée suivant 2, de sorte que le plan des axes optiques (1.2) est perpendiculaire à g^1. Lorsqu'on élève la température, les axes optiques se rapprochent de 1, le minéral devient uniaxe, puis les axes optiques s'écartent dans g^1 ;

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

un abaissement de température produit des effets inverses, à moins que l'on n'ait élevé la température au-dessus de 500° : les modifications sont alors devenues permanentes.

293. — Lorsque l'on comprime un corps isotrope, tel que du verre, la sphère d'isotropie se transforme en un ellipsoïde de révolution autour de la direction de pression ; les crowns ordinaires deviennent négatifs, certains flints très lourds positifs. Les glaces du commerce présentent spontanément une biréfringence considérable par suite de la trempe ; aussi est-il nécessaire de faire un recuit soigné des verres destinés à la construction des instruments d'optique.

Des phénomènes analogues se produisent par flexion. Une lame de verre (fig. 246), soumise à la force F, montre, entre nicols croisés (la direction des rayons lumineux étant normale à la figure), une ligne neutre *ab* (frange noire) et des lignes d'égal retard.

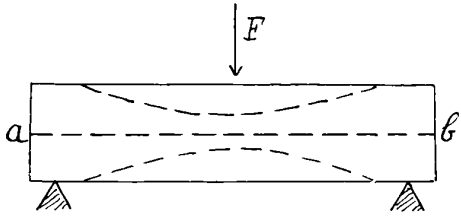


Fig. 246.

Des modèles en verre ou en bakélite de pièces de machines, de fermes, de ponts, etc., peuvent ainsi servir à étudier la répartition des efforts auxquels ces pièces sont soumises (*photo-élasticimétrie*).

Des extinctions onduleuses, résultant des variations d'orientation d'ellipsoïdes d'un point à un autre, sont dues à des pressions ou des tractions diversement orientées.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE IX

ISOMORPHISME. POLYMORPHISME

294. — Nous avons défini antérieurement (**20**) ce que l'on entendait par les *constituants de remplacement.* Nous avons vu que ces constituants pouvaient se remplacer l'un l'autre dans la formule chimique d'un composé et que l'on obtenait ainsi une série de corps ne différant que par les constituants, en ce qui concerne leur composition.

Des composés de ce genre, lorsqu'ils cristallisent avec des formes primitives très voisines (*homéomorphisme*) et lorsqu'ils peuvent concourir à la formation d'un cristal unique de composition intermédiaire (*syncristallisation*) sont dits corps **isomorphes.**

Ainsi, entre la forstérite et la fayalite se trouve une série de composés, orthorhombiques comme eux, de compositions intermédiaires, formant le groupe des *péridots*, et dont le plus commun est l'olivine :

	Forstérite	*Olivine*	*Fayalite*
	Mg^2SiO^4	$(Mg,Fe)SiO^4$	Fe^2SiO^4
a	0,4656	0,4648	0,4584
c	0,5865	0,5857	0,5793
densité	3,25	3,30	4,00

Un autre exemple se trouve dans les carbonates :

Nom	Formule	Syst. cristallin
Calcite	$CaCO^3$	rhomboèdre de 74°55′
Sidérite	$FeCO^3$	» 73°2′
Diallogite	$MnCO^3$	» 73°
Smithsonite	$ZnCO^3$	» 72°20′
Giobertite	$MgCO^3$	» 72°36′

295. — Les corps isomorphes présentent donc, d'une part, des propriétés cristallographiques très voisines et, d'autre part, des

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

constitutions chimiques très analogues et ces corps peuvent alors contribuer à la formation d'un cristal unique, homogène en apparence et présentant une composition chimique intermédiaire entre les deux extrêmes.

Il suit de là que deux substances homéogènes et syncristallisables devraient avoir des molécules chimiques du même type, dans lesquelles, par exemple, FeO est remplacé par MgO, Al^2O^3 par Fe^2O^3, et ce cas se constate en effet très fréquemment, comme dans les exemples donnés plus haut ; on le retrouvera dans de nombreuses espèces minérales, comme les grenats (**299**) et les spinelles.

296. — Mais il arrive cependant que les formules chimiques montrent, non plus des identités, mais simplement des analogies. Les plagioclases forment une série continue du point de vue des propriétés cristallographiques et optiques, dont les membres dérivent en toutes proportions de l'albite ($AlNaSi^3O^8$) et de l'anorthite ($Al^2CaSi^2O^8$), ce qui devrait faire admettre comme chimiquement équivalents les groupes SiNa et AlCa.

De même, les micas montrent des changements continus des propriétés cristallographiques et optiques, avec substitution des groupes MgO et Fe^2O^3 par AlK et AlH.

297. — On a considéré l'isomorphisme comme un phénomène de même ordre que l'accolement mutuel de cristaux d'espèces différentes (**110**) mais résultant surtout du fait que les corps extrêmes donnant lieu à des mélanges isomorphes ont des volumes moléculaires très voisins. L'examen du tableau suivant rend compte de ces faits :

	Composition	Poids moléculaire	Densité	Volume moléculaire
orthose	$AlKSi^3O^8$	279,1	2,57	108,6
albite	$AlNaSi^3O^8$	263	2,624	100,2
anorthite	$Al^2CaSi^2O^8$	278,9	2,758	101,1

Les volumes presque identiques pour l'albite et l'anorthite, permettent la formation de tous les plagioclases intermédiaires, tandis que l'orthose et l'albite, sans se mélanger, s'accolent parallèlement (fig. 126).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

De même, les carbonates rhomboédriques ont les volumes moléculaires suivants :

Sidérite	30
Diallogite	33
Smithsonite	28
Giobertite	28
Calcite	37

Les quatre premiers se mélangent isomorphiquement, tandis que la calcite et la giobertite donnent naissance à une nouvelle espèce, la dolomite, dont la composition s'écarte généralement peu de celle indiquée par la formule $CaMg\ (CO^3)^2$.

On retrouve le même fait dans beaucoup de silicates où Mg et Fe sont de véritables constituants de remplacement, tandis que l'introduction de Ca conduit à une espèce mieux définie.

Ainsi le groupe des péridots (**294**) montre une série continue entre la forstérite et la fayalite mais lorsque la chaux intervient dans les corps, l'isomorphisme proprement dit disparaît et l'on obtient une nouvelle espèce, la monticellite $(Mg,Fe)CaSiO^4$ [1]

298. — Les minéraux sont rarement des composés purs ; ils se sont généralement séparés, lors de leur formation, de matières mélangées parmi lesquelles ils ont dissous l'une ou l'autre substance isomorphe à eux-mêmes ; on trouve ainsi, par des analyses chimiques soignées, qu'ils en renferment de petites quantités, considérées comme des impuretés, mais qui forment aussi, en réalité, avec eux un mélange isomorphe.

Ains la blende (ZnS) renferme généralement un certain pourcentage de fer qui se présente sous la forme FeS, car les analyses montrent que le pourcentage du soufre est exactement suffisant pour être combiné avec le fer d'une part, avec le zinc d'autre part, de façon à donner une composition pouvant être exprimée sous la forme : $m\ ZnS + n\ FeS$.

299. — Il se fait ainsi qu'un minéral de composition très compliquée pourra s'exprimer par une formule telle que $Am + nB + pC$

[1] En assimilant les atomes d'une molécule à des sphères accolées, et en se basant sur la structure des cristaux établie par les rayons X, on a établi que les diamètres de ces sphères étaient, pour Fe : $2{,}80 \times 10^{-8}$ cm., pour Mg, 2,85 et pour Ca, 3,40. On comprend ainsi que Mg et Fe puissent se remplacer dans une structure cristalline mais que Ca ne peut intervenir sans modification de la structure.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

+ ... où A, B, C, ... sont des composés isomorphes, connus, ou non, isolément.

Comme exemple, considérons les *grenats*, dont on connaît six types principaux dont les compositions peuvent être dérivées des formules suivantes :

Grossulaire — (G)	$Al^2\ Ca^3\ Si^3\ O^{12}$
Almandin — (A)	$Al^2\ Fe^3\ Si^3\ O^{12}$
Pyrope — (P)	$Al^2\ Mg^3\ Si^3\ O^{12}$
Spessartine — (S)	$Al^2\ Mn^3\ Si^3\ O^{12}$
Mélanite — (M)	$Fe^2\ Ca^3\ Si^3\ O^{12}$
Ouwarowite — (O)	$Cr^2\ Ca^3\ Si^3\ O^{12}$

Tous les grenats appartiennent au système cubique. Or, l'analyse d'un grenat de Monzoni (Tyrol) a donné la composition représentée en (*a*) dans le tableau ci-dessous, composition qui s'écarte assez bien de celle du grossulaire représentée en (*b*). Mais si l'on désigne par G, M, et P les compositions théoriques du grossulaire, de la mélanite et du pyrope, on calcule que le grenat de Monzoni peut être représenté par la formule :

$$78\tfrac{1}{4}\,G + 16\,M + 5\tfrac{3}{4}\,P$$

dont la composition est donnée en (*c*).

De même les grenats de la région de Bastogne, dont la composition se trouve en (*d*), peuvent être considérés comme un mélange, représenté par $(Al^2,Fe^2)^2\ (CaFeMn)\ Si^3O^{12}$, ou par 17 G + 37 S + 36 A + 10 M et dont la composition est donnée en (*e*).

	a	*b*	*c*	*d*	*e*
SiO^2	39,53	40,01	39,0	38,08	36,8
Al^2O^3	20,15	22,69	18,6	18,30	18,7
Fe^2O^3	4,94	—	5,5	3,13	3,3
FeO	—	—	—	15,02	16,2
MnO	—	—	35,4	15,61	15,9
CaO	33,88	37,30	—	10,00	9,1
MgO	1,72	—	1,5	0,03	—
	100,22	100,00	100,0	100,17	100,0

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

300. — On représente fréquemment sur des *diagrammes* les variations de composition d'un mélange de deux ou plusieurs substances. Dans le cas de deux substances G et P (fig. 247) une ligne droite GP indiquera cette variation, le point G se rapportant à 100% de la substance G et le point P à 100% de P, de sorte que le point N indiquera un pourcentage de G à P égal à $\frac{NP}{NG}$.

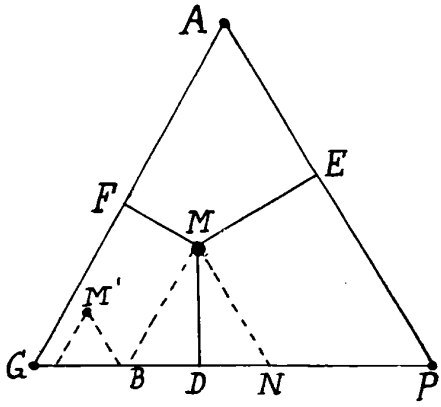


Fig. 247.

Dans le cas de trois substances, on peut employer un triangle équilatéral A G P, chacun des sommets représentant 100% de chacun des corps, A, G, P. Un point M indique un mélange, à l'échelle admise, représenté par les longueurs MD, ME, MF se rapportant respectivement aux corps A, G, P. On démontre aisément que si, par M, on mène les parallèles MB et MN à deux côtés du triangle, les segments BN, NP et GB interceptés sur le troisième côté représentent les rapports des quantités a, g et p de chacun des corps au mélange $a + g + p$.

301. — L'examen de ces diagrammes amène souvent à des conclusions très intéressantes : sur la figure 248, les points noirs indiquent les résultats d'analyses faites sur des grenats constitués par des mélanges d'almandin A, de spessartine S et de pyrope P. On voit de suite que l'isomorphisme existe surtout soit entre A et S, soit entre P et A, mais qu'il est presque nul entre les grenats manganeux et magnésiens.

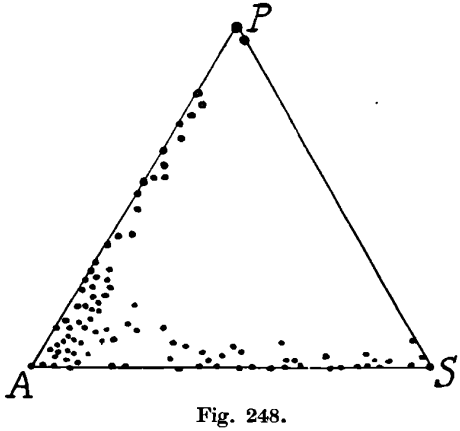


Fig. 248.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

302. — L'homéomorphisme (**294**) se manifeste assez fréquemment dans diverses espèces, sans que les autres conditions de l'isomorphisme se réalisent. On en trouve des exemples dans les sulfates orthorhombiques suivants :

		a	c
Barytine	$BaSO^4$	0,8152	1,3136
Célestine	$SrSO^4$	0,7789	1,2800
Anglésite	$PbSO^4$	0,7852	1,2894

Contrairement à ce qui se passe pour les corps isomorphes, le baryum, le strontium et le plomb ne se remplacent pas pour donner des sulfates intermédiaires.

303. — Un même composé chimique peut se présenter sous deux ou plusieurs formes cristallines totalement distinctes entre elles ; ces espèces sont dites **dimorphes** ou **polymorphes.**

Le $CaCO^3$ est dimorphe : il est rhomboédrique dans la calcite, orthorhombique dans l'aragonite. Le FeS^2, cubique dans la pyrite, orthorhombique dans la marcasite, est également dimorphe.

Le TiO^2 est polymorphe : orthorhombique dans la brookite, il est quadratique avec $\mathbf{c} = 0{,}644$ dans le rutile et quadratique avec $\mathbf{c} = 1{,}771$ dans l'anatase.

Le carbone est cubique dans le diamant et rhomboédrique dans le graphite.

Le polymorphisme peut être rapproché de l'allotropie chimique. Cependant, si la molécule chimique est bien définie dans l'état gazeux, elle ne l'est plus guère dans l'état cristallin. L'étude par les rayons X a montré qu'un atome ne peut guère être considéré comme étant plus lié à l'un qu'à l'autre de ceux qui l'entourent : en effet, on verra aisément que dans la structure de sel gemme, par exemple (fig. 222) un atome de sodium peut être relié indifféremment à l'un quelconque des atomes de chlore voisin et la réciproque est vraie.

304. — Pour de nombreux corps polymorphes, on a pu cependant observer le passage de l'une à l'autre des formes cristallisées. Ces transformations s'effectuent en général brusquement, à une température déterminée, variable avec la pression. Parfois, des phénomènes de viscosité amènent un ralentissement. Il arrive que

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

le phénomène n'est pas réversible. Exemples : le diamant se transforme rapidement en graphite à 1900°, la blende se transforme en wurtzite (hexagonale) à 1000°, mais les transformations inverses n'ont jamais été constatées.

305. — Certains corps présentent ce que l'on appelle des *domaines de stabilité* : ainsi, la silice cristallise sous forme de quartz dit α (rhomboédrique holoaxe) en dessous de 575°, de quartz β (hexagonal holoaxe) entre 575° et 870°, de tridymite clinoédrique entre 870° et 1470°, de cristobalite cubique au-dessus de 1470°.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE X

DÉTERMINATION DES MINÉRAUX

306. — La détermination d'un minéral repose principalement sur l'examen de ses propriétés physiques ; on y joint quelques essais chimiques qualitatifs destinés le plus souvent au contrôle de la détermination.

Les propriétés physiques les plus importantes à examiner ont été exposées dans les pages précédentes. Ce sont la forme cristalline, les clivages, l'orientation et les constantes optiques, la dureté. Mais d'autres sont également utiles à envisager.

Nous donnerons, dans ce chapitre, quelques généralités sur les diverses caractéristiques des minéraux.

Composition chimique

307. — Pour chaque espèce minérale, une formule moléculaire est admise qui représente sa composition. Cependant les analyses que l'on peut faire sur les échantillons de cette espèce ne donnent que rarement la composition centésimale exacte déduite de la formule moléculaire (**14**). Cela provient des difficultés que l'on a d'obtenir des échantillons suffisamment purs : le minéral peut être mélangé à d'autres matières, difficiles à séparer, qui l'accompagnent dans son gisement ; il peut renfermer, sous forme d'*inclusions* microscopiques, d'autres minéraux impossibles à éliminer ; il peut être constitué par un mélange isomorphe (**294**). Il sera donc utile d'indiquer les variations notables et usuelles qui existent entre la composition théorique et les résultats des analyses.

D'ailleurs, dans la pratique, la détermination ne demande pas une analyse complète.

Forme cristalline

308. — Le système cristallin du minéral est une de ses caractéristiques les plus importantes. Excepté dans le système cubique, l'indication du système ne suffit pas, puisque les angles des formes dérivées diffèrent les uns des autres, dans le même système, d'après les dimensions de la forme primitive (**67**) ; on doit donc

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

indiquer en plus, soit les valeurs des paramètres fondamentaux **a**, **b**, **c** et α, β, γ qui permettent de calculer l'angle de deux faces quelconques, soit les angles qui ont été admis pour le calcul de ces paramètres.

Les ouvrages spéciaux de minéralogie [1] donnent, en même temps que les paramètres fondamentaux, les valeurs des angles que font entre elles les faces les plus fréquentes dans les cristaux de l'espèce. Nous nous bornerons à mentionner quelques-uns de ces angles, choisis parmi ceux qui sont remarquables dans les cristaux à cause, soit de la fréquence, soit du développement des faces qu'ils concernent.

309. — La direction des plans de *clivage* et des plans de *séparation* sera indiquée immédiatement après les angles caractéristiques. Ces clivages peuvent être très faciles ou parfaits, difficiles ou imparfaits (**287**). S'il y a plusieurs clivages, les angles qu'ils font entre eux sont importants à connaître, ainsi que la plus ou moins grande facilité avec laquelle on peut les produire. Nous donnons ci-dessous les incidences que font entre elles les normales aux plans de clivage de divers minéraux, ce qui pourra aider à leur détermination lorsqu'on aura même affaire à un débris de cristal présentant assez nettement ces plans de clivage.

45° — rutile (h^1 m).
47°50′ — zircon (b^1 m).
53°46′ — dioptase (b^1 b^1).
55°17′ — cryolite (p a^1).
55°49′ — amphiboles (m m).
56°40′ — zircon (b^1 b^1).
57°34′ — corindon (a^1 p).
60° — blende (b^1 b^1), cinabre (e^2 e^2).
60°14′ — chrysobéryl (e^1 e^1).
66°10′ — gypse (p h^1).
68°18′ — anatase (a^1 p).
69°48′ — wollastonite (p h^1).
70°32′ — diamant (a^1 a^1), cuprite (a^1 a^1), fluorine (a^1 a^1), magnétite (a^1 a^1).
71°12′ à 71°22′ — argents rouges (p p).
72°12′ à 74°55′ — carbonates rhomboédriques.
73°56′ — disthène (h^1 g^1).
75°50′ — célestine (m m) .
76°9′ — calamine (mm).

---

(1) Comme ouvrages classiques, nous citons : Des Cloizeaux, *Manuel de Minéralogie*; Hintze, *Handbuch der Mineralogie*; Dana, *Descriptive Mineralogy*; Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses colonies.*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

76°20′ — monazite ($p\ h^1$).
78°22′ — barytine ($m\ m$).
80°22′ — wulfénite ($a^1\ a^1$).
81°55′ — axinite ($c^1\ g^1$).
82°9′ — anatase ($a^1\ a^1$).
85°50′ à 86°25′ — plagioclases ($p\ g^1$).
86°4′ — corindon ($p\ p$).
87°10′ — pyroxènes ($m\ m$).
89°12′ — andalousite ($m\ m$).
89°52′ — cryolite ($p\ m$).
90° — galène, blende, rutile, halite, orthose, zircon, xénotime, monazite, barytine, célestine, anhydrite, gypse.

310. — Nous avons attiré l'attention (**129**) sur les *facies* que peuvent présenter les cristaux. Les facies les plus fréquents seront indiqués pour chaque espèce. Les cristaux sont rarement complets ; très souvent même on ne peut en voir qu'une partie, le reste étant encastré dans la gangue qui les contient. On doit donc s'habituer à reconnaître les formes géométriques incomplètes, grâce surtout au contour des faces et à leur particularités physiques ; on s'habituera également à apprécier les angles que ces faces font entre elles. Les cristaux complets sont d'ordinaire les plus petits ; dans un groupe de cristaux, les cristaux maclés sont ordinairement plus gros que les cristaux simples.

Les faces de même notation offrent presque toujours les mêmes particularités physiques : elles sont polies, miroitantes, rugueuses, courbes ou striées ; dans ce dernier cas, la direction des stries est importante à connaître : c'est ainsi que les faces e^2 du quartz (voir fig. 150) sont toujours striées horizontalement, ce qui permettra d'orienter un cristal de quartz, même lorsque sa forme aura un développement tout à fait irrégulier comme celui de la figure 151.

Structure

311. — A côté des *macles* et des *groupements* habituels dans les cristaux d'une même espèce minérale et qui sont souvent très caractéristiques, il existe des *associations*, auxquelles il faut ajouter des *agrégations* qui donnent aux subtances minérales diverses structures.

On distinguera les structures :

a) *dendritique* ou *arborescente*, les cristaux divergeant les uns des autres ;

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

b) *globulaire*, les cristaux formant des concrétions plus ou moins sphériques, généralement dues au dépôt de couches successives autour d'un même centre ;

c) *oolitique*, lorsque le minéral est formé de petits grains plus ou moins sphériques constitués eux-mêmes par des couches concentriques ;

d) *stalactitique*, lorsque les dépôts successifs se sont produits autour d'un même axe ;

e) *réniforme*, ou en forme de rognons ;

f) *botryoïde*, ressemblant à une grappe de raisins ;

g) *amygdaloïde*, ou en forme d'amandes ;

h) *laminaire* ou *lamellaire*, les cristaux à facies tabulaires étant parallèles entre eux et devenant *foliacés* ou *micacés* lorsque leur épaisseur est très faible ;

i) *fibreuse*, lorsque les cristaux forment des fibres qui peuvent devenir aciculaires ou capillaires ;

j) *fibroradiée*, lorsque les fibres divergent à partir du centre ;

k) *granulaire* ou *grenue* lorsque les cristaux constituent de petits grains agglomérés ;

l) *massive* ou *compacte*, lorsque les cristaux constituants sont invisibles à l'œil.

312. — Il arrive fréquemment qu'une espèce minérale constitue une masse fibreuse, laminaire, granulaire ou même compacte, ne présentant des formes géométriques que dans les cavités de la masse ou à l'extrémité de fibres. Nous savons que ces masses n'en sont pas moins cristallisées et leur étude cristallographique se fera par l'examen de leurs clivages, de leurs propriétés optiques, etc. La masse pourra présenter les clivages de l'espèce, comme le cas est fréquent dans la galène ; elle pourra être aussi constituée de grains irrégulièrement associés et dont les clivages devront être étudiés sur des parcelles séparées ; il en est de même des propriétés optiques.

Dureté

313. — La dureté d'un minéral est toujours indiquée d'après l'échelle de Mohs (**284**) ; on apprécie d'abord la dureté en cherchant si le minéral est rayé par l'ongle ou par l'acier ; on voit aussi s'il raye le verre ; ces constatations faites, on essaie divers minéraux de l'échelle sur une surface bien plane de l'un des types.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La table IV donne la liste des minéraux classés suivant leurs duretés d'après l'échelle de Mohs ; la dureté peut varier légèrement d'un échantillon à l'autre ; aussi, pour un minéral dont la dureté est donnée comme étant égale, par exemple à 5,25, il faut comprendre que, *en général*, la dureté est un peu supérieure à 5.

Il faut éviter de considérer comme une rayure une séparation de grains constituant la masse minérale. On peut essayer la dureté de parcelles très petites en les encastrant dans une petite cavité creusée dans une règle d'un bois pas trop tendre et de façon qu'une portion de cette parcelle dépasse la surface de la règle ; on peut alors aisément effectuer les essais de rayure sur les minéraux types.

A la dureté se lie la plus ou moins grande *fragilité* du minéral, ainsi que sa *ténacité* ; un minéral très tendre peut être tenace : il en est ainsi du gypse ; de même, le diamant, très dur, est relativement fragile.

Un minéral peut aussi être *sectile* ; il se laisse alors couper au couteau et l'on peut en détacher des copeaux ou des filaments continus. Il est *ductile* lorsqu'il s'étend sous le marteau sans se briser.

Densité

314. — La *densité* ou *poids spécifique* d'un minéral, c'est-à-dire le rapport $\frac{P}{V}$ de son poids P à son volume V, est un caractère des plus importants ; il est lié à la composition chimique, de sorte que les échantillons différents d'un même minéral peuvent présenter des différences de densité ; mais les valeurs trouvées oscillent généralement entre des limites assez rapprochées. La table III donne les densités moyennes.

La densité d'un minéral dépend surtout de la densité des éléments qui entrent dans sa composition, c'est-à-dire de leur poids atomique et moléculaire.

Les minéraux les plus lourds sont les métaux, dont la densité varie de 14 à 24 ; les plus légers sont les composés hydrocarbonés, dont la densité peut descendre en dessous de 1 ; la grande majorité des espèces minérales a une densité de 2 à 4.

Cependant, le rapport entre le poids moléculaire et la densité n'est pas constant ; ainsi les corps polymorphes montrent souvent des différences de densités.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

315. — La densité se détermine, sur des morceaux convenablement choisis, par les méthodes indiquées en physique : méthode du *flacon*, du *pycnomètre*, de la *balance hydrostatique*, de la *balance de Westphall.*

Nous signalons un appareil très simple, que l'on peut construire aisément et qui donne d'excellents résultats, tant avec des fragments volumineux qu'avec de petits cristaux de quelques millimètres de dimensions (fig. 249).

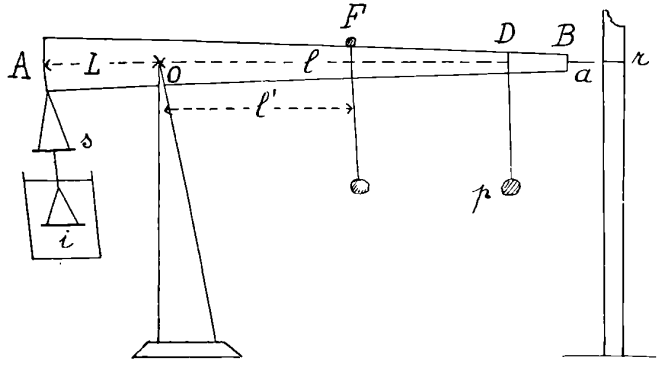


Fig. 249.

Gros fragments. — Une règle graduée AB peut osciller autour d'un point O et porte à l'une de ses extrémités une aiguille *a* que l'on doit amener en face d'un repère fixe *r* ; dans l'appareil que nous employons, les longueurs OA et OB sont respectivement de 15 et 45 centimètres. Au point A est suspendu un double plateau, le plateau inférieur *i* plongeant dans l'eau d'un vase. Le fragment, dont le poids (inconnu) est *P* est placé d'abord sur le plateau supérieur *s* et on amène *a* en face de *r* en équilibrant à l'aide d'une tare quelconque *p* suspendue par un fil en un point D de OB ; on a :

$$PL = pl$$

On place ensuite le fragment sur le plateau inférieur *i*, dans l'eau, ce qui oblige, pour rétablir le même équilibre, à amener la tare *p* à une distance *l'* et l'on a :

$$P'L = pl'$$

P' étant le poids du fragment dans l'eau. Des deux équations on tire :

$$(P - P')\,L = VL = p\,(l - l')$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et, en divisant la première par la dernière :

$$\frac{P}{V} = D = \frac{l}{l - l'}$$

Les seules lectures l et l' permettent donc de calculer la densité.

Petits fragments. — Le fragment, de poids P, est suspendu en un point de OB, par un fil très mince et un peu de cire, dans un vase d'eau ; soit D le point d'équilibre, à distance l. On le retire ensuite, on le sèche, et (laissant le fil et la cire dans l'eau) on le place sur la partie supérieure du fléau qui porte, à cet effet, une rainure longitudinale ; soir F, le point, à distance l' où l'équilibre est rétabli. On a évidemment, si P' est le poids de P dans l'eau :

$$\frac{P}{P'} = \frac{l'}{l}$$

d'où :

$$\frac{P}{P - P'} = D = \frac{l'}{l - l'}$$

Un autre procédé suffisamment approximatif, et très utile au cours de prospections minières, est celui de Pisani, dont l'appareil (fig. 250) se compose d'un réservoir cylindrique a, de la capacité de 5 centimètres cubes environ, soudé à un tube T ayant 4 millimètres de diamètre et 25 centimètres de longueur ; ce tube fait avec le réservoir un angle de 45° ; il est divisé en cinquantièmes de centimètre cube. Le réservoir est fermé à l'émeri par un bouchon terminé par un tube ouvert qui porte, approximativement au niveau O du grand tube, un trait b de repère. Après avoir pesé la matière à essayer, réduite en petits fragments uniformes, à l'aide d'une balance à main, on remplit d'eau le réservoir (sans bouchon) tenu verticalement ; on bouche avec soin et l'on place le grand tube à peu près verticalement, jusqu'à ce que l'eau arrive au trait b : on lit la division sur le grand tube ; replaçant le réservoir verticalement, on débouche, on introduit le minéral dans le réservoir ; on bouche à nouveau et on redresse l'appareil jusqu'à ce que l'eau arrive au trait b. L'eau

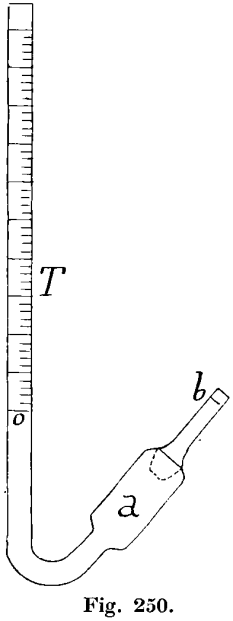


Fig. 250.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

monte alors dans le tube *T* jusqu'à une division qui donne, par différence avec la première lecture, le volume du minéral. En divisant le poids par le volume, on a la densité. Cette détermination est très rapide et suffit sur le terrain pour tous les besoins pratiques du minéralogiste.

316. — LIQUEURS LOURDES. — L'appréciation de la densité d'un fragment minéral peut aussi se faire en le plongeant dans un liquide dont la densité est connue ; on constate s'il surnage ou s'il tombe au fond du tube d'essai, ce qui indique si le minéral est plus léger ou plus lourd que le liquide employé. En faisant varier la densité par l'adjonction d'un autre liquide miscible, on parvient à faire flotter le fragment et la densité du liquide peut être déterminée au moyen de la balance de Westphall ou encore en y projetant des parcelles de minéraux purs, de densités connues, jusqu'à ce que l'un deux flotte également dans la liqueur. Ces minéraux sont appelés indicateurs et peuvent être choisis parmi les suivants :

	Ds.		Ds.
soufre	2,07	aragonite	2,94
analcime	2,16	andalousite	3,14
gypse	2,32	apatite	3,16
leucite	2,47	célestine	3,96
orthose	2,55	blende	4,06
quartz	2,65	rutile	4,22
labradorite	2,70	barytine	4,48
calcite	2,72	stibine	4,57
anorthite	2,76	zircon	4,69

Les liqueurs lourdes les plus employées sont :

	Densités :
N° 1. — Le tétrabromure d'acétylène	2,90
» 2. — Le bromoforme	2,90
» 3. — La liqueur de Thoulet	3,19
» 4. — La liqueur de Klein	3,28
» 5. — L'iodure de méthylène	3,33
» 6. — La liqueur de Retjers	3,63
» 7. — La liqueur de Clérici	4,00

Les numéros 2, 5 et 7 sont les liqueurs les plus usitées. La densité de la dernière (qui est malheureusement assez chère et toxique) augmente avec la température et atteint 5 vers 95°, au bain marie, dans un vase recouvert pour éviter l'évaporation ; on peut l'employer entre ces deux limites en précisant la densité intermédiaire à l'aide d'un indicateur.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

317. — Lorsqu'on doit séparer les minéraux d'un sable, obtenu, par exemple, lors de la prospection d'alluvions de rivières, on pourra utilement employer le bromoforme et l'iodure de méthylène. Le tableau de la page suivante montre que les trois lots résultant de ce traitement pourront très souvent être distingués les uns des autres en ne considérant que les caractères relatifs à la densité et à la dureté : on ne pourra confondre ainsi le béryl et la phénacite, non plus que le wolfram et la tourmaline, l'andalousite et la chrysobéryl, etc. On tiendra compte cependant de ce que la densité de certains minéraux, comme l'olivine, oscille autour de celle de la liqueur employée, dont la densité peut également varier ; dans le laboratoire, la densité de la liqueur pourra, à tout moment, être établie à l'aide de la balance Westphall.

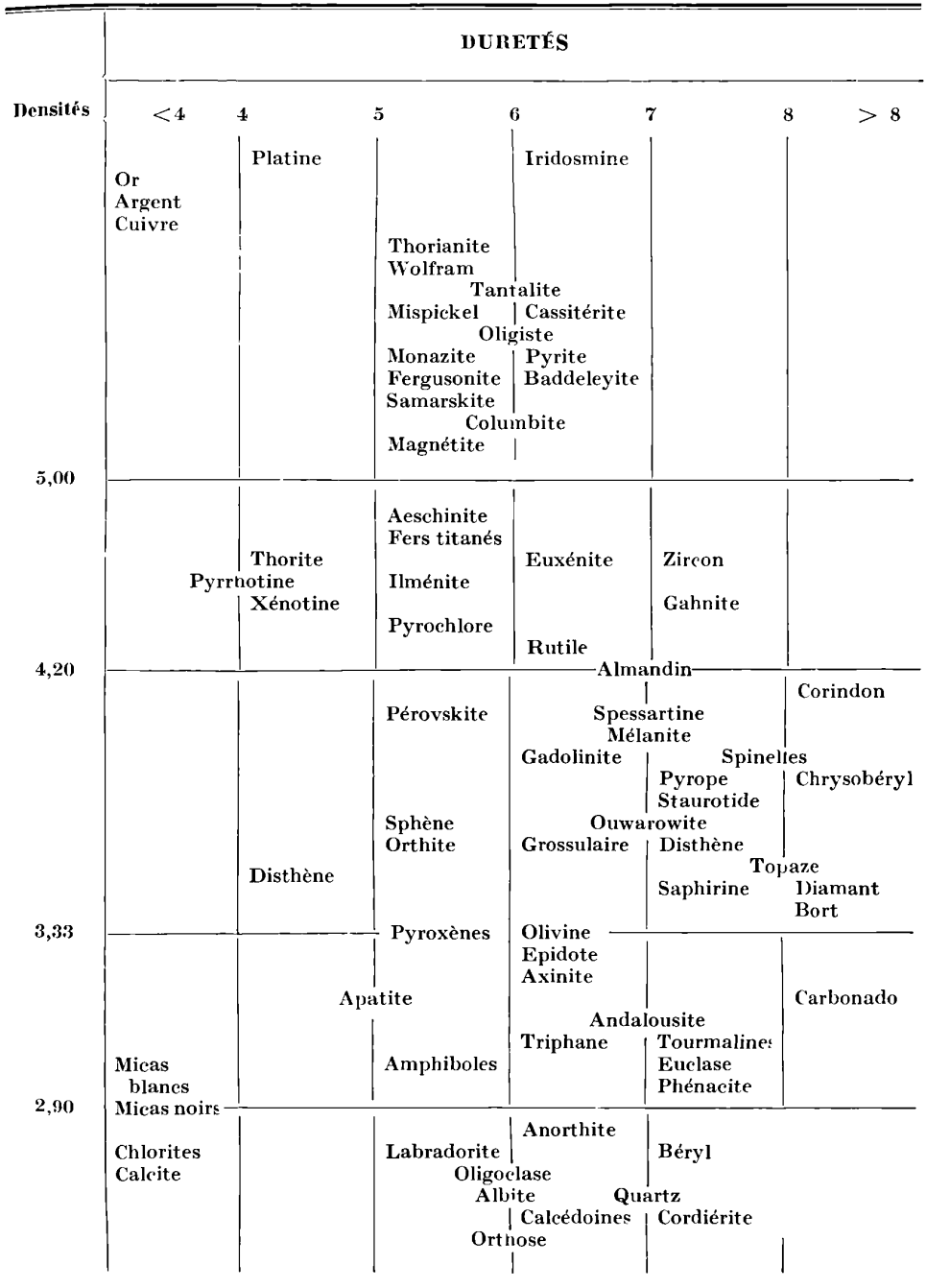
Plusieurs appareils se trouvent dans le commerce et qui permettent plus ou moins aisément la séparation par densité.

On obtiendra des liqueurs de densités intermédiaires, ou moindres que 2,90, en mélangeant l'iodure ou le tétrabromure d'acéthylène avec du xylol, de l'alcool amylique ou de l'éther.

318. — Sollas a indiqué le procédé suivant, qui est assez pratique pour la détermination de la densité de petits fragments isolés : dans un vase cylindrique (fig. 251), on superpose à une liqueur lourde un des mélanges indiqués et on laisse la diffusion se produire pendant plusieurs heures ; on obtient ainsi une colonne liquide présentant des différences de densités aux divers niveaux, et ces différences sont précisées par des indicateurs, ce qui permet de dresser un graphique tel que celui qui est représenté sur la figure. La densité d'une parcelle *m* peut alors se déterminer aisément en fonction de la hauteur à laquelle elle se tient.

319. — Les minéraux d'une densité plus forte que 3,33 pourront être séparés, comme l'a indiqué Bréon, en employant du chlorure de plomb chauffé au bain de sable dans un tube en verre ; ce corps fondu donne un liquide huileux de densité égale à 5 ; la séparation d'un sable en deux portions s'y fait nettement ; après refroidissement, on plonge le tube dans de l'eau, ce qui le brise ; on détache le culot et on le divise en deux parties que l'on traite par l'eau bouillante : le chlorure de plomb se dissout et on peut récolter les

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1



IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

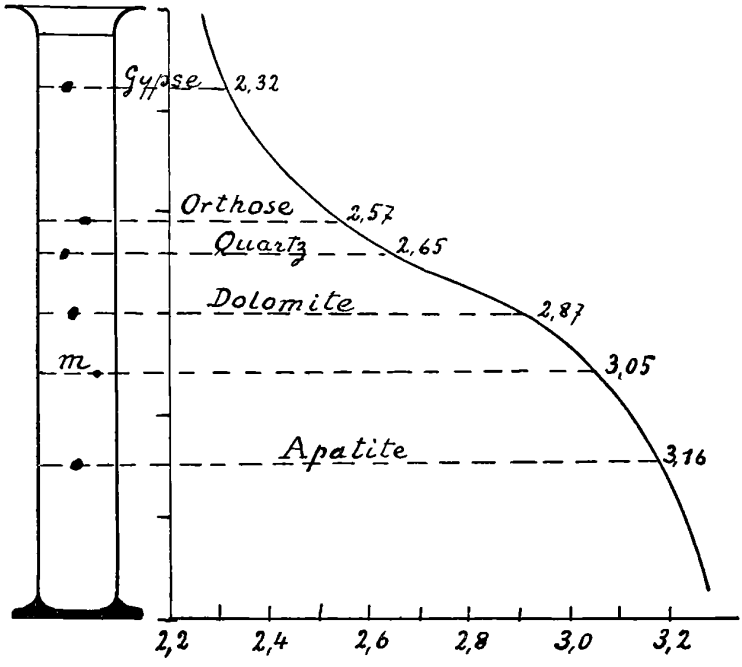


Fig. 251.

minéraux séparés. Par mélange avec du chlorure de zinc on obtient de même façon des liquides dont les densités sont :

avec 1/10e de chlorure de zinc	4,5
avec 2/10e » »	4,1
avec 3/10e » »	3,7
avec 4/10e » »	3,4

Couleur

320. — La couleur réfléchie des minéraux est due à des causes physiques ou à des causes chimiques. De très minimes quantités de matières étrangères suffisent souvent à modifier complètement la couleur spéciale de l'espèce ; d'autre part, la proportion des diverses longueurs d'onde réfléchies par la surface d'un minéral n'est pas la même que la proportion des longueurs d'onde du faisceau lumineux qui l'éclaire et des teintes, variables suivant la direction observée, sont dues à des interférences entre les rayons réfléchis. Une même espèce peut donc montrer une grande variété de couleurs et de teintes. La couleur d'un minéral n'est donc pas un caractère de haute valeur. Plus caractéristique

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

est la couleur de la poussière, celle de la rayure ou celle du trait qu'il laisse sur une plaque de porcelaine.

La nature de la lumière réfléchie donne naissance à des apparences spéciales qui constituent l'**éclat**. On peut distinguer :

a) l'éclat *métallique* (pyrite) ;
b) l'éclat *adamantin*, propre aux substances très réfringentes (diamant, cérusite) ;
c) l'éclat *nacré* ou *perlé*, fréquent sur certaines faces de clivage (talc) ;
d) l'éclat *soyeux* (gypse) ;
e) l'éclat *résineux* (pyromorphite) ;
f) l'éclat *cireux* (calcédoine) ;
g) l'éclat *gras* (zircon) ;
h) l'éclat *vitreux* (quartz).

321. — Un minéral peut être transparent, translucide ou opaque. La transparence varie évidemment avec l'épaisseur et certains minéraux opaques peuvent devenir transparents en lames minces. La table V donne les couleurs habituelles en lames minces des minéraux isotropes et opaques. De plus, la couleur en lame mince peut différer de la couleur en cristaux épais et elle peut varier également suivant les directions observées, donnant ainsi des lames dichroïques ; on a indiqué précédemment (**176**) le moyen d'observer ces teintes au microscope polarisant. Bien entendu, ces teintes peuvent varier suivant l'épaisseur : certains minéraux demandent, pour l'observation, des lames épaisses ; dans d'autres, le phénomène est plus sensible avec des lames très minces. Quoi qu'il en soit, pour de nombreuses espèces, le pléochroïsme est très caractéristique et, lors de la détermination de minéraux, aussi bien en parcelles maniables que dans des lames minces de roches, on ne négligera pas cette indication.

Rappelons aussi que le dichroïsme est parfois très prononcé dans les auréoles des inclusions (**282**).

322. — On appelle *luminescence* la propriété que possèdent certains corps d'émettre des rayons lumineux à une température très inférieure à celle de l'incandescence, lorsqu'on les expose à une vive lumière, lorsqu'on les frotte rudement, lorsqu'on les clive ou lorsqu'on les soumet à des décharges électriques. La luminescence peut ne pas survivre à la cause qui la produit et

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

s'appelle alors *fluorescence* ; la fluorine, par exemple, laisse diffuser la lumière sous une apparence laiteuse ou nébuleuse lorsqu'on l'examine au soleil. La luminescence peut aussi survivre plus ou moins longtemps à la cause qui l'a produite et constitue alors la *phosphorescence* ; il en est ainsi de l'aragonite, après exposition au soleil. Les expériences se font surtout à l'aide de radiations ultra-violettes qui influencent de nombreux minéraux. Les rayons émis ont toujours une longueur d'onde plus grande que ceux qui ont provoqué le phénomène.

Un corps pur n'est jamais phosphorescent. Le phénomène, pour se manifester, exige une certaine quantité d'impureté appelée *luminogène* et la phosphorescence passe par un maximum d'intensité pour une certaine concentration du luminogène. C'est ainsi que, avec le sulfure de zinc, le maximum d'éclat se produit avec une concentration de cuivre voisine de $\frac{1}{5.000}$. La phosphorescence ne persiste cependant que pendant une heure environ après exposition à la lumière, mais l'addition de faibles quantités de radium la rend permanente (1).

Astérisme. — La présence d'inclusions microscopiques symétriquement disséminées dans un cristal peut amener des changements de teinte de la lumière réfléchie suivant ces directions. C'est à la présence de rutile ou de tourmaline que l'on attribue l'effet du *saphir étoilé.*

Propriétés optiques

323. — L'orientation optique des minéraux biaxes sera donnée comme il est indiqué au n° **172** ; cette indication, jointe le plus souvent à une épure, donne la direction du plan des axes (n_g, n_p), la position de la bissectrice aiguë et le signe du minéral. Pour les minéraux uniaxes, l'indication du signe du minéral suffit.

Les valeurs des trois indices principaux $\gamma = n_g$, $\beta = n_m$, $\alpha = n_p$, sont données, sauf indication contraire, pour la lumière jaune ($\lambda = 0{,}589$) ; l'indice, unique, des minéraux isotropes est désigné par N. On sait que les valeurs des indices varient avec la composition chimique ; ces variations ne seront indiquées que si elles sont remarquables.

La valeur B de la biréfringence maximum est donnée en mil-

(1) Cependant, le radium détruisant la structure du sulfure, le phénomène finit par disparaître.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

lièmes telle qu'elle est déduite par différence ($n_g - n_p$) des indices principaux mesurés ; on donnera de même les biréfringences, calculées d'après les valeurs des indices, pour les faces de clivage et les faces d'aplatissement ; ces valeurs sont, en effet utiles à connaître, car on peut souvent les mesurer plus rapidement que la biréfringence maximum B qui nécessite fréquemment la taille d'une lame artificielle ; notons ici que si l'on peut mesurer les biréfringences $n_g - n_m$ et $n_m - n_p$ de deux plans perpendiculaires aux deux bissectrices, on a : $B = (n_g - n_m) + (n_m - n_p)$. Aux valeurs calculées, on joindra souvent les valeurs b des biréfringences des mêmes lames [1], telles qu'elles ont été directement mesurées (**199**).

L'angle réel 2V des axes optiques est donné tel qu'il se calcule par la formule du n° **229** ; de même l'angle 2 E est déduit, par le calcul, de l'angle 2 V et de l'indice moyen n_m ; on a : $\sin E = n_m \sin V$. Le cas échéant, on donne, au lieu de 2 E, l'angle 2 H dans l'huile d'œillette d'indice $n_l = 1{,}468$. Pour les raisons exposées au n° **233**, on joint éventuellement à ces données les valeurs $2v$, $2e$ ou $2h$ résultant de mesures directes.

Les lames de clivage présentent, en lumière convergente, des figures d'interférence qui sont parfois très caractéristiques ; elles seront indiquées pour chaque minéral : ces apparences optiques sont résumées dans la table VIII.

L'examen optique d'un minéral se fait tout d'abord en examinant des lamelles obtenues par clivage, ou même de petits cristaux au travers de faces naturelles ; s'il n'y a pas de clivage ou si les cristaux ne se prêtent pas à un examen, on peut écraser un petit fragment entre deux lames porte-objet, ce qui donne une collection de plages irrégulières et diversement orientées dans le cristal. L'examen de ces lamelles en lumière parallèle et en lumière convergente permettra presque toujours de décider si le minéral est isotrope ou anisotrope, uniaxe ou biaxe ; on essayera de déterminer le signe optique ; on mesurera, s'il est possible, l'angle $2e$, la biréfringence maximum ou celle des clivages et des faces d'aplatissement, l'indice médian, etc., par les méthodes exposées précédemment. Il est rare que, en se rapportant aux tables de la fin du volume, on ne puisse, à l'aide d'une ou plusieurs de ces données, caractériser le minéral.

---

[1] Nous indiquons par $B(p)$, $b(p)$, $B(m)$,... les biréfringences des plans de notation p, m, ...

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

324. — Nous verrons ultérieurement que les minéraux composant une roche s'étudient optiquement en taillant une lame mince dans une esquille de la roche, lame qui recoupe donc les différents minéraux dans des directions tout à fait quelconques et sans que l'on puisse préciser l'orientation d'une plage dans le cristal d'où elle provient. Il en résulte que l'on doit interpréter les apparences optiques dans des lames taillées au hasard dans les cristaux qui n'ont même pas de contour apparent, étant moulés les uns sur les autres. Dans la partie descriptive des espèces, nous donnerons les caractères spéciaux qui permettent cette identification.

Odeur et toucher

325. — Les minéraux argileux et souvent les minéraux feldspathiques, peuvent se reconnaître à l'odeur caractéristique qu'ils dégagent lorsqu'on souffle dessus. Certains calcaires, qui renferment des matières animales ou des sulfures en décomposition, laissent échapper une odeur fétide.

Certains minéraux donnent une sensation spéciale au toucher : beaucoup de silicates magnésiens hydratés sont graisseux ou saponeux. D'autres, très poreux, absorbent facilement l'humidité et *happent à la langue.*

Caractères chimiques

326. — Quelques essais qualitatifs, tendant à prouver l'existence de certains éléments dans un minéral, sont utiles à faire pour aider ou pour confirmer le diagnostic. L'étude de ces essais rentre dans le domaine de la chimie ; nous nous bornerons à rappeler les divers genres d'essais que l'on peut faire.

Essais par voie sèche.

Fusibilité. — Un éclat minuscule du minéral étudié, tenu par une pince à bouts de platine, ou maintenu sur une lamelle de disthène, est exposé à la flamme d'une bougie ou d'une lampe à alcool, et ensuite à la flamme du chalumeau. Certains minéraux fondent plus ou moins facilement, ou seulement sur les bords ; la fusion peut se faire avec gonflement ou bouillonnement ; la masse fondue peut avoir l'aspect d'un verre, d'un émail ou d'une scorie ; elle peut prendre une couleur spéciale ; elle peut être magnétique ou non. L'*échelle de fusibilité* de Kobell se compose

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

des minéraux suivants : 1, stibine ; 2, mésotype ; 3, almandin ; 4, actinote ; 5, adulaire ; 6, orthose ; 7, quartz. Les nos 1 et 2 fondent à flamme d'une bougie ; le no 3 fond facilement au chalumeau ; les nos 4 et 5 ne fondent qu'en écailles très minces ; le no 6 s'arrondit à peine ; le no 7 est infusible.

Essais dans le tube fermé. — Chauffé dans un tube en verre fermé à un bout, le minéral peut décrépiter, donner de l'eau à réaction acide ou alcaline ; il peut aussi se former un sublimé coloré. Parfois, le minéral doit être mélangé, soit avec de la soude seule, soit avec de la soude et du cyanure de potassium, soit avec du bisulfate de potassium, soit aussi avec du charbon.

Essais en tube ouvert. — Certains minéraux placés dans un tube courbé ouvert aux deux bouts donnent des sublimés différents de ceux obtenus en tube fermé ou certains gaz reconnaissables à leur odeur.

Essais sur le charbon. — Le minéral (réduit en poudre, s'il décrépite) est chauffé, mélangé ou non à un réactif approprié, dans une cavité pratiquée dans un bloc de charbon de bois. On remarquera s'il fond, s'il change de couleur, s'il dégage une odeur à la flamme d'oxydation ou à celle de réduction ; il peut aussi donner des enduits colorés : jaune à chaud et blanc à froid pour le zinc, brun pour le cadmium ; il peut aussi donner des grains métalliques avec enduits : grains malléables et enduit jaune pour le plomb, grains cassants et enduit jaune pour l'antimoine, etc. ; l'étain, le cuivre et l'or donnent des grains sans enduits. Les sulfures et les sulfates donnent, avec le carbonate de soude, un *hépar*, masse couleur de foie qui contient Na^2S et qui, placée sur une lame d'argent et humectée d'eau, la noircit rapidement.

Coloration de la flamme. — Chauffé à l'extrémité du cône bleu de la flamme, un minéral peut lui communiquer une couleur caractéristique. Souvent il est nécessaire d'humecter l'essai d'un acide déterminé.

Essais au carbonate de soude. — Chauffés dans une cuiller de platine avec ce réactif et du nitre, certains produits donnent une masse colorée caractéristique : verte pour le manganèse, jaune pour le chrome et le vanadium. Le fer, le nickel et le cobalt donnent une masse attirable à l'aimant.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Essais au borax ou au sel de phosphore. — Chacun de ces composés, fondu en une perle à l'extrémité d'un fil de platine, dissout à chaud presque tous les minéraux en donnant des couleurs caractéristiques, à chaud ou à froid, après action de la flamme oxydante ou de la flamme réductrice.

Essais au nitrate de cobalt. — Quelques minéraux blancs et infusibles, chauffés au chalumeau après avoir été humectés de ce réactif, donnent des colorations caractéristiques : bleue pour l'alumine, verte pour le zinc.

Essais au spectroscope. — Les principes des méthodes spectroscopiques sont exposés dans les traités de physique ; ces méthodes, très délicates, ne sont d'ailleurs pas employées dans la pratique courante de la minéralogie. Il y a lieu de mentionner cependant les *spectres d'absorption* obtenus en faisant passer la lumière, émise par une source qui donnerait un spectre continu, à travers un minéral transparent qui absorbe certaines radiations et montre des bandes d'absorption dues aux éléments qu'il renferme. On construit des oculaires spectroscopiques qui peuvent s'adapter au tube du microscope polarisant et à l'aide desquels il est aisé d'observer les spectres fournis par certains minéraux contenant des éléments tels que le didymium, le cérium, le lanthane, le zirconium.

Essais par voie humide

Ces essais nécessitent la mise en solution de la substance. On essayera donc la *solubilité* du minéral dans certains dissolvants, à froid ou à chaud.

On s'assure d'abord si le minéral réduit en poudre se dissout dans l'eau, ou dans l'acide chlorhydrique étendu, dans le même acide concentré, dans l'acide nitrique, dans l'acide sulfurique, ou enfin dans l'eau régale (1). On vérifiera si la solubilité est complète ou partielle, si elle se fait avec dégagement de gaz ou non ; la solution peut aussi présenter des colorations spéciales.

Si le minéral est inattaquable par les acides, il devient nécessaire de le désagréger au creuset d'argent ou de platine avec le carbonate de sodium ou d'autres agents de décomposition ; la masse est

(1) Mélange de trois parties d'acide chlorhydrique et d'une partie d'acide nitrique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

reprise par l'eau (sulfates) ou l'acide chlorhydrique étendu (silicates : on élimine la silice par filtration après avoir d'abord évaporé à sec).

Les solutions obtenues sont traitées par divers réactifs donnant lieu à des phénomènes de coloration ou de précipitation qui dénotent la présence de certains éléments.

Au commencement de la description de chaque groupe, nous donnerons d'ailleurs quelques indications générales permettant de préciser le meilleur mode à employer pour la mise en solution des minéraux et l'identification des bases principales.

Des réactions caractéristiques sont également mentionnées pour de nombreuses espèces.

Réactions microchimiques

327. — Dans une goutte de solution d'un minéral dans un liquide approprié, on peut produire des cristaux microscopiques de formes caractéristiques et qui indiquent la présence de certains éléments chimiques ; ces cristaux sont obtenus, soit par simple évaporation de la solution, soit par l'addition d'une goutte de réactif qui produit un précipité cristallin.

Par exemple, la chaux est caractérisée, après l'attaque par l'acide sulfurique dilué, par la formation de cristaux de gypse ($CaSO^4 + 2aq$) simples ou maclés (fig. 252), parfois aciculaires,

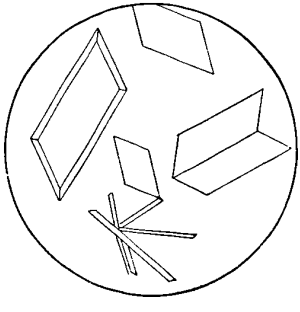


Fig. 252.

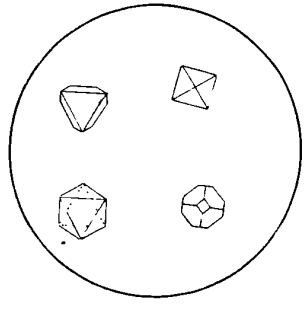


Fig. 253.

à extinction oblique. De même, une solution faiblement acide d'un sel de potassium donne, par addition de chlorure platinique au $\frac{1}{10^e}$, des cristaux octaédriques, jaunes, (fig. 253), isotropes, de chloroplatinate de potassium (K^2PtCl^4).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Altérations

328. — L'action des eaux circulant dans l'écorce terrestre peut amener une transformation des espèces minérales en d'autres espèces. Ce phénomène produit une altération, qui peut être : une *hydratation*, comme dans le cas de l'anhydrite ($CaSO^4$) devenant du gypse ($CaSO^4 + 2aq$) ; une *oxydation*, comme dans le cas de la galène (PbS) devenant de l'anglésite ($PbSO^4$) ; une *réduction*, amenant, par exemple, la formation de grains d'or sur des racines de plantes ou de cuivre sur les bois de mines

Sous l'influence de CO^2, les silicates donnent des carbonates ou des bicarbonates ; la silice devient libre et s'hydrate en passant à l'opale. De même, les silicates alumineux donnent du kaolin et les silicates magnésiens de la serpentine.

L'altération qui se produit dans les zones supérieures des filons est très remarquable et nous en reparlerons ultérieurement.

329. — L'*épigénie* est le résultat de la transformation lente, molécule par molécule, d'un minéral qui conserve sa forme primitive. La malachite, par exemple, qui est clinorhombique, se présente parfois sous forme d'octaèdres qui sont dus à la transformation lente de la cuprite (Cu^2O) suivant l'équation :

$$Cu^2O + H^2O + CO^2 + O = (CuOH)^2CO^3$$

De même le gypse ($CaSO^4 + 2aq$) peut provenir de l'anhydrite ($CaSO^4$) qui conserve cependant sa forme.

330. — Les *pseudomorphoses* sont des formes, empruntées par un minéral, par moulage ou par incrustation d'autres minéraux disparus ; c'est ainsi que le quartz peut prendre la forme de cubes en se moulant dans des cavités laissées par la fluorine.

331. — Les *paramorphoses* ne se présentent que dans les minéraux polymorphes : la composition chimique et la forme extérieure subsistent mais il y a transformation de la structure cristalline. Ainsi, l'aragonite, biaxe, conservant sa forme, passe à l'état de calcite, uniaxe.

332. — Parmi toutes les propriétés d'une espèce minérale, il en est quelques-unes plus caractéristiques que d'autres pour son

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

diagnostic ; ces *caractères distinctifs* seront donnés à la fin de la description de chaque minéral et il sera aussi montré sur quels caractères on peut se baser pour distinguer l'espèce d'autres espèces avec lesquelles elle pourrait être confondue.

333. — Enfin, des tables spéciales, insérées à la fin du volume, aideront à la détermination des minéraux. Lorsqu'on aura précisé un des caractères physiques de l'échantillon étudié, il sera aisé, en se rapportant au tableau correspondant de limiter le nombre d'espèces auxquelles il peut être rapporté ; on pourra alors procéder à l'examen d'un autre caractère, convenablement choisi, et qui suffira en général pour la détermination. D'autres essais serviront de contrôle.

Ces tables sont :

III. — Minéraux classés suivant leurs densités.

IV. — Minéraux classés suivant leurs duretés.

V. — Minéraux isotropes ou opaques, classés suivant leurs duretés, avec indication de leurs systèmes cirstallins et de leurs clivages.

VI. — Minéraux classés dans l'ordre de leurs indices de réfraction.

VII. — Minéraux classés dans l'ordre de leur biréfringences maximums, en cristaux positifs et négatifs, uniaxes et biaxes.

VIII. — Minéraux classés suivant l'apparence optique, en lumière convergente, des lames de clivage.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

DEUXIÈME PARTIE

NOTIONS DE PÉTROGRAPHIE

CHAPITRE I

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES ROCHES

334. — La terre faisait primitivement partie d'une *nébuleuse* à haute température et dont, à la suite d'une accélération de sa vitesse de rotation, se sont successivement détachés des sphéroïdes qui sont devenus les planètes et leurs satellites.

Sphéroïde d'abord entièrement gazeux, ensuite liquide, la terre, par refroidissement continu dans l'espace, a vu sa surface se scorifier en donnant naissance à des roches que l'on peut considérer comme les premières roches ignées qui se sont formées. Mais à la suite de la condensation des eaux à leur surface, ces roches ont été soumises à des actions chimiques ainsi qu'à une destruction physique et mécanique qui a fourni les éléments des premières roches sédimentaires. Cette scorie primitive nous est inconnue, soit qu'elle ait été transformée ultérieurement, soit qu'elle se trouve à des profondeurs que nous n'avons pu atteindre.

335. — Le globe terrestre est formé par une croûte pierreuse (*lithosphère*) entourant un noyau très riche en métaux (*métallosphère*) et entourée d'une couche gazeuse (*atmosphère*) ; la lithosphère est incomplètement recouverte d'une enveloppe liquide (*hydrosphère*) formée par les mers, les lacs, les fleuves.

Le diamètre de la terre est en moyenne de 12.734 kilomètres ; le sondage le plus profond que l'on a fait est celui de Clarksburg (Virginie), qui a atteint 2.501 mètres ; le puits de mine le plus profond est celui du Morro-Velho (Brésil), qui a plus de 2100 mètres. On ne connaît donc — et encore, bien imparfaitement — la croûte terrestre que sur la $\frac{1}{3000^{e}}$ partie de son rayon.

336. — On trouve, sur de grandes étendues, et formant des masses puissantes, des mélanges constants de minéraux ; ainsi,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

en de nombreuses régions du globe, il existe une association des trois minéraux connus sous les noms de quartz, de feldspath et de mica, association dont l'uniformité dans un gisement, aussi bien par la grosseur du grain que par la constance des proportions relatives des trois composants, est tout à fait remarquable.

On donne à ces associations le nom de *roches*.

On étend parfois ce nom à un minéral unique, plus ou moins mélangé à des matières étrangères, qui se trouve en puissants amas ; c'est ainsi que l'on exploite en Belgique des roches formées de carbonate calcique ($CaCO^3$), auxquelles on donne le nom de *calcaires*, réservant celui de calcite aux spécimens purs et cristallisés de la même substance.

337. — L'étude des roches appartient à la *Pétrographie*.

Ainsi qu'on a pu le constater par des sondages et des puits de mine, ce sont des roches qui constituent la partie superficielle du globe, l'*écorce terrestre*, et c'est de la surface ou de l'intérieur de cette écorce que l'homme retire toutes les substances utiles.

338. — La température de la terre croît de la surface vers la profondeur. La distance dont il faut descendre pour que la température augmente de 1 degré centigrade est le *degré géothermique*, variable d'une localité à l'autre, mais qui est, en moyenne, de 33 mètres. Les parties profondes de la terre sont certainement à des températures très élevées : à 66 kilomètres de profondeur déjà, cette température dépasse 2000°, c'est-à-dire que, à cette profondeur, aucune roche ne peut demeurer à l'état solide.

Cependant, par suite de la pression énorme qui se manifeste à l'intérieur de la terre, il est possible que les matières internes soient maintenues dans un état de plasticité équivalent à l'état solide. Quoi qu'il en soit, il est certain que les éléments chimiques qui constituent ces matières internes, appelées *magmas*, ne se trouvent pas unis entre eux dans les mêmes proportions que dans les espèces minéralogiques qui existent à la partie supérieure de la lithosphère ; mais lorsque, à la suite d'un phénomène quelconque, ces magmas internes sont projetés vers la surface, au travers des fissures de l'écorce, ils prennent l'état liquide ou gazeux, et leurs éléments s'unissent chimiquement pour former, après refroidissement, les minéraux constituant les roches.

339. — Nous divisons les roches en quatre catégories :

1) Les *roches ignées* ou *éruptives* résultent de la consolidation

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de magmas qui se sont élevés vers la surface, au travers des fissures de l'écorce et qui, même, ont jailli anciennement ou jaillissent encore çà et là par les orifices volcaniques, à l'état de masses en fusion. Refroidies, on les trouve dans les espaces souterrains qu'elles ont remplis au cours de leur ascension vers la surface, ou en nappes qui se sont étendues à la surface de la terre et qui peuvent d'ailleurs avoir été recouvertes ultérieurement par des roches de la deuxième catégorie ;

2) Les *roches sédimentaires* proviennent des dépôts effectués au fond des mers, des lacs, des fleuves ; lorsque les eaux où se sont effectués ces dépôts se retirent à la suite de phénomènes orogéniques ou autres, ces dépôts viennent au jour et se retrouvent, plus ou moins cimentés, constituant la grande majorité des roches que nous pouvons observer ;

3) Les *roches métamorphiques et cristallophylliennes* proviennent de l'une ou l'autre des deux catégories précédentes, mais résultent d'une transformation de leur état primitif, sous l'influence de la pression, de la température, de la circulation d'eaux ; leur composition minéralogique et leur aspect ont, de ce fait, complètement varié ;

4) Les *météorites* sont des roches issues des espaces planétaires et tombées à la surface de la terre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE II

ROCHES IGNÉES (ÉRUPTIVES)

§ 1. — ORIGINE

340. — Les masses en fusion, ou à l'état plastique, de l'intérieur du globe, ont pu s'élever, et s'élèvent encore aujourd'hui, au travers de l'écorce terrestre en pénétrant dans les cassures qui la sillonnent. Lorsqu'elles arrivent à la surface, elles donnent naissance à des dégagements considérables de matières gazeuses, à des projections de matériaux solides, à des coulées en fusion ; il se produit ainsi une *éruption volcanique* et l'appareil volcanique, le *volcan*, comprend la *cheminée* par où montent les matières éruptives, le *cône* qui est une montagne formée de lits superposés des matières venues au jour et le *cratère* qui est une dépression où aboutit la cheminée ; les matières en fusion s'écoulant des volcans sont des *laves* ; les produits projetés forment des dépôts meubles, qui peuvent se cimenter ultérieurement et que l'on appelle *tufs*.

Toutes les matières fondues n'arrivent pas à la surface ; certaines masses en fusion se solidifient dans des fissures et des crevasses de l'intérieur de l'écorce.

341. — Toutes les roches constituées par les matières venues de l'intérieur du globe forment les *roches ignées* ou *éruptives*.

Les éruptions volcaniques se sont manifestées pendant tout le cours des périodes géologiques et l'on retrouve, dans des dépôts sédimentaires d'âge varié, des coulées de laves anciennes ou des massifs solidifiés, recouverts par des sédiments plus récents. Il est arrivé aussi que l'érosion a enlevé des paquets énormes de roches sédimentaires et que des masses éruptives, consolidées à de très grandes profondeurs, ont été mises à jour.

342. — On peut distinguer trois catégories de roches éruptives.

A. — Les ROCHES PLUTONIQUES se sont consolidées à l'intérieur de l'écorce. On les trouve en *massifs* (*batholites*), masses minérales irrégulières (fig. 254), émettant parfois des *apophyses ab* dans diverses directions. Lorsque ces massifs ont la forme de lentilles

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et que les roches sédimentaires qui les surmontent se conforment plus ou moins à leur profil supérieur, on a des *laccolites* (fig. 255).

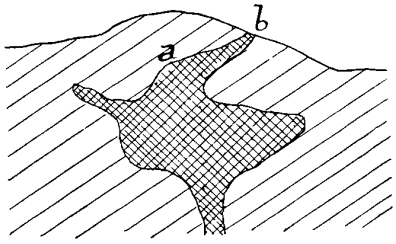


Fig. 254.

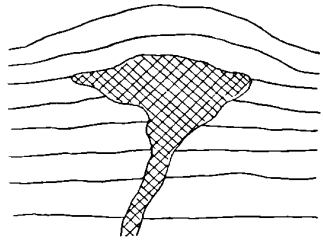


Fig. 255.

Il arrive aussi que les roches éruptives ont rempli des cratères d'explosion ; elles forment alors des *cheminées* (fig. 256), plus ou moins circulaires, qui percent verticalement les roches sédimentaires et atteignent 100 mètres et plus de diamètre. Enfin les roches peuvent constituer des *filons ff'* (fig. 257) en remplissant des fentes lamellaires plus ou moins étendues. Comme ces roches sont plus dures que les terrains traversés, elles résistent souvent plus longtemps à l'érosion sous forme de murs *mm'*, qui portent le nom de *dykes*.

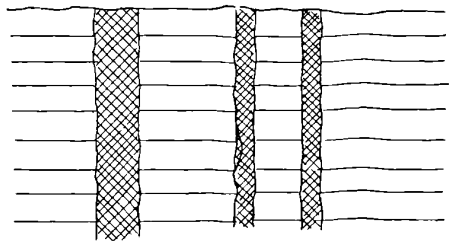


Fig. 256.

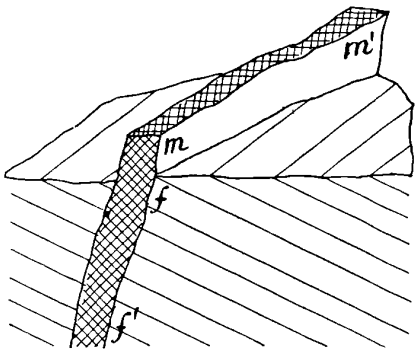


Fig. 257.

B. — Les Roches volcaniques se sont consolidées dans les régions supérieures ou à la surface de l'écorce terrestre. Elles peuvent d'ailleurs avoir été recouvertes ultérieurement par des dépôts sédimentaires. On y reconnaît principalement des *coulées* qui sont des épanchements de magmas en forme de fleuve et qui, lorsqu'elles sont très étendues, deviennent des *nappes*.

C. — Les Tufs sont des roches meubles, souvent stratifiées, formées par des produits de projection.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

§ 2. — MINÉRAUX ESSENTIELS DES ROCHES IGNÉES.

343. — Le nombre des minéraux que l'on peut rencontrer dans les roches et qui entrent dans leur composition est assez considérable, mais il n'en est qu'un très petit nombre qui se trouvent dans les roches d'une manière constante et qui en forment les éléments *essentiels*. — Une description rapide de ces minéraux essentiels est donnée ci-dessous, leur étude complète étant réservée à la minéralogie descriptive. Les autres espèces minérales que l'on rencontre dans les roches sont, ou bien des *minéraux accessoires*, comme les grenats, ou bien des *minéraux accidentels*, comme l'apatite. Pour ces deux dernières catégories, les roches doivent être considérées comme constituant un mode de gisement.

On peut diviser ces minéraux en trois classes, suivant que, *en lames minces*, ils se montrent transparents ou opaques, les premiers se divisant en minéraux légers ou lourds suivant que leur densité est inférieure ou supérieure à 2,76 ; les minéraux légers sont généralement incolores ou blancs, les minéraux lourds sont colorés.

MINÉRAUX LÉGERS	MINÉRAUX LOURDS	MINÉRAUX OPAQUES
Quartz Feldspaths Feldspathoïdes	Olivine Micas Pyroxènes Amphiboles	Magnétite Fers titanés Fers chromés

344. — Le *quartz* est composé de silice SiO^2. La forme de ses cristaux a été décrite antérieurement (fig. 103) ; il ne présente pas de clivage et sa cassure est conchoïdale ; sa dureté est 7 et sa densité 2,65. Souvent incolore et limpide, des matières étrangères peuvent lui communiquer des colorations variées. Son éclat est vitreux. Il est uniaxe et positif ; son relief est faible et sa biréfringence est égale à 9. Le quartz constitue dans les roches des grains plus ou moins arrondis ; on le reconnaît à son éclat, à sa dureté, à l'absence de clivage ; en lame mince : à sa transparence, à ses faibles réfringence et biréfringence, à son uniaxie et à son signe optique positif.

345. — Les *feldspaths* comprennent une espèce clinorhombique, l'*orthose*, de formule $Al^2O^3.K^2O.6\,SiO^2$, et des espèces clinoédri-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

ques, les *plagioclases*, formant une série continue depuis l'albite $Al^2O^3.Na^2O.6\,SiO^2$ jusqu'à l'*anorthite* $Al^2O^3.CaO.2SiO^2$; il existe donc des feldspaths sodico-potassiques passant à des feldspaths calcosodiques et la basicité augmente de l'albite à l'anorthite. Les types principaux des plagioclases sont l'albite, l'oligoclase, l'andésine, le labrador et l'anorthite. Tous les feldspaths présentent les clivages p et g^1, perpendiculaires entre eux dans l'orthose, à peu près orthogonaux dans les plagioclases. Ils offrent différents modes de macles, souvent répétées (fig. 134), très visibles en lames minces. Leur dureté est voisine de 6 et leur densité varie de 2,6 à 2,75. Ils sont biaxes ; leurs indices varient de 1,51 à 1,59 et leur biréfringence est à peu près celle du quartz.

Les feldspaths des roches sont blancs, gris, verdâtres ou rougeâtres, incolores en lames minces ; on les reconnaît à leur éclat vitreux, aux deux clivages dont l'angle est voisin de 90° ; en lame mince à leur transparence, aux traces de clivage, aux macles, à leurs faibles réfringence et biréfringence, à leur biaxie.

L'*argile* est un silicate d'alumine amorphe qui provient de la décomposition des feldspaths potassiques.

346. — Les *feldspathoïdes* sont des minéraux qui, par leur couleur, leur dureté, leur densité, ressemblent aux feldspaths mais ils se distinguent par leur système cristallin et leurs propriétés optiques.

La *leucite*, de formule $Al^2O^3.K^2O.4SiO^2$, est cubique et se présente en trapézoèdres a^2, sans clivage, à cassure conchoïdale vitreuse, blanche ou grise, limpide en lame mince, isotrope.

La *néphéline*, de formule $Al^2O^3.(Na^2, K^2)O.2SiO^2$ se trouve en prismes hexagonaux, à éclat gras, de signe négatif (ce qui la distingue du quartz). de biréfringence très faible et égale à 5.

347. — Les *micas* sont des silicates acides d'alumine et contenant aussi de la potasse, du fer, de la magnésie, etc. Leur dureté est 2,5 et ils se distinguent des autres minéraux des roches par un clivage extrêmement facile qui permet de les diviser en lames très minces et élastiques. Ils sont optiquement négatifs mais l'angle 2E des axes optiques peut varier de 0° à 74°.

Les *micas alcalins blancs*, biaxes, dont le type est la *muscovite*, sont ceux dont l'angle 2E est grand ; ils sont incolores en lames

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

minces. Les *micas magnésiens noirs*, uniaxes, dont le type est la *biotite* et dont l'angle 2E est très petit, sont colorés en lames minces et fortement dichroïques.

Les micas se reconnaissent à leur clivage unique et très facile, à leur très haute biréfringence qui atteint 60 et à leur extinction positive parallèle à la trace du clivage.

348. — Les pyroxènes et les amphiboles forment deux groupes de minéraux de compositions chimiques analogues. Ce sont des silicates de magnésie et de fer, auxquels peuvent s'ajouter la chaux et l'alumine.

Les *pyroxènes* sont orthorhombiques ou clinorhombiques ; ils possèdent deux clivages faisant entre eux un angle de 87° à 88° ; leur dureté varie de 5 à 6,5, leur densité de 3 à 4. Ils sont biaxes. Parmi les pyroxènes orthorhombiques, nous citerons l'*hyperstène* $(Mg, Fe)O.SiO^2$, qui existe en masses laminaires, blanches, grises, brunes ou noires. Les pyroxènes clinorhombiques contiennent, en plus, de la chaux et, dans l'*augite*, de l'alumine. La biréfringence des pyroxènes est élevée, pouvant atteindre 30 ; ils sont colorés en lames minces et assez dichroïques.

Les *amphiboles* possèdent deux clivages faisant entre eux un angle de 124° à 126° ; leur biréfringence est également très élevée et leur dichroïsme est intense. Le plus fréquent est la *hornblende*, correspondant à l'augite des pyroxènes.

Ces deux groupes de minéraux se distinguent du quartz, des feldspaths et des feldspathoïdes par leur couleur, généralement foncée, leur forme prismatique allongée, la coloration de leurs lames minces, leur biréfringence élevée et leur fort relief ; la présence de deux clivages les distingue des micas et, lorsqu'un seul clivage est visible, l'angle d'extinction varie de 0° à 45° dans les pyroxènes, de 0° à 28° dans les amphiboles.

349. — Le *péridot* ou *olivine* a pour formule $MgO.FeO.SiO^2$. Il est orthorhombique, sans clivage, mais avec plans de séparation irréguliers parallèles au plan des axes optiques. Il est plus ou moins coloré en jaune et s'altère très facilement en se transformant en des matières jaunes ou brunes ; sa biréfringence et sa réfringence très élevées ne permettent pas de le confondre avec les autres minéraux blancs et l'absence de clivage, ainsi que les produits d'altération, le distinguent des minéraux colorés.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

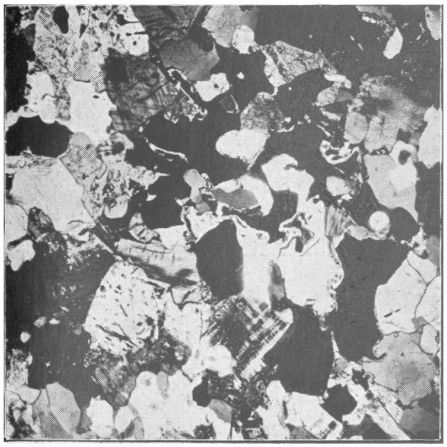


FIG. 1. — *Texture grenue.*
Granite à biotite et microcline
de Madagascar.
Gross : 14*d*

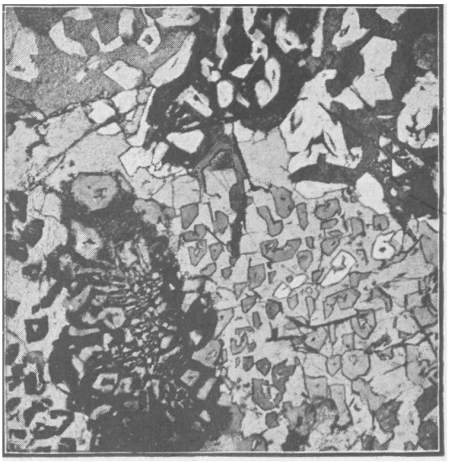


FIG. 2. — *Texture pegmatitique.*
Micropegmatite de Corse.
Gross : 26*d*.

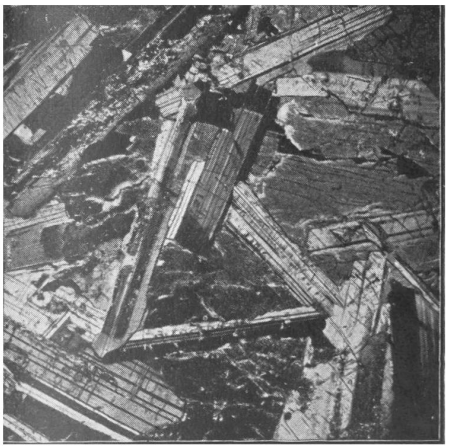


FIG. 3. — *Texture ophitique.*
Gabbro à olivine de Norwège.
Gross : 38*d*.

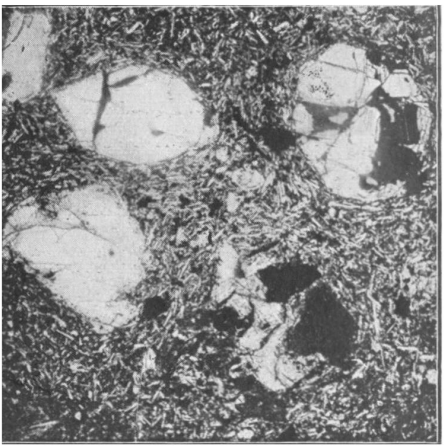


FIG. 4. — *Texture porphyrique et intersertale.*
Basalte labradorique de l'Aveyron.
Gross : 15,5*d*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

350. — Les minéraux opaques en lames minces sont principalement la *magnétite* (Fe^3O^4), les *fers titanés* ($mFe^2O^3.nTiO^2$) et les fers chromés ($Fe^2,Cr^2)O^3.FeO$. Ils sont cubiques et se présentent en grains carrés ou triangulaires.

§ 3. — MÉTHODE D'ÉTUDE DES ROCHES.

351. — Les minéraux qui constituent une roche peuvent être visibles à l'œil nu ou à la loupe ; la roche est dite alors **phanéritique**. Elle est dite **aphanitique**, lorsque, au contraire, elle ne laisse distinguer aucun élément et qu'elle forme une masse compacte, d'aspect et de couleur uniforme. Enfin, une roche peut renfermer de gros cristaux disséminés dans une pâte qui peut, elle-même, être phanéritique ou aphanitique ; elle est dite alors **porphyrique** et les gros cristaux sont des *phénocristaux*, produits en premier lieu et le plus souvent corrodés par le magma liquide qui les entourait.

Lorsque les éléments minéraux constituant la roche sont suffisamment gros, on peut les étudier séparément. A cet effet, la roche est écrasée dans un mortier en agate et le résultat du broyage est tamisé de façon à obtenir des éléments de grosseurs comparables. On retire ensuite, à l'aide d'un aimant, puis d'un électro-aimant, les éléments ferrugineux ; une nouvelle séparation se fait, sur chaque lot, à l'aide de liqueurs lourdes (**317**).

On obtient ainsi une série de produits qui, suivant le soin apporté à la séparation, peuvent être constitués chacun par une même espèce minérale que l'on étudie au goniomètre, au microscope polarisant et aussi chimiquement. En pesant les divers lots obtenus, on peut connaître les proportions dans lesquelles les divers minéraux se trouvent dans la roche.

351*bis*. — Les proportions relatives des minéraux blancs et des minéraux colorés permettent d'établir les classes suivantes :

roches	*hololeucocrates*,	à moins de 10%	de minéraux colorés
»	*leucocrates*,	de 10 à 35%	» »
»	*mésocrates*,	de 35 à 65%	» »
»	*mélanocrates*,	de 65 à 90%	» »
»	*holomélanocrates*,	à plus de 90%	» »

Il est aisé souvent de dire, à première vue, si une roche est leucocrate, mésocrate ou mélanocrate ; cette distinction cor-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

respond assez bien (mais pas toujours exactement) à celle des roches acides, neutres et basiques (**353**).

352. — La *densité* de la roche se détermine par les moyens usuels et cette détermination doit évidemment se faire sur un échantillon qui représente la composition moyenne de l'ensemble. Ce caractère est ici de moindre valeur que pour un minéral. On peut dire que la densité est d'autant plus forte que la roche est plus basique, variant de 2,21 pour une obsidienne à 3,37 pour une péridotite.

353. — L'*analyse chimique complète* doit également être faite sur un échantillon moyen convenablement choisi. D'après la teneur en silice, on distingue souvent les roches *acides*, où elle dépasse 65%, des roches *basiques*, où elle est inférieure à 52% et des *roches neutres*, où elle est intermédiaire entre ces deux quantités.

A titre d'exemple, voici trois analyses de roches appartenant respectivement au type acide, neutre et basique.

	Granite	Phonolite	Gabbro
SiO^2	77,94	54,6	47,34
Al^2O^3	11,52	17,5	11,56
Fe^2O^3	1,28	5,7	3,52
FeO	1,11	1,0	5,84
MgO	0,35	1,4	13,20
CaO	1,08	3,1	9,20
Na^2O	2,32	9,3	2,73
K^2O	4,33	5,6	2,17
TiO^2	0,12	0,8	0,88
P^2O^5	0,10	—	0,59
H^2O	0,18	1,6	2,74
	100,33	100,6	99,77

354. — Le *coefficient d'acidité* α est le rapport en poids de l'oxygène des anhydrides et des bases. On trouve aisément que, si S, T, P, R et r représentent le nombre de molécules (déduites de l'analyse centésimale) de SiO^2, TiO^2, P^2O^5, des oxydes R^2O^3 et des oxydes RO et RO^2, on a

$$\alpha = \frac{2\,(S + T) + 5\,P}{3\,R + r}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Ainsi, pour les trois roches dont les analyses sont données ci-dessus, on a respectivement $\alpha = 5,4 — 2,48$ et 1,55.

355. — Les résultats des analyses chimiques sont parfois mis sous forme de diagrammes ou de graphiques pour lesquels plusieurs systèmes ont été proposés. Ces diagrammes sont souvent étendus aux roches d'une même région de façon à mettre en évidence la variation de leurs compositions et par suite celle des magmas (**338**) qui leur ont donné naissance.

356. — L'étude *microscopique* d'une lame mince taillée dans la roche s'impose toujours, non seulement parce que cette étude renseigne rapidement sur la constitution minéralogique, mais encore parce qu'elle montre la disposition relative des éléments constituants, c'est-à-dire ce que, surtout pour les roches éruptives, nous appellerons leur *texture*.

A cet effet on produit d'abord, dans une esquille de la roche, une face suffisamment plane en l'usant et en la polissant sur de l'émeri de plus en plus fin ; cette face est collée à chaud, à l'aide de baume du Canada, sur une lame de verre porte-objet et la roche est usée semblablement de l'autre côté, de façon à produire une face parallèle à la première. On obtient ainsi une lame que l'on détache, qu'on lave à l'éther et que l'on colle à nouveau sur un porte-objet ; il est désirable que cette lame ait une épaisseur de 4 centièmes de millimètre (de sorte que, entre nicols croisés, les plages de quartz ne doivent pas donner de retard supérieur à $4 \times 9 = 36$) ; dans ces conditions, tous les éléments essentiels, excepté la magnétite et les fers titanés, deviennent transparents.

357. — Il faut noter que les cristaux des différents minéraux qui composent une roche ne sont pas orientés parallèlement et que, par conséquent, la lame mince les recoupe dans des directions quelconques. La détermination, par l'optique, de ces divers minéraux, paraît donc difficile puisque l'on doit interpréter les apparences optiques obtenues dans des plaques taillées tout à fait au hasard dans des cristaux qui, le plus souvent, n'ont pas de contours géométriques, étant moulés les uns sur les autres. Mais ces minéraux ont cependant des propriétés suffisamment distinctes pour être aisément reconnues et, dans la partie descriptive de l'ouvrage, il sera indiqué les caractères spéciaux à chacun d'eux qui permettent, en lames minces, leur identification.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Rappelons seulement ici que la distinction entre les minéraux incolores, colorés et opaques (**343**) est déjà très utile ; que les pyroxènes sont faiblement dichroïques et que les micas noirs et les amphiboles le sont fortement ; que les feldspaths, les micas, les pyroxènes et les amphiboles présentent des clivages caractéristiques ; enfin que, seuls, les micas, les pyroxènes, les amphiboles et l'olivine ont de fortes biréfringences, qui donnent à leurs plages des teintes hautes de polarisation.

Nous donnons en annexe (table **IX**) une méthode de détermination en lames minces des minéraux que l'on rencontre généralement dans les roches. Cette table doit cependant être employée avec prudence, car elle est basée sur les caractères des types normaux des espèces et certaines variations peuvent se présenter (dans la coloration en lame mince, par exemple) qui pourraient conduire à des erreurs. Ici, comme dans toute application de ce genre, la pratique est indispensable.

Dans cette table, nous désignons par faible biréfringence celle qui ne dépasse pas 15 millièmes, de sorte que les plages de ces minéraux ne peuvent donner, avec les épaisseurs usuelles, de teinte supérieure au violet de 1er ordre.

Il sera toujours bon, pour le commençant, de vérifier le résultat obtenu en se basant, si possible, sur les caractères donnés dans l'ouvrage pour l'espèce présumée. Il en doit notamment être ainsi pour les feldspaths dont il sera souvent facile de déterminer la variété.

§ 4. — TEXTURE ET STRUCTURE

358. — Les roches éruptives, provenant de la formation de minéraux divers par suite de la consolidation d'un magma, ont en général leurs éléments cristallisés et moulés les uns sur les autres. D'ailleurs, la cristallisation a varié avec la rapidité de la solidification ; dans les roches qui se sont refroidies lentement, en profondeur, la cristallisation est beaucoup plus complète que dans les roches solidifiées plus brusquement, à la surface ; ces dernières peuvent même contenir des parties non cristallines, d'aspect analogue au verre et dites *vitreuses*.

359. — Les éléments des roches éruptives peuvent présenter des dimensions très variables et il a déjà été indiqué précédemment (**351**) que, suivant ces dimensions, les roches sont phanéritiques, aphanitiques ou porphyriques.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

D'après la proportion des éléments cristallins et vitreux, on distingue aussi les textures suivantes :

1) *holocristalline*, lorsque tous les éléments sont cristallisés ;

2) *hypocristalline*, lorsque les éléments cristallisés sont associés à des parties vitreuses ;

3) *vitreuse*, lorsque la roche, ne présentant pas d'élément cristallin, forme une masse non individualisée, analogue à du verre fondu.

360. — L'étude microscopique d'une lame mince d'une roche éruptive permet aussi de distinguer plusieurs types basés sur le mode d'association des éléments, c'est-à-dire sur leur **texture.**

On peut même reconnaître dans une roche deux ou trois *temps de consolidation* ; il s'est formé d'abord de grands cristaux englobés dans une pâte non encore solidifiée, qui a cristallisé ultérieurement en un ou plusieurs stades et qui a pu laisser aussi un résidu vitreux ; les premiers cristaux sont en général plus gros (phénocristaux) que les cristaux plus récents, mais ils sont aussi plus corrodés et ont perdu par conséquent leur forme extérieure primitive.

On comprend que les temps divers de consolidation se manifestent surtout dans les roches hypocristallines, les roches holocristallines s'étant solidifiées lentement mais uniformément à l'intérieur de l'écorce et les roches vitreuses s'étant solidifiées rapidement à la surface ; les roches porphyriques sont généralement des roches hypocristallines.

Aux trois textures indiquées ci-dessus correspondent plusieurs variétés.

361. — Roches holocristallines. — Dans la texture *grenue* ou *granitique*, les minéraux composant la roche ont reçu un développement équivalent et l'orientation des plages d'un même minerai, sans être identique de l'une à l'autre, varie progressivement (Pl. III, fig. 1).

Dans la texture *ophitique* (Pl. III, fig. 3), certains éléments (les feldspaths, par exemple) se présentent en formes allongées, entrelacées entre elles, les vides étant remplis par de la matière holo ou hypo-cristalline.

Accessoirement, on peut aussi considérer :

la *texture granulitique*, les éléments de la roche étant juxtaposés, en grains isolés dont chacun a sa propre orientation :

la *texture pegmatitique*, un minéral (en général un feldspath) formant un fond dans lequel sont emprisonnées (Pl. III, fig. 2),

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

les particules d'un autre minéral, orientées parallèlement entre elles ;

la texture *poecilitique*, les particules du minéral englobé n'étant pas semblablement orientées.

Lorsque les grains de la roche deviennent très petits et difficilement discernables, la texture est dite *euritique* ou *microgrenue* et les roches prendront, suivant les cas, les noms de microgranites, microgranulites, micropegmatites etc.

362. — Roches hypocristallines. — La texture *porphyrique* comprend (Pl. III, fig. 4) des cristaux bien apparents (phénocristaux) disséminés dans une pâte qui peut être holo-, hypocristalline ou vitreuse.

Lorsque, dans une roche, porphyrique ou non, la pâte renferme de nombreux cristaux très petits, étirés en aiguilles (Pl. IV, fig. 1), la texture est *microlitique*. Ces microlites sont généralement constitués par des feldspaths, des pyroxènes ou de l'olivine.

363. — Roches vitreuses. — Par suite du refroidissement rapide, les éléments minéraux n'ont pu s'individualiser et le magma s'est consolidé en un verre homogène. Des résidus vitreux se manifestent aussi dans les roches ophitiques et porphyriques.

La texture est *felsitique* ou *pétrosiliceuse* lorsque quelques grains apparaissent dans la masse. Elle est *sphérolithique* lorsque des globules grenus, écailleux ou fibreux, se détachent sur le fond ; dans ce cas le globule est souvent fibroradié, les cristaux rayonnant à partir du centre (Pl. IV, fig. 2) de sorte que, dans n'importe quelle position, il se produit, en lumière parallèle, une croix noire due à l'extinction des fibres parallèles aux nicols.

La texture est *perlitique*, lorsque la roche est à divisions écailleuses concentriques (Pl. IV, fig. 3).

Les parties vitreuses contiennent souvent de petites formations correspondant à un stade intermédiaire entre l'état amorphe et l'état cristallin et qui se présentent sous formes de bâtonnets, de globules, de colliers, de cheveux : ce sont des *cristallites*.

* * *

364. — Indépendamment de ces types de texture, on peut en noter quelques autres qui ne sont plus essentiels mais constituent des aspects spéciaux de l'une ou l'autre roche.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Lorsque les microlites sont enchevêtrés, la texture est dite *intersertale* (Pl. III, fig. 4), par opposition à la texture *fluidale*, où il y a eu écoulement de la matière fondue de sorte que, tout autour de certains cristaux, on aperçoit, par la disposition des microlites (Pl. IV, fig. 4) ou par des différences de teintes, un arrangement d'éléments qui accuse le sens des courants.

La texture est *miarolitique* lorsque la roche contient des cavités anguleuses, régulièrement disposées, et sur les parois desquelles les cristaux viennent émettre leurs extrémités sous forme de pointements.

La texture *cataclastique* est causée par des actions mécaniques ; les cristaux de quartz manifestent des extinctions onduleuses (**293**) ; des macles secondaires se produisent dans les feldspaths ; les micas sont broyés et brisés, etc.

365. — Nous réservons le nom de **structure** aux particularités que présentent les roches éruptives dans leur état extérieur : ainsi, une coulée de lave peut prendre une structure *prismatique*, *columnaire*, *stratiforme*, *sphéroïdale*, etc. ; de même, il peut s'y montrer à la surface des bourrelets sinueux qui résultent de la fluidité et qui donnent les *laves cordées*.

La structure est *vacuolaire* lorsque la roche contient des cavités dues à des gaz qui se sont isolés du magma au moment de la consolidation ; ces vacuoles sont de toutes dimensions ; elles peuvent avoir été ultérieurement remplies de minéraux spéciaux et constituer alors des *amygdales*.

366. — Les *brèches volcaniques* sont constituées par des fragments anguleux de roches éruptives réunies par un ciment de matière fondue.

Les *tufs* forment des masses stratifiées.

Les roches éruptives peuvent renfermer, sous forme d'*enclaves*, des fragments de roches étrangères souvent arrachés aux terrains encaissants et qui, mêlés au magma, ont été plus ou moins digérés par lui et ont donné lieu à des formations spéciales.

§ 5. — CLASSIFICATION DES MAGMAS.

367. — Lors du refroidissement d'un magma, on peut distinguer plusieurs phases de consolidation.

Pendant la première phase, la plus grande partie du magma

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

donne les minéraux qui constituent par leur association la roche ignée formée principalement de silicates anhydres complexes.

Il reste un résidu fluide riche en composés à points de fusion moins élevés et en matières volatiles ; ce résidu tend à cristalliser en s'épanchant dans les fissures de la roche précédente ou des roches encaissantes : c'est la phase des pegmatites.

La phase pneumatolytique suit, donnant lieu à l'émanation de gaz et de vapeurs, pouvant produire de grands changements dans les roches qu'ils traversent.

A température plus basse, la phase hydrothermale produit, par circulation d'eaux chaudes chargées de sels divers, des veines quartzeuses minéralisées ; les phénomènes se terminent par la phase solfatarienne, où prédominent les gaz sulfureux.

368. — Tous les magmas, sans exception, sont silicatés. Nous pouvons examiner l'influence que peut avoir, sur la formation des minéraux devant constituer la roche ignée, la prédominance, dans le magma, de silice ou de l'une ou l'autre base.

La proportion de silice influe grandement sur la cristallisation du magma ; les magmas acides (tenant 80 % de silice) cristallisent plus difficilement que les magmas basiques : c'est pourquoi les roches vitreuses rhyolitiques sont communes (obsidiennes), tandis que les verres basaltiques sont rares.

L'alumine se combine avec les alcalis pour former des feldspaths ou des feldspathoïdes, et avec les éléments ferromagnésiens, pour former des micas, des pyroxènes ou des amphiboles. Un excès d'alumine donnera du corindon.

Les alcalis entrent dans la composition des micas et surtout dans celle des feldspaths et des feldspathoïdes ; ces derniers se forment lorsqu'il y a déficit de silice pour la formation des feldspaths, de sorte que le quartz ne peut se rencontrer avec des feldspathoïdes.

La chaux tend surtout à former de l'anorthite mais diminue lorsque la proportion d'alcalis augmente ; elle se trouve aussi dans les pyroxènes.

Lorsque la silice et les alcalis diminuent, la chaux et les oxydes de fer et de magnésie deviennent plus abondants ; les roches acides font place aux roches basiques, avec formation d'olivine et séparation de l'oxyde de fer sous forme de magnétite ou d'ilménite.

Quelques autres éléments se trouvent en proportions relativement faibles : le phosphore dans l'apatite ; le titane dans les fers

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

titanés, le sphène et la pérovskite ; le bore, le fluor, le chlore et le soufre se rencontrent aussi dans quelques minéraux des roches.

369. — La cristallisation des divers minéraux qui constituent une roche ne s'est généralement pas faite dans l'ordre de leur fusibilité. On peut admettre que, d'abord, ont cristallisé divers éléments accessoires (zircon, apatite, etc.), ensuite les silicates ferromagnésiens, puis les silicates alcalins et enfin le quartz. On connaît cependant des exceptions à cette règle : alors que, dans le granite, le quartz moule réellement les autres éléments, dans les dolérites, la cristallisation de l'augite a succédé à celle des plagioclases.

Ces conditions peuvent s'expliquer en considérant le magma liquide comme un mélange de substances en solutions réciproques : le processus de la cristallisation s'effectue suivant les lois de la physicochimie régissant les solutions et il faut, entre autres, considérer le cas où les bains de fusion tendent vers des *mélanges eutectiques*. Nous en donnerons un exemple en considérant une proportion d'éléments qui, par refroidissement, peut aboutir à un mélange de pyroxène (diopside) et d'anorthite.

Un mélange quelconque de ces deux minéraux peut être représenté par un point (fig. 258) de la droite DA : le point Q indique un mélange d'une quantité QA de diopside et QD d'anorthite. Les températures sont représentées en ordonnées, de sorte que le mélange Q à une température t est représenté par le point q. Lorsque la température diminue et arrive au point n, l'anorthite se sépare seule et cristallise ; la composition du mélange, de moins en moins riche en anorthite, varie donc dans les proportions indiquées par la projection QE des différents points de la courbe ne.

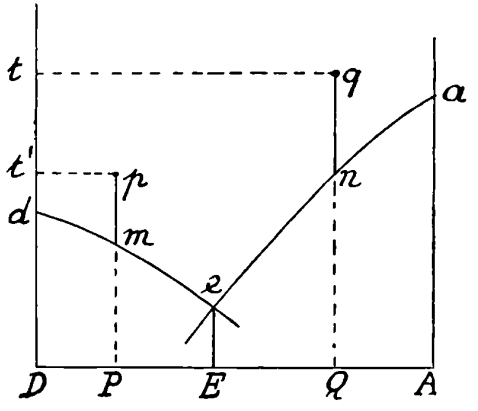


Fig. 258.

Si nous avions considéré un mélange, plus riche en diopside qu'en anorthite, représenté, à température t', par le point p, le refroidissement aurait amené

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

d'abord la cristallisation du pyroxène, enrichissant en anorthite le mélange liquide suivant la courbe *me*.

Les deux courbes *me* et *ne* se coupent en *e* et ce point représente un mélange de diopside EA et d'anorthite DE qui, à partir de la température E*e*, commence à se consolider en un mélange de cristaux des deux espèces minérales.

Cette composition représentée par le point E est le mélange eutectique des deux espèces et tant que la température n'a pas atteint le point critique correspondant au mélange eutectique, l'une des deux espèces seule peut se cristalliser ; on voit aussi que, dans un mélange, la solidification se produit à des températures inférieures aux points de fusion *d* et *a* de chacune des substances.

Dans les cas de trois ou de plusieurs composants, les choses se passent de même et l'on doit tenir compte des divers points eutectiques obtenus en considérant les composants pris deux à deux et la résultante de ces composés binaires donne elle-même un point eutectique inférieur aux divers points binaires obtenus.

370. — Le phénomène est différent si les deux espèces considérées peuvent former un mélange isomorphe, comme dans le cas de l'albite *Ab* et de l'anorthite *An* (fig. 259). Partant d'un point P, le refroidissement s'effectue jusqu'en *m* mais les cristaux qui se séparent alors sont constitués par un mélange d'albite et d'anorthite représenté par le point *m'* ; au fur et à mesure que la température s'abaisse suivant la courbe *mnqb*, on obtient une série de plagioclases dont les compositions peuvent être représentées par la courbe *m'n'q'b*, devenant donc de plus en plus riches en albite. Ainsi peut s'expliquer la formation des plagioclases zonés.

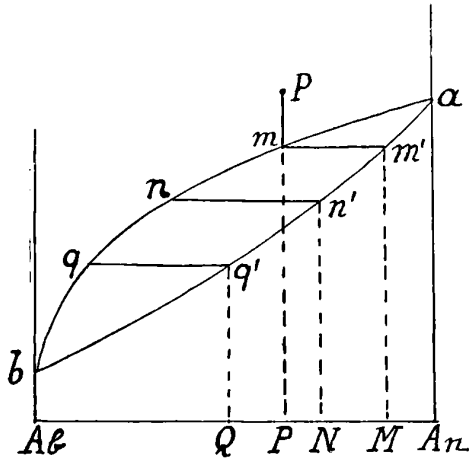


Fig. 259.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

371. — Cependant, la formation de minéraux suivant des règles analogues aux précédentes dépend de nombreuses conditions ; non seulement la température, mais la pression, la présence de gaz ou de vapeurs, les variations que provoquent dans le magma des changements de densités, amènent ce que l'on appelle des *différenciations* de roches qui, en fait, procèdent d'un même magma. Un même magma, par exemple, se refroidissant lentement et sous pression, donnera une roche cristalline et grenue, tandis que, se refroidissant rapidement à la surface, il donnera un verre, c'est-à-dire une roche vitreuse sans minéraux exprimés. Il est certain cependant que ces deux roches, d'aspects complètement différents, appartiendront à la même famille et devront pouvoir être comparées entre elles.

372. — La *classification magmatique* a pour but de faire cette comparaison en recherchant un ensemble de minéraux auxquels le magma *aurait pu* donner naissance. Il est aisé, en effet, si l'on part de la composition centésimale d'une roche, de combiner les bases et les anhydrides de façon à constituer une série de minéraux, qui ne sont peut-être pas exprimés dans la roche que l'on étudie mais qui, sous d'autres conditions de formation, auraient pu se constituer.

Cette composition calculée est ce que l'on appelle la *composition minéralogique virtuelle.*

Seulement, pour que la comparaison entre diverses roches soit utile, il est indispensable que la composition virtuelle soit établie suivant une méthode qui doit être rigoureusement suivie et que nous donnons dans les compléments (n° **569**). On y trouvera la liste complète des minéraux *étalons* que l'on a choisis, avec les compositions chimiques que l'on admet pour chacun d'eux ; nous nous bornerons ici à citer les principaux d'entre eux, en y ajoutant leurs poids moléculaires :

Groupe Salic (*silico-aluminique*)

Q.	Quartz — SiO^2	60
F	Orthose — $K^2O.Al^2O^3.6SiO^2$	556
	Albite — $Na^2O.Al^2O^3.6SiO^2$	524
	Anorthite — $CaO.Al^2O^3.2SiO^2$	278
f	Leucite — $K^2O.Al^2O^3.4SiO^2$	436
	Néphéline — $Na^2O.Al^2O^3.2SiO^2$	284
C	Corindon — Al^2O^3	160

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Groupe Femic (*ferro-magnésien*)

P — Diopside.	Wollastonite — $CaO.SiO^2$		116
	Hyperstène	$MgO.SiO^2$	100
		$FeO.SiO^2$	132
O	Olivine	$2MgO.SiO^2$	140
		$2FeO.SiO^2$	204
M	Magnétite — $Fe^2O^3.FeO$		232
	Ilménite — $FeO.TiO^2$		152
A	Apatite — $3CaO.P^2O^5$		310

La composition virtuelle se recherche en divisant d'abord les diverses teneurs centésimales des bases et anhydrides par leurs poids moléculaires ; on obtient ainsi le nombre relatif de leurs molécules que l'on répartit entre les minéraux étalons, en formant d'abord les plus basiques, que l'on transforme ensuite en passant aux plus acides, au fur et à mesure qu'il reste de la silice disponible, qui, toutes les bases étant saturées, restera à l'état de quartz.

On peut ensuite déterminer la composition virtuelle centésimale en se basant sur le nombre de molécules trouvées pour chacun des minéraux constituants. Les trois exemples donnés au n° **571** indiquent ces compositions virtuelles pour les trois roches dont les analyses ont été indiquées au n° **353.**

373. — Il suit de ce qui précède que la composition virtuelle d'une roche ne peut que rarement correspondre à la composition réelle, puisque, par exemple, on fait abstraction dans les minéraux étalons et des micas et des pyroxènes ou amphiboles alumineux parce que leurs compositions chimiques sont trop variables. Elle n'en constitue pas moins un mode de comparaison dont l'utilité se manifeste surtout pour les roches vitreuses ou semi-vitreuses dans lesquelles des minéraux possibles sont absorbés et cachés dans le verre qui entoure les quelques minéraux exprimés.

374. — Les compositions virtuelles se comparent à l'aide des *paramètres* magmatiques, ce qui donne lieu à un symbole tel que :

$$p\ (q\ r\ s)\ (h\ k\ l\ m)$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

chacun de ces paramètres représentant un rapport déterminé $\frac{A}{B}$ que nous définissons ci-après (**375**). Ce rapport peut prendre toutes les valeurs possibles représentées par chaque point de la droite AB (fig. 260), le point A correspondant à B = 0 et le point B à A = 0. Si l'on divise la droite en quatre parties égales aux points C, D, E et si l'on divise chacune de ces parties en deux, on obtiendra les limites marquées en P, Q, R, S correspondant à des valeurs de $\frac{A}{B}$ égales à $\frac{7}{1}, \frac{5}{3}, \frac{3}{5}, \frac{1}{7}$ et le rapport calculé tombant entre deux de ces limites fixera le paramètre correspondant. On voit que le paramètre 3 correspond à une valeur de A peu éloignée de B ; que, si A augmente relativement à B, le paramètre devient 2 ou 1 ; que, si B augmente, il passe à 4 ou 5 (1).

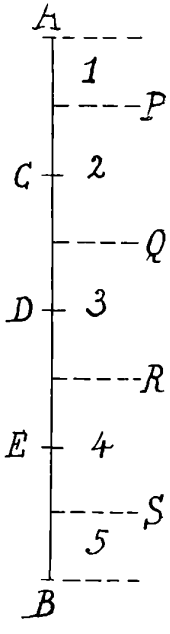


Fig. 260.

375. — Le paramètre *p* qui s'écrit généralement en chiffre romain, indique le rapport centésimal des minéraux *salic* et des minéraux *femic* ; il représente donc le rapport des minéraux légers (blancs) aux minéraux lourds (colorés) et correspond ainsi aux roches leucocrates (I et II), mésocrates (III), mélanocrates (IV et V).

Le paramètre *q* représente le rapport centésimal du quartz Q aux feldspaths F ; mais rappelons ici (**368**) que la silice peut devenir insuffisante pour la formation de quartz et même pour former complètement des feldspaths, ceux-ci étant alors de plus en plus remplacés par des feldspathoïdes, c'est-à-dire que le rapport $\frac{Q}{F}$ sera remplacé par le rapport $\frac{f}{F}$, *f* allant de plus en plus en augmentant ; dans ce cas, les paramètres 4, 3, 2 et 1 (fig. 260) seront remplacés par les paramètres 6, 7, 8 et 9 ; le paramètre 5 indique donc une roche où, avec des feldspaths, existe soit un peu de quartz, soit un peu de feldspathoïde.

Le paramètre *r* indique le rapport des molécules d'alcalis

(1) La figure 343 montre que, dans la pratique, on serre entre elles les limites plus qu'il n'est indiqué dans le schéma ci-dessus.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

entrant dans les feldspaths et les feldspathoïdes à celles de la chaux des feldspaths, ce qui donne une idée de la basicité de ces derniers minéraux (**345**); enfin *s* indique le rapport K^2O: Na^2O, c'est-à-dire les proportions d'orthose (ou de leucite) à l'albite (ou néphéline).

Le paramètre *h* est basé sur le rapport (P + O) : M, des pyroxènes et du péridot aux minerais et à l'apatite ; *k*, le rapport des pyroxènes au péridot ; *l*, le rapport des molécules (MgO + FeO) : CaO des oxydes entrant dans les minéraux colorés ; *m* le rapport des molécules MgO : FeO.

376. — Notons que, pour les roches leucocrates (*p* = I ou II), il suffit de donner les paramètres (*p q r s*) et, pour les roches holomélanocrates (*p* = V), les paramètres (V *h k l m*). Pour les roches intermédiaires (*p* = III ou IV) on donnera l'ensemble des paramètres, en indiquant la prédominance de l'un ou l'autre groupe :

III *q r s* [*h k l m*]

ou

IV *h k l m* [*q r s*]

Une roche représentée par I. 3. 1. 4. signifie donc qu'elle est leucocrate, riche en quartz, alcaline et dépourvue de plagioclases, à albite prédominant.

Une roche représentée par III.6.3.5 (2.2.2.4) signifie qu'elle est mésocrate, sans quartz mais avec néphéline ou leucite, à feldspaths acides et basiques, avec albite prédominant ; ensuite que les minerais sont peu abondants, qu'il y a prédominance des pyroxènes sur l'olivine, abondance des bases ferro-magnésiennes et prédominance de la magnésie sur le fer.

377. — La forme normale et typique d'une famille de roches est une roche à minéraux exprimés. Toute autre roche, aphanitique, vitreuse, constituera un type *hétéromorphe* d'une forme normale, dont elle possédera les mêmes paramètres magmatiques. Ainsi, les *ariégites* des Pyrénées sont holomélanocrates et composées de pyroxènes orthorhombiques et clinorhombiques, de grenat pyrope et de spinelles ; leurs paramètres sont : III.5.4.4, ce qui signifie une roche mésocrate, pauvre en quartz, à feldspaths basiques prédominants, c'est-à-dire un gabbro, dont elles constituent une forme hétéromorphe.

378. — Une *province pétrographique* est une région dont les roches ignées se caractérisent par l'une ou l'autre particularité

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

spécifique qui implique une communauté d'origine magmatique aussi bien qu'une similarité d'évolution.

Ainsi la région du Kivu est caractérisée par des laves sodico-potassiques dont le paramètre $s = 3$. Egalement, les îles de Los renferment des laves alcalines, à l'exclusion de tout type calcomagnésien.

On a observé cependant que, dans un même centre volcanique, les éruptions basiques précèdent les éruptions acides ; on peut donc y trouver des types de familles différentes, comme au Mont Dore où se rencontrent des rhyolites, des trachytes et des basaltes.

§ 6. — CLASSIFICATION MINÉRALOGIQUE.

379. — Une classification minéralogique ne peut se baser que sur les minéraux visibles dans des roches et ne peut donc d'abord s'appliquer qu'aux roches cristallines, grenues, qui sont généralement des roches plutoniques ; les autres roches, microlitiques, vitreuses, volcaniques, ne pourront rentrer dans cette classification qu'après comparaison des compositions centésimales qui établiront leurs paramètres magmatiques (**374**). La classification, minérale pour les roches cristallines, redevient donc chimique pour les roches semi-vitreuses ou vitreuses qui, en fait, doivent être considérées comme des roches hétéromorphes des premières (**377**).

380. — Les bases de la classification minéralogique reposent sur la présence ou l'absence de quartz, sur la présence et la nature des feldspaths et des feldspathoïdes. On peut d'abord établir trois grands groupes principaux :

A. — Roches sursaturées ; la quantité de silice, non seulement suffisante pour former des feldspaths avec l'alumine et les alcalis, y laisse subsister un excès qui permet la formation de quartz ; il en résulte que, dans la classification magmatique, le paramètre q est égal à 4, 3, 2 ou 1 ;

B. — Roches saturées ; la quantité de silice y est suffisante pour donner des feldspaths, mais sans qu'il en existe ni excès, ni déficit ; si cette condition est exactement remplie, le rapport Q : F correspondra exactement au point B de la figure 260 ; on conçoit qu'il est exceptionnel qu'il en soit ainsi, de sorte

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

que l'on fait rentrer dans ce groupe des roches légèrement quartziques, le rapport Q : F étant inférieur à 1 : 7, ou légèrement feldspathoïdiques, le rapport f : F étant inférieur à 1 : 7 ; leur paramètre q est 5.

C. — Roches subsaturées ; la quantité de silice ne permet pas de former entièrement des feldspaths ; une partie de ceux-ci est remplacée par des feldspathoïdes ; on peut subdiviser ce groupe en deux parties suivant que les feldspaths restent plus ou moins abondants, le paramètre q étant égal à 6 ou 7 dans la première, à 8 ou 9 dans la seconde.

381. — On peut aussi désigner ces groupes comme suit :

I. — Roches sursaturées = roches *quartziques* ;

II. — Roches saturées = roches *quartzifères* (avec peu de quartz) ou *feldspathoïdifères* (avec peu de feldspathoïdes) ;

III. — Roches *feldspathifères* (avec plus de feldspaths que de feldspathoïdes) ;

IV. — Roches *feldspathoïdiques* (avec plus de feldspathoïdes que de feldspaths).

Dans chacun de ces groupes, on devra ensuite faire des distinctions suivant que les minéraux alcalins prédomineront ou non sur les minéraux calciques.

382. — On est ainsi amené à dresser le diagramme de la figure 261, qui doit être considéré comme une représentation qualitative et non quantitative mais qui permet de placer à leurs niveaux respectifs les principales familles des roches grenues.

Ce diagramme est un prisme triangulaire droit dont les trois arêtes sont sensées représenter (sans échelles) des teneurs en K^2O, Na^2O et CaO. Quatre sections y sont considérées.

Dans la section I, la quantité de silice est supposée supérieure aux quantités nécessaires à la formation d'orthose, d'albite et d'anorthite. C'est donc le niveau des roches sursaturées et l'on y distingue :

1. — les *granites*, à feldspaths alcalins prédominants ;
2. — les *granites monzonitiques* à feldspaths alcalins et basiques ;
3. — les *diorites quartzifères*, à plagioclases prédominants.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

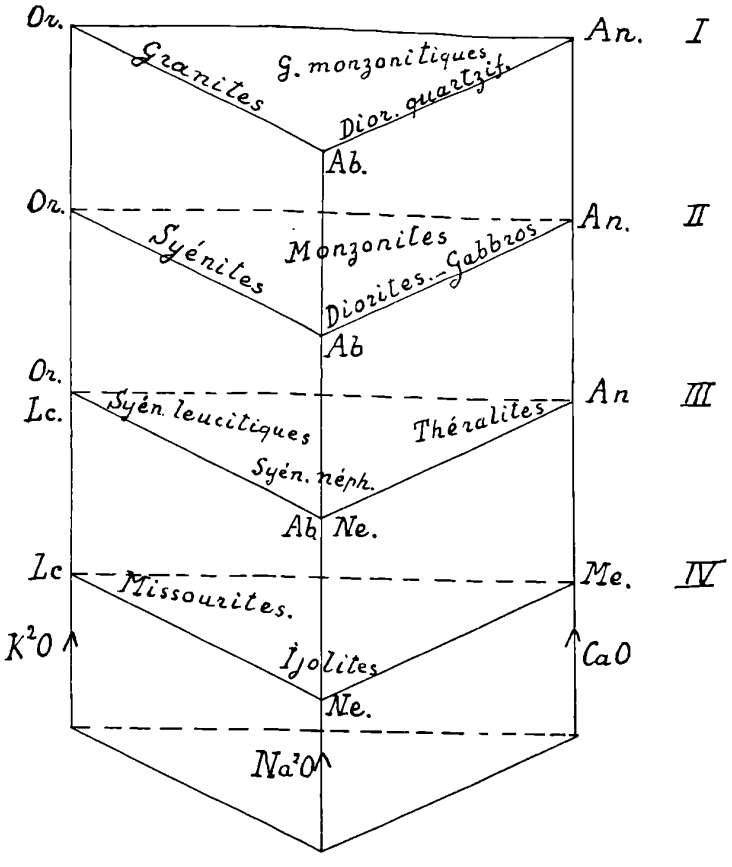


Fig. 261.

Dans la section II, la quantité de silice est supposée suffisante, sans excès ni déficit notable, à la formation de feldspaths ; on y distingue :

1. — les *syénites*, à feldspaths alcalins prédominants ;
2. — les *monzonites*, à feldspaths alcalins et calciques ;
3. — les *diorites*, à plagioclases acides prédominants ;
4. — les *gabbros*, à plagioclases basiques prédominants.

Dans la section III, la quantité de silice est insuffisante pour former tous feldspaths ; à ces derniers minéraux, s'ajoutent la leucite et la néphéline ; on y distingue :

1. — les *syénites leucitiques* ;
2. — les *syénites néphéliniques* ;
3. — les *théralites*, à prédominance de minéraux calciques.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dans la section IV, les feldspaths (1) sont presque inexistants et l'on trouve :

1. — les *missourites*, avec leucite ;

2. — les *ijolites*, avec néphéline.

383. — La figure 262 donne un diagramme analogue pour les roches volcaniques, à texture microlitique ou vitreuse ; on y trouvera, aux niveaux correspondants, les noms des familles de roches équivalentes (hétéromorphes), sans qu'il soit nécessaire de les énumérer ici.

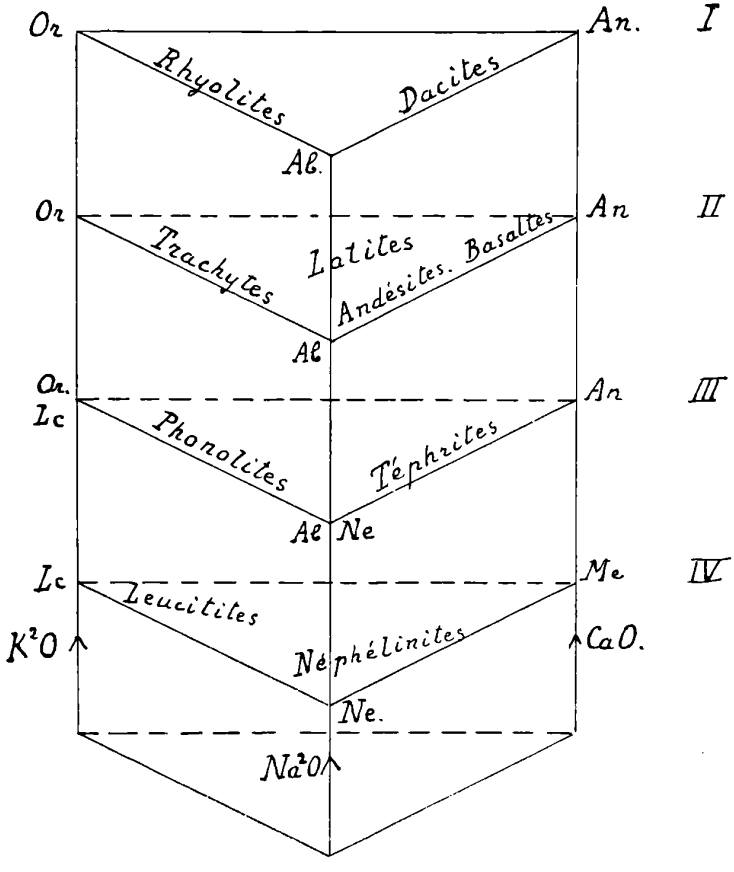


Fig. 262.

(1) Nous y avons remplacé l'anorthite (An) par la mélilite (Me), qui est un minéral assez rare dans les roches, mais fréquent dans les scories métallurgiques.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

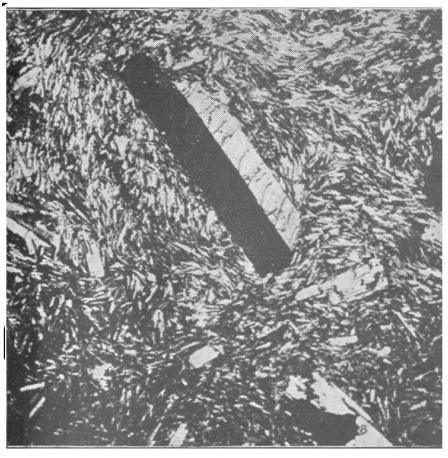


FIG. 1. — *Texture microlithique.*
Trachyte des champs Phlégréens.
Gross : 15,5*d*.

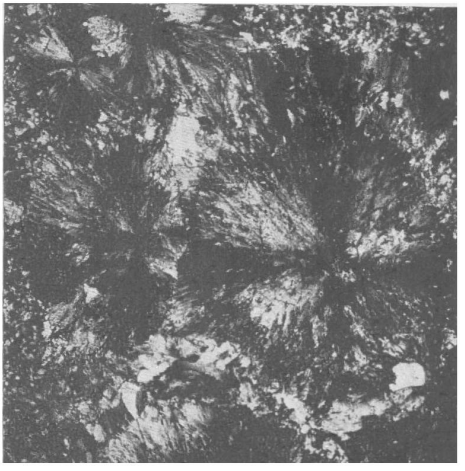


FIG. 2. — *Texture sphérolithique.*
Rhyolite de Corse.
Gross : 19*d*.

FIG. 3. — *Texture perlitique.*
Perlite de Santorin.
Gross : 38*d*.

FIG. 4. — *Texture fluidale.*
Rhyolite de Corse.
Gross : 19*d*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

384. — On remarquera que la classification ainsi établie ne tient compte que des minéraux blancs et que les roches ainsi désignées seraient exclusivement des roches leucocrates ; en fait, des minéraux colorés s'ajoutent aux minéraux blancs ; ceci est dû à une diminution des alcalis et de la silice, qui font place à CaO, MgO, FeO ; les roches leucocrates peuvent donc faire place aux roches mésocrates et mélanocrates, qui constitueront des *facies* des roches correspondantes. C'est ainsi que les diorites et les gabbros passeront à des pyroxénolites et hornblendites (calcomagnésiennes) ou à des péridotites (magnésiennes).

385. — Certaines textures amèneront à considérer d'autres types : la texture ophitique (**361**) fera passer la diorite à la dolérite. Enfin, le mode de formation pourra amener à mettre à part certaines roches, comme les *roches filoniennes*, se rattachant à des roches de profondeur mais se présentant (**342**) en filons, en apophyses, en bordures des massifs principaux.

§ 7. — DESCRIPTION DES ROCHES IGNÉES.

386. — La nomenclature des roches ignées est extrêmement étendue et prête d'autant plus à confusion que les mêmes noms ont plus d'une fois été donnés, dans divers pays, à des roches nettement différentes. Dans ce qui précède, nous nous sommes bornés à n'indiquer que les grandes familles ; dans ce qui suit, en plus de quelques détails sur les compositions minéralogiques et l'aspect des types principaux, nous mentionnerons quelques-unes de leurs variétés.

A. — Roches Plutoniques

387. Granites. — Ces roches essentiellement composées de feldspaths et de quartz peuvent aussi montrer des micas, des amphiboles ou des pyroxènes.

Le feldspath dominant est l'orthose, le plus souvent blanc, gris ou rose ; il est accompagné d'un plagioclase qui est en général l'oligoclase. Le mica est de la biotite. Le quartz moule les autres éléments. La muscovite accompagne la biotite dans les variétés très quartziques ; la hornblende se trouve dans les variétés calciques.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On distingue souvent les granites alcalins des granites magnésiens ou calcomagnésiens.

Le *granite* est le type des roches holocristallines à texture grenue, mais ses éléments peuvent présenter des dimensions très variables ; certains granites ont des grains microscopiques ; d'autres ont des grains de plusieurs centimètres, parfois même de quelques mètres.

Les granites constituent des massifs, fréquemment avec apophyses.

Les granites se décomposent aisément, surtout les granites à gros grains et ils se résolvent en sables caractéristiques dits *arènes*. La décomposition du granite laisse parfois des blocs accumulés de plusieurs mètres cubes, dont l'écroulement forme les *mers de rochers*.

L'*eurite* est un granite à éléments microscopiques, pauvre en mica et d'apparence homogène.

Le *granite orbiculaire* est caractérisé par des amas arrondis d'éléments disposés régulièrement dans la masse ; ces éléments sont tous foncés (mica, hornblende) ou les uns foncés, les autres clairs.

En Belgique, le granite affleure à la frontière allemande, près de Montjoie. L'eurite se trouve, en filons, à Spa, à Grand Manil et à Nivelles. Les porphyroïdes de Mairus, sur la Meuse sont des eurites quartzifères. Un porphyre quartzifère se trouve aussi à Bierghes. Les granites constituent de puissants massifs au Congo.

388. Syénites. — Ce sont des granites sans quartz ; elles contiennent souvent des minéraux colorés, spécialement de l'amphibole. Dans la *syénite* normale, le feldspath est calcosodique et alcalin, mais il peut aussi être uniquement alcalin ; l'orthose est généralement accompagnée de microcline ; les syénites peuvent être néphéliniques ou leucitiques et passent ainsi aux *missourites* (à pyroxènes, leucite, olivine) et aux *ijolites* (à pyroxènes et néphéline). La texture est granitique, rarement ophitique. Les syénites se trouvent le plus souvent en filons, mais elles forment parfois aussi des amas.

La *laurwickite* est une syénite alcaline foncée, à augite, avec gros cristaux de feldspaths bleuâtres à reflets chatoyants.

L'*élaéolite* est une syénite à néphéline, où ce minéral se présente en masses à éclat gras ; il est parfois remplacé par la leucite ou la sodalite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Certaines roches porphyriques sans quartz doivent être considérées comme des *porphyres syénitiques* ou *orthophyres*.

389. Les MONZONITES sont des syénites calcoalcalines contenant des quantités à peu près égales de feldspaths potassiques et de plagioclases et forment ainsi la transition entre les syénites normales, d'une part, les diorites et gabbros, d'autre part.

Les AKÉRITES sont des monzonites sodiques (à microcline et oligoclase).

390. DIORITES. — La *diorite*, holocristalline et à texture grenue, est formée de feldspaths calcosodiques (oligoclases), d'amphibole avec ou sans pyroxènes, parfois avec biotite, avec ou sans quartz, magnétite, ilménite. Elle se trouve en filons plus ou moins épais, se prolongeant souvent sur de grandes étendues. C'est généralement une roche aphanitique, parfois porphyrique, fréquemment de couleur verte. Quand il y a de l'orthose ou du quartz, ces minéraux se bornent à remplir les vides laissés par les plagioclases, qui appartiennent surtout à l'oligoclase et à l'andésine.

La *diorite orbiculaire* de Corse comprend des feldspaths formant des globules fibroradiés entourés d'amphibole.

En Belgique, des roches dioritiques se trouvent à Lembecq, à Quenast et à Lessines. Elles sont très fréquentes au Congo.

391. GABBROS. — Le *gabbro* est une roche holocristalline, à texture grenue, rarement ophitique, composée de plagioclase calcosodique surtout labradorique et de pyroxène clinorhombique, souvent avec amphiboles, parfois avec biotite. Le feldspath est voisin du labrador et de l'anorthite ; le pyroxène est le plus souvent du diallage mais aussi de l'augite. Il y a des *gabbros à hornblende* et aussi à *olivine*. Ces roches sont parfois quartzifères ; la magnétite et l'ilménite y abondent souvent.

Le gabbro peut être considéré comme une forme mésocrate ou mélanocrate de la diorite.

La *norite* est un gabbro à hyperstène.

La *troctolite* est formée de plagioclase, d'olivine ou serpentine et de magnétite qui souvent entoure l'olivine en formant des points noirs tranchant sur la pâte (*roche truitée*).

L'*euphotide* est un beau type de gabbro à grands éléments avec diallage.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Ces roches, souvent aphanitiques, sont en général compactes et vertes. On les trouve fréquemment au Congo.

L'*eucrite* est un gabbro essentiellement formé d'anorthite et d'augite.

Les gabbros alcalins, contenant, en plus d'anorthite ou d'andésine, des pyroxènes, des amphiboles ou de l'olivine et souvent de la néphéline ou de l'analcime, constituent les *essexites* qui passent aux *théralites* quand augmente la proportion des feldspathoïdes.

392. Dolérites. — Ce sont des roches holocristallines, à texture ophitique, constituées par des feldspaths calcosodiques et des pyroxènes. Aphanitiques, vertes, elles laissent parfois voir à la loupe de fines aiguilles de feldspaths. Elles peuvent renfermer du quartz, de la hornblende, de l'olivine.

C'est à ces roches que l'on donnait autrefois le nom de *diabases* ; les diabases à texture grenue doivent être rangées dans les gabbros.

Les dolérites sont très répandues, en amas, en filons, en coulées ; par leur texture elles forment la transition aux roches volcaniques. En Belgique, on rencontre cette roche à Challes, à Hozémont, à Grand'Pré. Au Congo, on la trouve en massifs très étendus.

393. — Dans les types mélanocrates des roches précédentes, nous citerons d'abord les *péridotites* qui, comme leur nom l'indique renferment essentiellement du péridot, soit seul, soit uni à la hornblende, aux pyroxènes, au mica noir, à la magnétite. Leur couleur est foncée ; la présence du mica noir leur donne des reflets spéciaux auxquels vient parfois s'ajouter la couleur rouge de grenats. Ces roches sont lourdes et on présume qu'elles constituent de grandes masses dans les profondeurs du globe.

La *lherzolite* est une péridotite à bronzite, diopside et spinelles.

La *kimberlite* est une péridotite à biotite qui constitue l'un des éléments des brèches remplissant des cheminées de l'Afrique du Sud et du Katanga.

La *dunite* comprend de l'olivine et de la chromite. Les *pyroxénolites* et *hornblendites* contiennent surtout des pyroxènes ou de la hornblende ; l'*ariégite* est une hornblendite à grenat et spinelle.

La *picrite*, noire ou verdâtre, est constituée, avec ou non du plagioclase, par de l'olivine en cristaux moulés sur de l'augite à texture ophitique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

B. — Roches Volcaniques

394. Rhyolites. — C'est l'équivalent microlitique du granite. Les grands cristaux sont formés par des feldspaths, avec ou sans quartz, et par des éléments ferromagnésiens qui se détachent, visibles à l'œil nu, sur la pâte compacte et de couleur claire ; cette pâte peut être felsitique, fluidale, etc.

La *rétinite* ou *pechstein* est une roche brune ou verte à éclat résineux, contenant de 4 à 9 % d'eau et dans laquelle on ne peut guère distinguer à l'œil nu que les cristaux de sanidine (variété d'orthose).

L'*obsidienne* est un verre naturel, noir, anhydre.

Les *perlites* sont des rhyolites à structure perlitique.

Les *ponces* sont des verres spongieux.

395. Trachytes. — C'est l'équivalent microlitique des syénites. Les phénocristaux sont constitués par du feldspath orthose qui porte le nom de sanidine, également par de la biotite, de la hornblende ou de l'augite. La pâte est constituée surtout par des microlites d'orthose, accessoirement par du mica, de l'amphibole ou de l'augite, et un résidu vitreux. La texture est souvent fluidale.

Les trachytes forment des filons ou des coulées, rarement des massifs.

396. Andésites et labradorites. — Ce sont les équivalents microlitiques *leucocrates* des diorites et des gabbros. Ces roches sont aphanitiques, ne laissant que rarement distinguer de minces aiguilles de feldspaths. Les phénocristaux n'existent pas toujours : ce sont des plagioclases calcosodiques, des pyroxènes clinorhombiques, de l'hyperstène ou de la biotite ; la pâte est formée de microlites de plagioclases calcosodiques, parfois de mica noir, d'amphibole, d'augite.

Ces roches se présentent en coulées et en filons. Les volcans andésitiques sont caractérisés par la violence de leurs explosions (Krakatoa, Martinique).

Les *dacites* sont des andésites quartzifères et les *latites* des andésites à orthose.

397. Basaltes. — Ces roches peuvent être considéres comme l'équivalent microlitique *mésocrate* ou *mélanocrate* des diorites, des gabbros et des dolérites. Cependant la présence d'olivine y

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

est fréquente. Les phénocristaux sont constitués par de l'augite et de l'olivine, aussi par du mica noir ; le feldspath, qui se présente rarement en phénocristaux, est du labrador ou de l'anothite. La pâte comprend, en plus de microlites de feldspaths, des microlites d'augite et d'olivine, ainsi que de la magnétite.

Les *mélaphyres* sont des basaltes anciens, dans lesquels la pâte est surtout constituée par des microlites d'augite et de labrador ; elles sont souvent vacuolaires.

Ces roches forment des dykes, des filons, des massifs et surtout des coulées et des laves qui, souvent, lors du refroidissement, se divisent en colonnes hexagonales typiques.

398. PHONOLITES. — La phonolite est un trachyte à néphéline, ce minéral n'étant ordinairement visible qu'au microscope ; les microlites s'alignent souvent parallèlement entre eux, ce qui permet de diviser la roche en plaquettes ; par décomposition, il se développe fréquemment dans les cavités des minéraux du genre zéolites.

Les *téphrites* sont des basaltes à néphéline ; les *leucotéphrites* sont des basaltes à leucite. Lorsque le feldspath disparaît, elles passent aux *néphélinites* et aux *leucitites*.

C. — Roches filoniennes

399. — Nous les avons définies antérieurement (**385**). — On peut y distinguer des variétés leucocrates et mélanocrates, ces dernières étant souvent dites : *lamprophyres*.

Parmi les premières, nous citerons :

le *greisen*, formé de quartz et de mica blanc, souvent avec minéraux borés ou fluorés, et qui se trouve fréquemment en bordure des granites ;

l'*aplite*, finement grenue, hololeucocrate, constituée de feldspaths acides avec peu de mica ;

les *pegmatites*, à éléments largement cristallisés ;

les *granulites*, qui sont des granites à mica blanc, à grains fins et où le quartz, au lieu de mouler les autres éléments, s'individualise en donnant des formes cristallines franches.

Parmi les lamprophyres :

les *minettes*, formées d'orthose et de biotite ;

les *kersantite*, à plagioclases et biotite ;

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

les *camptonites*, à plagioclases et augite, fréquemment porphyriques.

D. — Tufs

400. — Nous rassemblons ici tous les produits de projection des volcans, solidifiés dans l'air ou peu après leur chute.

D'après la grosseur et la forme de ces produits, on distingue les *blocs volcaniques*, les *bombes volcaniques*, les *lapilli*, les *cendres*, *sables* et *poussières*. Les blocs et les bombes montrent fréquemment des noyaux formés d'un peu de lave solidifiée.

Les *tufs* proprement dits sont des produits de projection cimentés, soit par la pression des masses supérieures, soit par un dépôt dû à la circulation d'eaux minérales. Les tufs de cendres sont dits *cinérites*.

§ 8. — NOMENCLATURE PROVISOIRE.

401. — L'étude complète d'une roche ne peut se faire que dans le laboratoire, puisqu'elle nécessite aussi bien son analyse chimique que l'examen microscopique. Cette étude seule permettra d'en donner une description complète, basée sur les indications exposées dans les paragraphes précédents et, si possible, de la désigner par un nom choisi dans l'une des trop nombreuses classifications qui ont été adoptées par diverses écoles, sans qu'il ait encore été possible jusqu'ici de provoquer une entente générale. Ceci provient de ce que les unes accordent une importance primordiale à la composition chimique, les autres à l'examen microscopique, d'autres à l'aspect extérieur et à la texture, etc.

Cependant, pour l'ingénieur ou le géologue qui travaille sur le terrain et qui ne peut encore avoir soumis à un spécialiste les échantillons récoltés, il est nécessaire d'employer une terminologie suffisamment pratique et basée surtout sur ce que la loupe lui permet d'observer.

Les indications suivantes pourront servir à cette dénomination provisoire, *étant bien entendu que l'emploi de cette nomenclature n'implique aucunement une affirmation définitive de la nature de la roche*, quoique le terme choisi indique généralement au moins à quelle grande famille la roche appartient.

Nous avons déjà distingué les roches (**351**) *phanéritiques* des roches *aphanitiques* et nous avons indiqué ce que l'on entendait par roches *porphyriques*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dans les roches phanéritiques, on distinguera :

A. — Roches leucocrates :

1) *granites* : quartz, feldspaths et micas ;

2) *pegmatites* : granites à gros éléments et souvent constitués principalement par du quartz et des feldspaths ou par des feldspaths et des micas ;

3) *syénites* : granites sans quartz, souvent avec amphiboles.

Toutes ces roches peuvent être porphyriques.

B. — Roches mésocrates :

Diabases, qui éventuellement deviendront :

1) *diorites*, à hornblende prédominante ;
2) *gabbros*, à pyroxène prédominant.

C. — Roches mélanocrates :

1) *péridotites*, à olivine prédominante ;
2) *hornblendites*, à hornblende prédominante ;
3) *pyroxénolites*, à pyroxène prédominant.

Les roches aphanitiques prendront les noms suivants, d'après leur couleur :

1) noires : *basaltes* ;
2) foncées : *andésites* ;
3) claires : *rhyolites* ;

Les roches vacuolaires seront des *mélaphyres*.

Enfin, les roches complètement vitreuses, qui s'appellent *laves* lorsqu'elles s'écoulent à l'état fluide lors des éruptions volcaniques, pourront se distinguer en :

1) *obsidiennes*, à éclat vitreux ;
2) *rétinites*, à éclat résineux ;
3) *ponces*, vacuolaires ou spongieuses.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE III

ROCHES SÉDIMENTAIRES

§ 1. — ORIGINE.

402. — Pour bien comprendre l'origine des roches sédimentaires, il est nécessaire de se rappeler l'*action actuelle* des eaux continentales et marines.

Depuis les sources des torrents, jusqu'à la mer où agit l'action des vagues sur les côtes, il se produit sans cesse une *destruction mécanique* des roches, sous l'effort de la circulation et du choc des eaux. L'intensité de cette action est très variable : puissante, mais intermittente dans les torrents, elle est plus faible mais continue dans les rivières ; c'est grâce à elle que les vallées s'approfondissent, atteignant, comme au Grand Cañon du Colorado, une profondeur de 1800 mètres sous le plateau de la région. Toutes les roches soumises ainsi à l'action des cours d'eau ou au choc des vagues subissent une *érosion* qui les désagrège, les rend de plus en plus meubles.

Tous les éléments de ces roches sont donc soumis, en même temps qu'à une usure continue par le frottement, à un *transport* par les rivières vers les lacs et les océans, où ils parviennent à l'état de cailloux ou de grains.

Dans les eaux sans courant, lacs et mers, toutes ces particules finissent par se classer et se déposer, constituant ainsi les **roches détritiques.**

Mais d'autres roches résultent aussi du dépôt de substances dissoutes, le dépôt s'effectuant soit à la suite de réactions chimiques, soit sous l'influence d'organismes, soit par simple précipitation due à l'évaporation des eaux : ce sont les **roches de précipitation.**

Enfin les **roches éoliennes** sont dues à des particules solides entraînées par le vent et qui s'accumulent devant divers obstacles *(dunes).*

403. — Les dépôts sédimentaires, lors de leur formation, sont meubles, comme le sable des côtes belges. Mais, sous l'influence

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de diverses causes, il se produit une consolidation : le dessèchement transforme les vases ; les vides existant entre les particules se comblent d'une substance agglutinante qui porte le nom de ciment et qui peut être due à une circulation d'eau qui la tient en solution. Ainsi se forment des roches parfois très compactes.

404. — La topographie de la terre n'a pas toujours été telle que nous la connaissons aujourd'hui. Depuis l'époque où le globe terrestre est sorti de l'état gazeux (**334**), où une première écorce s'est solidifiée, où les premières eaux se sont condensées à sa surface en y constituant des masses océaniques, la répartition des parties immergées a constamment changé ; on peut dire qu'un point quelconque de la terre s'est trouvé, au cours des temps, alternativement recouvert par les eaux et émergé. Dans le premier cas, il recevait des dépôts sédimentaires, qui pouvaient être littoraux, de grands fonds, lacustres, fluviaux, etc. ; dans le second cas, ces dépôts, transformés ou non, étaient soumis à la destruction comme le sont aujourd'hui les surfaces émergées.

405. — C'est à la *géologie* qu'il appartient de décrire cette histoire de la terre en un point quelconque et il lui suffit à cet effet d'étudier les sédiments qui se superposent en ce point et qui constituent les témoins des faits passés ; elle est puissamment aidée en cela par l'étude des *fossiles*, restes de végétaux et d'animaux enfouis et conservés dans les sédiments et qui, tout en donnant de précieuses indications sur la flore, la faune, le climat aux époques où ils ont vécu, constituent des éléments de repère dans la comparaison des sédiments situés à des distances plus ou moins éloignées.

§ 2. — FACIES.

406. — Par suite d'arrêts qui se sont produits au cours de la sédimentation, par suite de modifications qui se sont produites dans leur nature même, on reconnaît, dans les dépôts sédimentaires, des *couches* (ou *strates*) séparées par des *joints de stratification*. Lors de leur dépôt, les couches se conformaient au substratum du fond et se trouvaient donc à peu près horizontales, mais des actions postérieures, *orogéniques*, les ont souvent dérangées, redressées, plissées.

On trouve donc des terrains sédimentaires qui ont conservé l'allure horizontale (fig. 263), ou qui sont fortement redressés

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(fig. 264), et même complètement plissés (fig. 265) ; il arrive également que les plis ainsi formés se renversent les uns sur les autres en devenant parallèles entre eux ; de plus si, dans ce cas, l'érosion

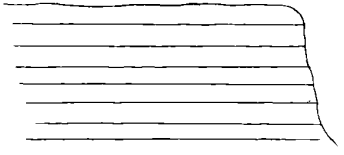


Fig. 263.

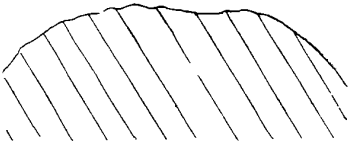


Fig. 264.

a enlevé toutes les parties supérieures, les charnières de ces plis, ne laissant subsister que les parties situées en dessous de la ligne SS' (fig. 266) qui représente la surface du sol, on voit que l'étude

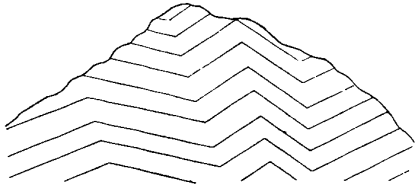


Fig. 265.

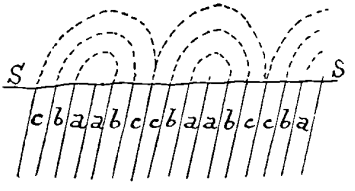


Fig. 266.

de la *tectonique* de la région peut être extrêmement compliquée et qu'il devient très difficile de reconnaître les mêmes couches *a*, *b*, ou *c*.

407. — Les forces qui agissent lors du plissement des couches peuvent occasionner dans celles-ci des *cassures*, qui, le plus souvent, se rapprochent de la verticale ; il peut même se produire un déplacement relatif des couches situées de part et d'autre de la cassure FF′ (fig. 267) ; on a alors une *faille*.

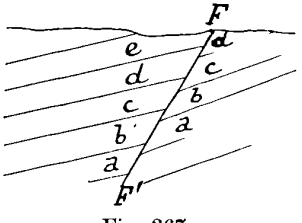


Fig. 267.

Lorsque les cassures et les failles ont produit des ouvertures qui se sont ultérieurement remplies de matières minérales étrangères, on a des *filons* ; cet apport de matières est dû à la circulation de gaz, de vapeurs, d'eaux. Les *filons* sont en général très étendus en surface, tandis que leur épaisseur est relativement faible ; parfois,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

cependant, il s'est produit des ouvertures d'épaisseurs considérables qui donnent lieu à des *amas*.

408. — La géologie a établi une *division chronologique relative* dans les divers dépôts sédimentaires. La distinction de l'âge d'une couche ne se base pas principalement sur sa nature, car, à la même époque, la nature du dépôt n'a pas été identique en des points différents de la terre : ici, il se déposait des vases, là des sables, tandis qu'en un autre point s'édifiait un massif corallien. De plus, certaines couches de même âge et de même nature ont pu subir des transformations différentes. La détermination de l'âge se base sur des caractères stratigraphiques et paléontologiques (étude de la tectonique et des fossiles), accessoirement sur les caractères lithologiques.

On a distingué dans toute la série des couches qui se sont déposées au cours des temps géologiques, quatre **ères** principales, se divisant elles-mêmes en **périodes** ; les périodes se subdivisent en *étages*, *sous-étages*, *zones*, sur lesquelles il est inutile d'insister ici.

La classification des ères et des périodes est la suivante, dans l'ordre inverse de la superposition :

Eres	Périodes	
Quaternaire	moderne pléistocène	
Tertiaire	néogène	pliocène miocène
	éogène	oligocène éocène
Secondaire	crétacique jurassique triasique	
Primaire	permienne carbonifférienne dévonienne silurienne cambrienne précambrienne	

Antérieurement à l'ère primaire, on distingue une ère **archéenne**, dont les roches sont grandement transformées et rentrent en général dans la série des roches cristallophylliennes.

409. — La série complète des couches ne se rencontre en aucun point de la terre, ce qui tient à ce que des *lacunes* se sont produites au cours de la sédimentation ; par exemple, à l'époque permienne,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

presque aucun point en Belgique n'était immergé, ce qui n'a pas permis de dépôt sédimentaire. D'autre part, l'érosion a pu enlever des couches déposées antérieurement et dont on ne retrouve plus aucune trace.

§ 3. — DESCRIPTION DES ROCHES SÉDIMENTAIRES.

I. — Roches détritiques

410. — Les roches détritiques résultent du dépôt de minéraux entraînés par les eaux et qui proviennent de la désagrégation de terrains continentaux (**402**) ; ceux-ci étant constitués soit de roches ignées, soit de roches sédimentaires formées à une époque antérieure, on voit, en dernière analyse, que c'est dans les minéraux des roches ignées que l'on doit rechercher l'origine des éléments des roches détritiques.

Or, parmi tous les minéraux des roches ignées, seul, le quartz très dur, inattaquable, inaltérable, peut résister aux actions extérieures et se retrouver intact ; ce minéral constituera les **roches quartzeuses.**

Les feldspaths se décomposent plus ou moins aisément et, à côté de silicates alcalins solubles dans l'eau, donnent naissance à un silicate d'alumine hydraté qui, à l'état pur, est le *kaolin* mais qui prend le nom d'*argile* lorsqu'il contient des oxydes divers qui modifient sa couleur ; il se formera ainsi des **roches argileuses.**

Certains micas pourront se conserver intacts tout en se désagrégeant en très fines paillettes qui s'incorporeront dans les roches quartzeuses et argileuses. Les autres éléments des roches ignées se décomposeront plus aisément que les feldspaths et donneront des oxydes divers qui entrent en solution et des silicates d'alumine impurs rentrant dans la classe des argiles.

411. — Les roches quartzeuses et argileuses se déposent d'abord à l'état meuble mais, sous l'influence de la pression due à des causes extérieures, ou sous l'influence d'une circulation d'eaux qui déposent dans leurs interstices des substances les cimentant, elles finissent par acquérir une cohésion et une compacité parfois très fortes, de sorte que l'on doit distinguer, à côté des roches meubles ou peu cimentées, des roches tendres, des roches cohérentes et des roches dures, sans que d'ailleurs existe une limite bien tranchée entre ces subdivisions.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On est donc amené à dresser le tableau suivant qui donne les types principaux des deux grandes catégories de roches détritiques :

	R. Quartzeuses	R. Argileuses
R. tendres	sables	argilites
R. cohérentes	grès	schistes
R. dures	quartzites	phyllades

Indépendamment de ces types principaux, auxquels on peut joindre de nombreuses variétés, on doit aussi considérer certaines roches restées meubles, ainsi que les conglomérats.

A. — Roches meubles et Conglomérats

412. — On désigne sous le nom d'*alluvions* les dépôts sédimentaires qui sont formés de matériaux meubles non cimentés entre eux. Les alluvions peuvent être anciennes ou récentes. Leurs éléments peuvent être constitués par des *cailloux roulés* ou *galets* ; les *graviers* sont des débris analogues, mais de faible volume ; les particules les plus fines forment les *sables.*

Les alluvions comprennent en général les minéraux les plus durs et les moins altérables aux actions chimiques ; elles sont donc principalement formées de quartz, mais elles englobent souvent des matières pulvérulentes et boueuses.

Les alluvions renferment parfois des minéraux, peu altérables, de grande dureté, et recherchés à cause de leur valeur industrielle. Tels sont l'or, le platine, la cassitérite, la monazite, etc. On a alors un *placer* ou une *alluvion métallifère.*

On réserve le nom d'*éluvions* aux dépôts meubles qui se trouvent proches des roches dont ils constituent les débris.

Les *dunes* sont des accumulations de sable quartzeux produites par le vent.

413. — Lorsque des cailloux roulés sont réunis par un ciment qui les agglomère, on a un *poudingue.* Si les cailloux sont anguleux, le conglomérat est une *brèche.*

D'après la nature du ciment, les conglomérats sont siliceux, ferrugineux, calcareux ; les cailloux qui les composent peuvent être de nature très diverse, d'après les roches dont ils proviennent.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

B. — Roches quartzeuses

414. — Les *sables* et les *grès* se composent de grains de quartz réunis par un ciment qui peut être siliceux, argileux, calcareux, ferrugineux, etc. Le ciment peut être plus ou moins fort, de sorte que l'on a des grès friables, résistants, durs, etc. ; la couleur du grès varie aussi, principalement d'après la nature du ciment. Les grains de ces roches rayent le verre.

Lorsque les grains de quartz d'un grès sont fortement soudés par un ciment siliceux, à tel point que la cassure ne sépare pas les grains entre eux mais les brise en même temps que le ciment, on a un *quartzite* ; cette roche est donc très compacte et très dure.

Les roches quartzeuses sont généralement poreuses, plus ou moins perméables suivant la nature du ciment et l'abondance des fissures ou des vides qui s'y rencontrent.

415. — *Variétés.* Un grès peut être micacé ; lorsque les lamelles de mica, orientées parallèlement, lui donnent une structure foliacée, on a un *psammite.*

Le grès peut aussi être feldspathique et il devient alors une *arkose.*

La *meulière* est un grès caverneux, très léger.

La *molasse* est un grès grossier, blanc, verdâtre ou rougeâtre, à ciment calcareux.

Le *macigno* est un grès argilo-calcarifère.

L'*alios* est un grès brun ou noir à ciment formé d'oxyde de fer et de matières organiques.

Certains quartzites micacés, appelés *itacolumites,* renferment des parties flexibles dues à un enchevêtrement des grains de quartz et de mica.

Les *phtanites* sont des roches compactes, finement cristallines au microscope, fréquemment rubanées, que l'on peut rattacher aux quartzites.

La *lydite* (ou *pierre de touche* des joaillers) est un phtanite coloré en noir par des matières charbonneuses.

Le *chert* est un phtanite produit par concrétion et que l'on trouve en blocs disséminés au milieu d'autres roches, spécialement au milieu de calcaires avec lesquels ils n'ont souvent pas de contact distinct.

Le *tripoli* (*kieselgur, randannite*) est formé d'innombrables diatomées constituées surtout de silice hydratée (*opale*) ; très

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

dur et très absorbant, il est employé pour le polissage, la fabrication de dynamite, etc.

C. — Roches argileuses

416. — L'*argilite* est une roche tendre, se fendillant suivant des surfaces parallèles aux joints de stratification et qui contient souvent des débris microscopiques de nombreux minéraux, ainsi que des matières colloïdales et des particules organiques. Sa couleur dépend surtout de celle de ces matières.

L'argile desséchée est poreuse et happe à la langue ; elle émet une odeur caractéristique quand on souffle dessus.

Le *schiste* est une roche cohérente, stratifiée, constituée principalement par de l'argile mélangée à des grains de quartz, des écailles de mica, des minerais de fer pulvérulents. Il possède une texture feuilletée, presque toujours oblique à la stratification et que l'on appelle *clivage*.

Les *phyllades* sont des schistes très résistants se débitant en plaquettes plus ou moins minces.

Le canif raye ces roches en les pulvérisant.

L'argile absorbe l'eau avec avidité mais donne ensuite par gonflement une masse plastique s'opposant au passage de l'eau ; les roches argileuses sont donc imperméables.

417. — *Variétés.* — L'*argile plastique* donne avec l'eau une pâte se moulant bien (*terre glaise, terre à poteries*). La *gaize* est une argile sableuse agglomérée par de l'opale. L'*argile smectique*, qui ne fait pas pâte avec l'eau, absorbe facilement les corps gras et les huiles (*terre à foulons*).

La *vase* est une alluvion argileuse ; on la trouve dans la plupart des mers, avec une teinte blanche dans les faibles profondeurs et une teinte rouge dans les grands fonds.

Le *lehm* ou *limon* est une argile ferrifère, colorée en rouge ou brun et plus ou moins riche en quartz ; il peut renfermer du mica. Le *loess* est une argile très quartzifère, dont la cohésion est telle qu'il peut se soutenir le long de parois verticales.

Les *schistes alunifères* ou *ampélites* sont des schistes noirs riches en charbon et chargés de pyrite ; leur nom vient de ce qu'ils renferment souvent des pyrites de fer (FeS^2) qui, par altération, donnent des sulfates solubles, ou *aluns*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les *ardoises* sont des phyllades pouvant se débiter en plaquettes très minces et régulières.

Les *quartzophyllades* sont des phyllades dont les lits schisteux alternent avec des lits quartzeux.

Les *sols* sont les parties supérieures, meubles et terreuses, de l'écorce terrestre. Ils sont constitués par un mélange de minéraux non altérés (quartz, tourmaline, zircon, etc.) et d'autres plus ou moins altérés (feldspaths kaolinisés ou micacés, micas, chlorites, limonite, etc.), le tout mélangé à des débris organiques (terreau). La décomposition des minéraux met en liberté nombre d'éléments utiles aux plantes, potasse, soude, chaux qui entrent en solution dans l'eau ou forment des combinaisons plus ou moins stables.

Les *latérites* sont des roches, formées surtout d'hydrates de fer, d'alumine et de titane, qui se produisent sous les tropiques aux dépens de roches alumineuses sous-jacentes, grâce aux alternances de sécheresse et d'humidité ; elles sont souvent de couleur rouge.

II. — Roches de précipitation

418. — Cette précipitation peut se faire par simple réaction chimique ou sous l'influence d'organismes et il est parfois difficile de distinguer l'origine des roches ainsi produites et qui, d'ailleurs, peuvent aussi contenir des particules entraînées par les courants et provenant de roches détritiques.

419. — *Roches calciteuses.* — La calcite ($CaCO^3$) est l'élément le plus abondant dans ce genre de roches et, suivant l'état de cohésion de la roche produite, elle donnera de la craie, du calcaire ou du marbre (1).

La *craie* est une roche friable, traçante, formée principalement de tests de foraminifères microscopiques.

Le *calcaire* est compact, à grain fin, souvent fossilifère. Il est parfois oolithique. De nombreux calcaires sont dus à l'accumulation de débris d'animaux marins ou à des constructions coralligènes.

Le *marbre* est un calcaire cristallin. Les marbres bien connus de Paros et de Carrare sont en très petits cristaux groupés sans

(1) Sur le terrain, on peut déceler l'effervescence que les acides provoquent avec la calcite, en mettant un peu d'acide citrique en poudre sur une rayure produite avec la pointe d'un canif et en ajoutant une goutte d'eau.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

vides et donnant ainsi des masses homogènes. On étend le nom de marbre à des calcaires dont les fissures ont été remplies de matières étrangères diversement colorées, ou à des poudingues, à des brèches et même à des roches siliceuses qui peuvent, par le polissage, servir aux arts décoratifs. Le *petit granit* de Belgique est un calcaire noir pétri de fossiles transformés en calcite blanche.

Les calcaires sont des roches éminemment perméables, malgré la grande compacité qu'ils présentent parfois, à cause des nombreuses fissures qui les parsèment et que les eaux élargissent par dissolution.

Variétés.

Les *marnes* sont des calcaires contenant plus de 20% d'argile.

Les *dolomies* sont des calcaires magnésiens ; ces roches prennent souvent, par érosion, un aspect ruiniforme.

Le *tufeau* est un calcaire sableux, grenu, tendre et poreux.

Le *calcaire bitumineux* dégage une odeur de pétrole lorsqu'on le brise ou lorsqu'on le touche avec HCl (calcaire fétide).

Le *calcaire asphaltique* est un calcaire dont les grains sont enrobés dans de l'asphalte.

420. — D'autres roches de précipitation, résultant surtout de l'évaporation des eaux qui les tenaient en solution, se sont formées en donnant parfois lieu à des dépôts très étendus ; nous citerons les dépôts de sel gemme, d'anhydrite, de gypse, de sylvine et kaïnite, de nitratine, minéraux pour lesquels nous renvoyons le lecteur à la partie minéralogique de l'ouvrage.

Il en est de même pour les charbons et combustibles minéraux, dont l'origine est purement organique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE IV

ROCHES MÉTAMORPHIQUES ET CRISTALLOPHYLLIENNES

§ 1. — ORIGINE.

421. — Les roches cristallophylliennes sont des roches cristallines à allure schisteuse, pouvant se séparer, grâce à une disposition parallèle de leurs éléments, en plaques et lamelles. Elles occupent des étendues souvent très considérables et leur allure affecte celle des roches sédimentaires.

Les éléments des roches cristallophylliennes sont tout d'abord les éléments des roches éruptives, mais, à ces minéraux, se joignent d'autres espèces en général bien cristallisées et que l'on trouve parfois exclusivement dans ces roches.

Ces roches se distinguent des roches éruptives par l'absence de tout ordre de cristallisation et surtout par leur allure schisteuse qui est tout à fait remarquable : les lamelles de mica se rassemblent en plaques parallèles ; les minéraux prismatiques, comme la hornblende, se disposent grossièrement à axes parallèles ; les minéraux grenus eux-mêmes s'alignent en traînées.

Leur origine a été beaucoup discutée. On les a longtemps considérées comme les témoins de la croûte terrestre primitive et il est possible qu'une partie d'entre elles ait cette origine mais la plupart de ces roches sont dues à la transformation de roches sédimentaires ou éruptives d'âge et de composition très différents et cette transformation s'est faite sous l'influence de pressions considérables, de températures élevées et d'actions chimiques.

L'ensemble des phénomènes qui ont amené cette transformation constitue le *métamorphisme*.

422. — Le métamorphisme peut être dû à des actions dynamiques (dynamo-métamorphisme) ; les mouvements tectoniques ont certainement dû souvent engendrer des modifications importantes dans la nature des roches sédimentaires ; les grès passent aux quartzites, les schistes aux phyllades, les calcaires

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

aux marbres, mais, dans ces transformations, il n'y a pas eu, à proprement parler, de modification de la nature minéralogique des roches : c'est pourquoi nous les avons classées dans les roches sédimentaires.

Au contraire, l'origine des roches cristallophylliennes ne peut guère s'expliquer que si l'on fait intervenir l'action de l'eau et de divers agents minéralisateurs (bore, chlore, fluor, etc.), en même temps que l'influence de la pression et de la température : elles peuvent se former, notamment, lors de l'accumulation, dans des plis de l'écorce terrestre, à des profondeurs pouvant dépasser 10.000 mètres (géosynclinaux), de sédiments, amenés ainsi à des températures supérieures à 300°, à des pressions dépassant 2700 kgs. par cm^2 et parcourus par des eaux accompagnées de gaz et de vapeurs d'un pouvoir chimique considérable. Dans ces conditions, il se produit des dissolutions de minéraux, des réactions chimiques entre les substances dissoutes, des cristallisations nouvelles qui donnent, à côté d'éléments semblables à ceux de la roche sédimentaire primitive, de nouveaux minéraux qui se mélangent aux premiers.

Certains minéraux sont tout à fait spéciaux aux roches métamorphiques : tels sont le disthène, la zoïzite, la staurolite, le talc, la wollastonite, le grossulaire, etc.

423. — Ce que l'on entend ainsi par *métamorphisme régional* ne s'applique pas seulement aux roches sédimentaires ainsi accumulées dans les géosynclinaux mais encore à des roches quelconques soumises à des pressions et des températures élevées.

La *température*, en s'élevant, facilite en effet la circulation de l'eau ; elle favorise la solubilité des minéraux et la recristallisation ; enfin, elle amène la réversibilité de certaines réactions. C'est ainsi que, à la température ordinaire, un mélange d'enstatite ($MgSiO^3$) et d'olivine (Mg^2SiO^4) donnera de la serpentine, avec dégagement de chaleur :

$$MgSiO^3 + Mg^2SiO^4 + 2H^2O = H^4Mg^3Si^2O^9$$

tandis que la serpentine fondue, en absorbant de la chaleur, se décomposera en olivine et enstatite.

L'influence de la *pression* n'est pas moindre ; plus elle est élevée, plus les minéraux produits auront de petits volumes moléculaires, seront plus denses. Sous cette influence, une substance polymorphe se présentera donc sous sa forme la plus dense :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TiO^2 sous forme de rutile, Al^2SiO^5 sous forme de disthène, etc. ; l'olivine ($Mg^2Si\ O^4$) et l'anorthite ($Ca\ Al^2\ Si^2\ O^8$), dont les volumes moléculaires sont 43,9 + 101,1 = 145, donneront du grenat ($Mg^2\ Ca\ Al^2\ Si^3\ O^{12}$), de volume plus faible 121.

Ainsi peut s'expliquer la transformation d'une diorite en une amphibolite :

	Diorite	⟶		Amphibolite	
Anorthite	$3\ Ca\ Al^2\ Si^2\ O^8$	303,3	grenat	$Ca^3\ Al^2\ Si^3\ O^{12}$	125,8
Albite	$Na\ Al\ Si^3\ O^8$	100,3	Albite	$Na\ Al\ Si^3\ O^8$	100,3
Augite	$3\ Mg\ Ca\ Si^2\ O^6$	204,0	hornblende	$Mg\ Ca\ Si^4\ O^{12}$	135,0
				$Fe^2\ Al^4\ Si^2\ O^{12}$	140,5
Ilménite	$2\ Fe\ Ti\ O^3$	63.4	sphène	$2\ Ca\ Ti\ Si\ O^5$	111,2
		671,0	quartz	$Si\ O^5$	22,8
					635,6

Notons ici que le métamorphisme peut se faire sans apport de substances nouvelles ; il y a toutefois changement dans la composition minérale (et ceci contrairement à ce qui se passe au cours du dynamométamorphisme), mais la composition chimique globale de la roche primitive n'a guère changé, sauf une diminution des teneurs en H^2O et CO^2 et une augmentation de la teneur en SiO^2.

424. — En vertu de la réversibilité des réactions, on peut dire que, pour chaque minéral, il existe une zone de formation dépendant de la pression et de la température, c'est-à-dire de la profondeur et l'on peut ainsi distinguer dans l'écorce terrestre, trois zones de profondeur où se forment de préférence certains minéraux caractéristiques :

1re *zone.* — La température y est relativement basse ; la pression n'est guère importante et agit avec la chaleur pour diminuer le volume des minéraux ; l'eau est abondante et favorise la formation des minéraux avec OH. Sont caractéristiques : la séricite, la chlorite, l'ottrélite, le talc, la serpentine, la zoïzite, l'épidote, l'hématite, la calcite.

2e *zone.* — La chaleur et la pression s'élèvent et la recristallisation donne les minéraux les plus denses ; les formes lamellaires bacillaires, fibreuses, prédominent ; on y remarque : le microcline, l'épidote, la hornblende, la staurotide, le disthène, le rutile, le sphène, la magnétite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

3e *zone.* — La pression est énorme mais la température très élevée amène la réversibilité des réactions. Sont caractéristiques : l'orthose, l'augite, l'olivine, les grenats, les spinelles, la cordiérite, l'ilménite.

On comprend donc qu'une même roche, telle qu'une diorite, pourra, métamorphisée, donner naissance à trois types différents, suivant la zone où les phénomènes se passent ; elle deviendra un schiste dioritique dans la première zone, une amphibolite à grenats dans la deuxième zone et une éclogite dans la troisième.

425. — La composition chimique des roches cristallophylliennes est évidemment très variée, car elle dépend d'abord des roches dont elles dérivent. L'étude de cette composition peut d'ailleurs souvent aider à préciser l'origine de la roche : nous donnons ci-dessous, comme exemples, les analyses de deux gneiss ; le premier a la composition d'une diorite quartzique [II. 4. 3. 4] ; le second n'a aucune analogie avec une roche ignée car les alcalis et l'alumine sont en proportions trop faibles et l'oxyde ferrique en proportion trop élevée relativement à la silice :

	Gneiss	
	Madagascar	Québec
SiO^2	64,30	74,7
Al^2O^3	13,99	8,9
Fe^2O^3	4,15	9,6
FeO	3,21	—
MgO	2,01	1,9
CaO	4,70	1,1
Na^2O	4,47	0,4
K^2O	1,11	1,0
TiO^2	1,03	0,5
P^2O^5	0,55	—
H^2O	0,33	1,1
	99,85	99,2

426. — *Métamorphisme de contact* ou *éruptif.* — Les magmas éruptifs occasionnent aussi des transformations dans les roches qui se trouvent dans leur voisinage et y produisent des minéraux caractéristiques.

Au contact des magmas, les argiles se transforment en jaspes, les grès se vitrifient, les calcaires passent aux marbres, les lignites et le charbon deviennent de l'anthracite et du coke.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En profondeur, les magmas s'entourent de roches métamorphisées qui leur constituent des auréoles plus ou moins concentriques.

427. — Il peut également se produire des modifications du magma lui-même par absorption de la roche encaissante ; l'on retrouve dans certaines roches éruptives des *enclaves* de roches sédimentaires qui sont des témoins de ces roches dissoutes dans le magma qui les traversait.

§ 2. — DESCRIPTION.

428. — Les **gneiss** sont des granites schisteux. Ils sont essentiellement composés de feldspaths potassiques, de quartz et de micas. Au point de vue minéralogique, on peut distinguer les *gneiss à orthose* des *gneiss à plagioclases, à muscovite ou à biotite.*

On trouve également :

des *gneiss syénitiques*, où le mica est remplacé par de l'amphibole et où l'orthose est accompagnée de plagioclase ;

des *gneiss à augite* ;

des *gneiss à oligiste* ou *à magnétite* ;

des *gneiss à cordiérite, à grenats*, etc.

De nombreux *granites*, occupant des étendues considérables, ne sont pas des granites éruptifs, mais ont une origine cristallophyllienne.

Les *leptynites* sont des granulites schisteuses, à grain fin, formées d'orthose, de quartz et de grenat.

Le *pétrosilex* ou *hälleflinta* est une leptynite très compacte ; on doit y rattacher les *cornes*, souvent rubanées, qui résultent de la transformation de schistes.

429. — Les **micaschistes** sont formés essentiellement de micas et de quartz ; ils sont nettement foliacés et renferment de nombreux minéraux accessoires.

L'*itacolumite* (**415**) peut être rapprochée du micaschiste. L'*itabirite* est un schiste à écailles d'oligiste.

Le mica peut être remplacé par de la chlorite ou du talc ; on a alors des *chloritoschistes* ou des *talcschistes.*

430. — Toutes ces roches sont fréquemment associées aux gneiss, avec lesquels elles constituent l'ensemble des **schistes**

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

cristallins. On désigne sous le préfixe *ortho* (orthogneiss, etc.) celles qui proviennent du métamorphisme de roches éruptives, tandis que celles dérivant de roches sédimentaires portent le préfixe *para* (paragneiss, etc.). Les *ortho* se distinguent des *para* surtout par la composition chimique qui est très régulière dans les premières et irrégulière dans les secondes ; ces dernières renferment aussi souvent du calcaire ou du graphite.

Dans les orthogneiss la muscovite est, généralement, en lame mince, de couleur vert ou brun olive, tandis qu'elle est plutôt brune ou rouge dans les paragneiss ; les orthogneiss montrent fréquemment de l'orthite, de l'épidote, du sphène, de l'apatite ; les paragneiss renferment surtout le rutile, le grenat, la tourmaline, le disthène, etc.

Certains quartzites et phyllades ont une origine cristallophyllienne et doivent être rangés dans cette catégorie.

On admet aujourd'hui que les porphyroïdes de l'Ardenne sont en partie des roches éruptives, en partie des phyllades qui se sont chargés, par métamorphisme, de cristaux de feldspaths.

Le **coticule** de Vielsalm est un phyllade jaunâtre, extrêmement dur, que l'on trouve en bancs alternant avec des bancs de phyllades manganeux, violets. Sa dureté est due à une quantité de grenats (spessartine) microscopiques et il provient de la transformation du phyllade violet. On l'exploite comme *pierre à rasoir*.

431. — On trouve fréquemment, dans les schistes cristallins, des intercalations de roches schisteuses à amphiboles ; ce sont des **amphiboloschistes** lorsqu'elles sont dépourvues de feldspaths, des **amphibolites** lorsqu'elles contiennent en abondance de ces minéraux.

La *néphrite* est une roche amphibolique uniquement composée de fibres entremêlées d'une amphibole spéciale, verte.

Les **pyroxénolites** sont des roches à pyroxènes qui, lorsqu'elles renferment des feldspaths, deviennent des **pyroxénites**.

432. — La texture des schistes cristallins est dite *granoblastique* lorsqu'elle correspond à la texture grenue des roches ignées ; *lépidoblastique*, lorsqu'elle contient des éléments lamelleux prédominants ; *nématoblastique*, lorsque ces éléments sont de forme aciculaire ; la texture est *globuleuse* quand la roche est divisée en amas de minéraux formant des lentilles, ce qui donne à la

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

surface un aspect *noduleux* et qui explique la texture *œillée* d'une cassure transversale.

433. — A côté des schistes cristallins, nous citerons :

l'**éclogite** formée de pyroxène vert et de grenat rouge, parfois avec amphibole.

le **cipolin** qui est un calcaire cristallin micacé ; il forme des lentilles plus ou moins puissantes au milieu de micaschistes et de gneiss ; cette roche est souvent riche en minéraux divers : spinelle, anorthite, talc, etc.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE V

MÉTÉORITES

434. — Les météorites sont des roches trouvées à la surface du sol terrestre, mais qui proviennent des espaces interplanétaires. Leur origine cosmique trouve sa preuve dans les récits des témoins qui assistent à leur chute. Cette chute est accompagnée de détonations dues au bris de la masse, de sifflements occasionnés par le passage dans l'atmosphère, de phénomènes lumineux amenés par l'incandescence dans l'air des parties externes. Le nombre des pierres d'une même chute est très variable ; on en a recueilli plusieurs milliers lors de la chute survenue à Pultusk (Moravie) en 1869. Parfois on ne trouve qu'un bloc unique qui peut atteindre un poids considérable (5000 kgs). Par suite de la fusion des parties externes, les météorites sont fréquemment entourées d'une croûte noire ou brune, parfois vernissée, toujours extrêmement mince.

Les météorites sont irrégulièrement arrondies ou anguleuses. Elles montrent presque toujours une surface criblée d'empreintes digitiformes et souvent aussi des cavités en forme de godets ou de cylindres. Ces effets sont dus à l'action tourbillonnaire de l'air traversé et à la disparition de minéraux fondus grâce à la chaleur dégagée par frottement et compression dans l'atmosphère.

On a considéré les météorites comme constituant les débris d'une planète qui aurait existé entre Mars et Jupiter. On rapproche aujourd'hui leur origine de celle des étoiles filantes, en les considérant comme des restes éparpillés sur son orbite par une comète en voie de désagrégation et qui peuvent, lorsque l'orbite de la comète traverse celle de la terre, être attirées par celle-ci et se consumer dans l'atmosphère en donnant les étoiles filantes ou parvenir à la surface terrestre, lorsque ces débris sont suffisamment volumineux.

435. — La composition des météorites est très variable. On y trouve, entre autres substances :

du fer métallique, toujours allié au nickel et souvent au cobalt ; ces alliages sont, ou de la kamacite ($Fe^{14}Ni$), ou de la taenite

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(Fe^7Ni à FeNi), ou de la plexite, qui serait un mélange eutectique des deux alliages précédents :

des sulfures, tels que la troïlite (FeS), la daubréelite ($FeS.Cr^2S^3$) l'oldhamite (CaS), la pyrrhotine ($Fe^n\ S^{n+1}$) ;

des pyroxènes : l'enstatite, la clinoenstatite, le diopside, l'hyperstène, l'hédenbergite ;

des péridots, surtout l'olivine, la fayalite et la monticellite ;

des feldspaths calcosodiques ;

la silice sous ses variétés de quartz et de tridymite ;

le carbone sous forme de diamant, de graphite, de moissanite (CSi) et de brennerite (CHO) ;

des verres, paraissant être des feldspaths fondus (maskelynite), ou des corps très acides ne ressemblant pas aux verres terrestres ;

des gaz (hélium, azote, etc.).

436. — On distingue, dans les météorites, les grandes classes suivantes :

A. — Les *sidérites* consistent surtout en fers nickelifères. Lorsqu'on polit une sidérite, et qu'ensuite on la chauffe ou qu'on l'attaque par un acide, on voit apparaître les *figures de* Wisdmanstätten, formées de bandes gris de fer bordées de lignes plus brillantes et qui sont dues à la différence d'attaque dans les alliages cités plus haut ; on peut ainsi reconnaître la structure qui permet de diviser les sidérites en *hexaédrites* (structure cubique), *octaédrites* (structure octaédrique) et *ataxites* (structure granuleuse).

B. — Les *lithosidérites* sont des fers nickelés accompagnés de silicates et parmi lesquels on distingue les *pallasites* avec olivine, les *sidérophyres* avec bronzite, les *lodranites* avec bronzite et olivine et les *mésosidérites* qui sont des lodranites avec feldspaths.

C. — Les *aérolites* ne renferment que peu de fer et peuvent être comparées à des roches terrestres de grande profondeur.

La plus grande partie des aérolites sont des *chondrites*, c'est-à-dire qu'elles renferment des chondres, globules de petites dimensions, hérissés d'aspérités et formés de silicates cristallisés (enstatite, bronzite, péridot), orientés ou non parallèlement. Les *achondrites* ne renferment pas de ces globules.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

437. — Dans chacune de ces quatre grandes classses (sidérites, lithosidérites, chondrites, achondrites), Prior considère quatre subdivisions basées sur les caractères suivants :

1	Fe : Ni > 13 MgO : FeO très élevé enstatite oligoclase	2	Fe : Ni = 13 à 8 MgO : FeO > 4 bronzite oligoclase
3	Fe : Ni = 8 à 2 MgO : FeO = 4 à 2 hyperstène et olivine oligoclase	4	pas ou peu de fer MgO : FeO < 2 olivine anorthite

Cette classification est basée sur ce fait que plus une météorite est riche en fer métallique, moins les silicates sont riches en oxyde ferreux. Ceci est dû à ce que les météorites proviennent d'un magma spécialement métallique, qui a passé par des stades plus ou moins complets d'oxydation et à ce que le fer métallique s'oxyde avant le nickel.

438. — Les seules chutes signalées en Belgique et dont on possède des échantillons sont celle du 7 juin 1855 à St-Denis Westrem, celle du 7 décembre 1863 à Tourinnes la Grosse, celle du 13 avril 1896 à Lesves ; elles appartiennent au groupe des achondrites. Le 26 novembre 1934, à la frontière française, près de Roisin, une nouvelle chute a été signalée, la pierre étant une chondrite à olivine et bronzite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TROISIÈME PARTIE

NOTIONS DE MÉTALLOGÉNIE

439. — Le but de la métallogénie est de rechercher l'origine première des espèces minérales, de découvrir des phases successives de l'évolution qui les a amenées dans leurs gisements actuels et de déterminer les lois suivant lesquelles ces gisements doivent apparaître de préférence dans telle ou telle zone géologique, présenter telle ou telle disposition, exister sous une forme industriellement utilisable.

Nous résumerons les connaissances actuelles concernant les conditions qui ont présidé à la formation des minéraux et à la cristallisation des espèces et nous en déduirons la classification qui paraît la plus logique concernant les gîtes des minéraux exploités par l'homme.

CHAPITRE I

FORMATION DES MINÉRAUX

§ 1. — MINÉRAUX DES ROCHES ÉRUPTIVES.

440. — Un minéral peut être le produit de la solidification d'un magma éruptif (**339**) ; il deviendra donc l'un des minéraux essentiels, accessoires ou accidentels de la roche formée : ainsi le quartz est un minéral essentiel du granite ; l'olivine est un minéral accessoire du gabbro ; le diamant est un minéral accidentel de la kimberlite.

441. — Nous avons déjà fait observer que les éléments chimiques ne se trouvent pas unis dans les magmas dans les mêmes proportions que dans les espèces minérales qui résultent de la consolidation du magma : le bain liquide, en effet, ne se solidifie pas en masse ; une partie s'en échappe sous forme de gaz ou de vapeurs, comme nous le verrons plus loin. L'analyse complète

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

d'une roche éruptive, telle que celles données au n° **353**, ne peut donc pas représenter la composition du magma qui lui a donné naissance, même si l'on pouvait affirmer que la roche n'a pas subi ultérieurement d'autres modifications chimiques.

442. — Les études microscopiques des lames minces ont montré, d'une part, que les éléments d'une roche n'ont pas cristallisé simultanément et, d'autre part, que les minéraux les moins fusibles n'ont pas cristallisé les premiers : ainsi, l'on connaît des granites à deux et trois *temps de cristallisation* et dans lesquels le quartz, qui est très peu fusible, a cristallisé en dernier lieu.

On peut expliquer en partie ces conditions en appliquant aux magmas les lois physicochimiques qui régissent les solutions et en supposant qu'il y a dissolution réciproque des divers éléments chimiques. Il en résulte que, lors du refroidissement, les éléments en présence tendent, tout d'abord, à constituer des *mélanges eutectiques* (**369**) qui, pour deux ou plusieurs corps, possèdent des compositions définies et qui se solidifient à des températures généralement plus basses que les températures de solidification des divers composants : les éléments qui se trouvent en excès dans un mélange se solidifient en premier lieu jusqu'à ce que ce mélange devienne eutectique, la cristallisation complète ne se produisant qu'à ce moment.

D'ailleurs, les magmas contiennent de l'eau, de l'anhydride carbonique et d'autres gaz qui modifient les conditions de stabilité des substances cristallisantes : ces gaz et vapeurs s'échappent au cours du refroidissement et nous verrons à quelles actions elles donnent lieu ; mais on en retrouve des traces à l'état d'inclusions dans divers minéraux des roches éruptives, spécialement dans le quartz et l'olivine.

443. — Observons aussi que les éléments d'une roche, juxtaposés et répartis très régulièrement, ont cependant des densités très diverses, pouvant, dans un basalte par exemple, varier entre 2,5 et 5. On ne peut donc pas supposer une cristallisation lente qui aurait permis aux parties les plus lourdes de s'enfoncer dans le bain liquide et aurait produit une différenciation analogue à celle qui se passe dans nos fourneaux métallurgiques ; cette liquation a cependant pu se produire accidentellement et elle explique certaines ségrégations (**476**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

§ 2. — MINÉRAUX DES ROCHES CRISTALLOPHYLLIENNES ET SÉDIMENTAIRES.

444. — Les roches sédimentaires sont constituées par des minéraux essentiels, auxquels se joignent des minéraux accessoires ou accidentels, provenant, comme les premiers, de la destruction, du transport et du dépôt des éléments de roches plus anciennes : certaines arkoses de l'Ardenne renferment de la tourmaline ; le zircon se retrouve microscopiquement dans les grès et les argiles de nos terrains secondaires et tertiaires.

A ces minéraux se joignent d'autres espèces produites par les actions décrites ci-après (§ 5).

445. — Les minéraux peuvent aussi se rencontrer dans les roches cristallophylliennes, dont l'origine a été expliquée précédemment (**421**) : le mica est un élément essentiel du micaschiste, comme le grenat en est un élément accessoire.

§ 3. — MINÉRAUX PNEUMATOLYTIQUES.

446. — Les minéraux peuvent être le résultat de phénomènes physiques ou chimiques dus à l'action de fluides émanés des magmas éruptifs et qui agissent, soit pendant, soit après l'éruption ou la solidification du magma. Ces fluides peuvent être à l'état gazeux, ou à l'état de vapeurs surchauffées, ou à l'état d'eaux thermales.

A l'état gazeux, les fluides émanés des magmas portent le nom de *fumerolles* ; l'activité des fumerolles est due surtout à la présence des *agents minéralisateurs* qu'elles contiennent : on désigne sous ce nom les éléments susceptibles de donner avec les métaux des combinaisons volatiles ou solubles ; tels sont le chlore, le fluor, le brome, le bore, le soufre, le phosphore, etc., et aussi l'eau elle-même qui, à haute température, agit comme un acide fort. On comprend ainsi que les fumerolles puissent être le véhicule de substances que l'on retrouve cristallisées à l'état de combinaisons insolubles dans nos dissolvants habituels.

Les *phénomènes pneumatolytiques* sont dus à cette action des fumerolles.

447. — Les réactions qui amènent pneumatolytiquement la formation des espèces minérales peuvent se produire, comme

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

nous l'avons vu (**21**), par perte d'éléments, ou par addition d'éléments, comme aussi par échange d'éléments ; dans les deux derniers cas, elles se passent, ou bien entre substances préexistant dans les fumerolles, ou bien entre ces substances et celles des dépôts que les gaz rencontrent sur leur passage. Il peut aussi se produire des cas de sublimation ou des précipitations de substances dissoutes. Nous donnerons ci-dessous quelques exemples classiques de ces productions minérales.

448. — En profondeur, les fumerolles ont pu pénétrer dans les fissures, les fentes, les interstices élémentaires des roches : ainsi s'explique l'imprégnation de granites par des cristaux de cassitérite, ce minéral résultant de la réaction :

$$SnFl^4 + 2\,H^2O = SnO^2\ (\textit{cassitérite}) + 4\,HFl.$$

L'action de l'hydrogène sulfuré H^2S sur les chlorures volatils donne naissance à des sulfures métalliques :

$$ZnCl^2 + H^2S = ZnS\ (\textit{blende}) + 2\,HCl.$$

$$2\,SbCl^3 + 3\,H^2S = Sb^2S^3\ (\textit{stibine}) + 6\,HCl.$$

Sous l'action de la chaleur, les pyrites se transforment en pyrrhotine et soufre :

$$7\,FeS^2 = Fe^7S^8 + 6\,S.$$

Sous l'action des courants électriques, l'or se dégage du chlorure d'or et cristallise.

449. — A la surface du sol, les fumerolles déposent de nombreux minéraux par sublimation : il en est ainsi pour le sel gemme, le salmiac, le soufre, la sassoline, le réalgar, le cinabre, etc.

La vapeur d'eau agit sur les chlorures pour former des oxydes métalliques :

$$Fe^2Cl^6 + 3\,H^2O = Fe^2O^3\ (\textit{oligiste}) + 6\,HCl$$

$$CuCl^2 + H^2O = CuO\ (\textit{ténorite}) + 2\,HCl.$$

Une réaction analogue donne de la silice, soit à l'état de quartz, soit à l'état de tridymite :

$$SiCl^4 + 2\,H^2O = SiO^2 + 4\,HCl.$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Il peut aussi se former du soufre :

$$SO^2 + 2\,H^2S = 3\,S + 2\,H^2O.$$

450. — Les fumerolles, en agissant sur les roches de la surface, peuvent produire un grand nombre de minéraux. L'anhydrite, plus ou moins mélangée de gypse, ainsi que l'alunite, résultent de l'attaque des roches calcaires et de tufs trachytiques par des gaz sulfhydriques s'oxydant à l'air ; la brucite, le périclase résultent de l'attaque de dolomies par la vapeur d'eau ; l'anorthite, l'apatite, le grenat, l'idocrase, la hauyne, la leucite, la sodalite, etc., sont des minéraux fréquents dans les bombes volcaniques et qui sont dus aux mêmes causes.

On a distingué, dans les dégagements des fumerolles, trois phases bien distinctes :

1° Une phase chloro-fluorée, qui ne se manifeste plus en dessous de 100° (et même en dessous de 500° pour le fluor), avec apparition d'acide sulfureux vers 400° ;

2° Une phase sulfurée aux environs de 100°, dans laquelle prédomine l'acide sulfhydrique avec un peu de chlorhydrate d'ammoniaque ;

3° Une phase carburée, en dessous de 100°, avec production d'anhydride carbonique provenant des hydrocarbures brûlés.

§ 4. — MINÉRAUX HYDROTHERMAUX.

451. — Les *eaux thermales* proviennent de la condensation des vapeurs d'eau émises par les magmas éruptifs. Ces eaux renferment, grâce à la température souvent élevée qu'elles ont acquise et qui est due surtout à l'influence de la chaleur interne, certaines substances parmi lesquelles l'une ou l'autre prédominante les a fait distinguer en diverses catégories : *eaux gazeuses*, *eaux salées*, *eaux sulfureuses*, *eaux ferrugineuses*, *eaux magnésiennes*, etc. Elles renferment également, en petites proportions, parfois en traces, un grand nombre d'éléments parmi lesquels se trouvent de nombreux métaux, ainsi que des acides, des gaz et des matières organiques ; enfin, presque toujours, elles sont radioactives.

Ces eaux sont l'objet d'une circulation très active *dans les fentes et les fissures* de l'écorce terrestre et apparaissent au jour en donnant lieu aux *sources thermales*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

452. — Les sources thermales déposent des minéraux variés parmi lesquels nous citerons la calcite, l'aragonite, le sel gemme, le gypse, la sidérite (qui se transforme immédiatement en limonite), etc. Ces dépôts s'expliquent par l'abaissement de la température, la diminution de pression, le dégagement d'anhydride carbonique, l'action de végétaux inférieurs, etc.

453. — En profondeur, l'action des eaux thermales est plus intéressante encore et les produits minéraux qu'elles ont occasionnés se présentent sous des formes qui leur donnent une grande importance industrielle. Leur effet réside principalement dans le remplissage des fentes et des fissures qui traversent l'écorce ; ces fentes et fissures remplies deviennent des *filons* et des *veines* (**407**).

Les matières amenées en solution dans les eaux se déposent pour des causes physiques ou à la suite de réactions chimiques. La dissociation des bicarbonates solubles explique la précipitation de la calcite, de la withérite, de la dolomite, de la sidérite, de la smithsonite, etc. Le quartz peut provenir de la décomposition des silicates alcalins sous l'influence de l'hydrogène sulfuré ou de l'acide carbonique. Les sulfures métalliques se déposent par suite de la décomposition par l'acide carbonique de sulfures doubles de métaux et d'alcalis. L'action d'eaux alcalines sur des silicates et des carbonates de chaux permet la formation des zéolithes, de la fluorine, de l'agate, de l'opale : ainsi s'expliquent notamment le remplissage des amygdales de roches éruptives. La radioactivité des eaux a dû avoir une influence encore peu connue : on sait par exemple que, sous cette action, le quartz noircit (*q. enfumé*).

§ 5. — MINÉRAUX DE CIMENTATION ET D'ALTÉRATION

454. — Indépendamment des eaux d'origine magmatique agissant par voie hydrothermale, circulent aussi dans l'écorce terrestre des eaux d'origine exclusivement atmosphérique qui pénètrent dans les roches,grâce à la porosité de celles-ci et forment en profondeur des nappes aquifères superposées, séparées, suivant les cas spéciaux de chaque endroit et dépendant de la structure géologique du sol, par des couches imperméables.

Ces eaux ont une action destructive telle, par exemple, que le creusement des cavernes, et une action productrice qui nous

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

intéresse seule ici, mais qui dépend, en fait, de la mise en solution de substances diverses au cours de l'action destructive.

455. — Lorsqu'il existe plusieurs nappes d'eau superposées, le niveau de la nappe supérieure (ou nappe phréatique) est le *niveau hydrostatique* (1) ; ce niveau hydrostatique sépare deux zones : l'une inférieure, complètement saturée d'eau sur l'épaisseur de la nappe, est dite *zone de cimentation* parce que les actions chimiques développées ont pour effet général de cimenter les éléments des roches ; l'autre, supérieure, est dite *zone d'altération* parce que les phénomènes chimiques dus à l'infiltration produisent principalement des transformations oxydantes de minéraux préexistants.

456. — Les effets dans la ZONE DE CIMENTATION sont d'ordres divers.

Il se produit des *agrégations* de cristaux autour d'un centre, d'une ligne ou d'une surface ; cette agrégation peut réunir des éléments déjà préexistants dans la roche ; la silice, par exemple, se concentre pour former les agrégats connus sous le nom de : cherts, phtanites, silex, mélinite. Il peut aussi se produire des échanges entre les éléments de la roche et ceux apportés par les eaux : les sulfates alcalins sont réduits par des matières organiques, et transformés en sulfures alcalins qui réagissent sur les sels de fer de la roche pour donner des rognons ou des agrégats de pyrite et de marcasite.

457. — Les vides et les espaces capillaires des roches peuvent se remplir de substances apportées par les eaux, ce qui produit une *recristallisation* ou une *imprégnation* : les sables peuvent se transformer en grès et en quartzites, les calcaires en marbres ; ainsi s'expliquent aussi les bois silicifiés, dans lesquels la matière organique a été attaquée par des silicates alcalins et transformée cellule par cellule.

Le remplissage de fissures non continues par des éléments de même nature que celui de la roche encaissante est dû aux mêmes causes : par exemple, les veines de calcite spathique dans les calcaires.

---

(1) La surface de ce niveau n'est pas horizontale ; elle dépend de diverses conditions, notamment de la surface topographique ; sa position varie d'ailleurs sous l'influence de précipitations atmosphériques et de l'évaporation.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

458. — Les phénomènes peuvent se compliquer par suite du mélange des eaux des nappes avec des eaux minérales : l'action du sulfate de zinc (provenant de l'oxydation de la blende) sur une roche carbonatée donnera de la smithsonite. De même, le calcaire peut se transformer en sidérite et celle-ci en oligiste et en limonite.

459. — Dans la ZONE D'ALTÉRATION les effets produits sont surtout des oxydations et des hydratations : les pyrites et marcasites se sulfatisent ; les sidérites passent aux limonites ; les pétroles se transforment en bitumes, l'anhydrite en gypse, l'olivine en serpentine, etc.

Les formations nouvelles qui se produisent dans cette zone d'altération (et souvent aussi dans la zone de cimentation) sont donc différentes des éléments de la zone non décomposée. Généralement, les minerais sulfurés sont remplacés par des minerais oxydés, par des carbonates, des sulfates et aussi par des métaux natifs, par des combinaisons chlorurées et par des phosphates.

On peut expliquer aussi comme suit la mise en solution de l'or métallique : de l'acide sulfurique résultant de l'oxydation de la pyrite agit sur le chlorure sodique toujours présent dans les roches et produit de l'acide chlorhydrique qui attaque des oxydes de manganèse avec dégagement du chlore ; ce chlore attaque l'or qui entre en solution à l'état de chlorure.

Mentionnons aussi l'importance des hydrocarbures comme agents réducteurs et précipitants : ainsi, certains filons argentifères de la Saxe deviennent spécialement riches au passage de roches charbonneuses.

460. — La *dolomitisation* peut s'expliquer par la présence d'acide carbonique dans l'eau, ce qui permet une dissolution du carbonate calcique des calcaires magnésiens et entraîne un enrichissement en dolomite ; elle peut aussi s'effectuer sous l'influence d'une solution de carbonate de magnésie.

461. — Ces considérations expliquent pourquoi les parties supérieures de gîtes minéraux sont transformées en donnant lieu à ce que l'on appelle les *chapeaux de fer*, parce que les sels de fer s'y trouvent sous forme de limonite ou d'oligiste avec leurs teintes jaunâtres ou rougeâtres. Les métaux qui, en profondeur, existent sous forme de sulfures, y sont transformés en minéraux

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

oxydés : le sulfate ferrique change la galène en anglésite ; si les eaux sont calcareuses, il se forme des carbonates : smithsonite, cérusite, phosgénite ; d'autre part, les métaux qui ont peu d'affinité pour l'oxygène se réduisent et s'isolent à l'état de métaux natifs, surtout l'argent et l'or.

462. — Les substances dissoutes dans la zone d'altération, entraînées vers le bas, peuvent agir sur les sulfures intacts de la partie supérieure de la zone de cimentation et y produire un enrichissement. Par exemple, s'il s'est produit du sulfate de cuivre ($CuSO^4$) soluble, ce sulfate, au contact de la pyrite, donnera :

$$5\ FeS^2 + 14\ CuSO^4 + H^2O = 7\ Cu^2\ S\ (\textit{chalcosine}) + 5\ FeSO^4 + 12\ H^2SO^4.$$

Il peut donc, vers le niveau hydrostatique, exister une zone spéciale, remarquable par la richesse en métaux : c'est la ZONE DE SÉGRÉGATION.

463. — Les transformations des minéraux décrites ci-dessus laissent des témoins dans les pseudomorphoses et les épigénies (**329** et **330**), dont l'étude permet donc souvent de préciser la nature des réactions qui se sont produites.

§ 6. — MINÉRAUX DES ROCHES MÉTAMORPHISÉES.

464. — Les actions dynamiques (**406**), qui ont modifié l'allure des roches sédimentaires, ont occasionné la production de cassures et facilité ainsi les réactions pneumatolytiques et de cimentation, expliquent les modifications importantes que la nature minéralogique de la roche a subies : nous avons déjà mentionné le changement de sables en grès et quartzites, de calcaires en marbres, etc.

Ces phénomènes peuvent être dus à un métamorphisme local. On doit y rapporter l'imprégnation des greisen par la cassitérite, la topazification et la tourmalinisation de roches granitiques, la transformation de calcaires cristallins en fluorine au contact de veines stannifères, la serpentinisation de roches péridotiques et d'autres roches magnésiennes, etc.

465. — La formation de la plupart des pegmatites (**399**) doit être rangée dans ce cas : il s'agit de pegmatites provenant de la

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

consolidation d'une portion d'un magma granitique très acide et très riche en eau et en minéralisateurs. Aussi ces pegmatites sont-elles accompagnées de nombreux minéraux borés, chlorés et fluorés (tourmaline, topaze, axinite, fluorine, apatite) et de minéraux accessoires renfermant des éléments chimiques peu communs ou rares : la glucine dans l'euclase et le béryl, le niobium dans la columbite, le cérium et le thorium dans la monazite, etc.

§ 7. — MINÉRAUX DES ÉVAPORATIONS SALINES.

466. — L'évaporation de bassins lacustres et de lagunes isolées amène le dépôt des substances qui se trouvaient dissoutes dans ces eaux, telles que le sel marin, le gypse, la carnallite.

L'arrivée de substances réductrices dans le bassin peut provoquer de nouvelles réactions : c'est ainsi que, d'après des expériences de Cesàro, l'arrivée d'eau chargée de sulfate ferreux (après passage sur les dépôts pyriteux) peut, dans un bassin lacustre à fond calcareux, amener la formation de gypse et de limonite oolithique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE II

SYNTHÈSE DES MINÉRAUX

467. — De nombreuses expériences ont été faites en vue de la reproduction artificielle de minéraux avec tous les caractères physiques et chimiques des minéraux naturels.

Il faut noter cependant à ce sujet que les méthodes employées dans les laboratoires, quoique se rapprochant plus ou moins de celles employées par la nature, ne peuvent leur être tout à fait identiques ; tout d'abord, en effet, la nature possède un facteur qui n'est pas à notre disposition : le temps. Des solutions très diluées et froides, mais se succédant sans cesse, peuvent agir avec autant et plus d'influence que les solutions concentrées et chaudes que nous employons en vue de produire les réactions désirées ; il peut en résulter des modifications dans les produits obtenus.

468. — On a reproduit plusieurs minéraux en laissant simplement refroidir après fusion une ou plusieurs substances mélangées dans les proportions voulues. Il en est ainsi du soufre, du bismuth, de la stibine, de la leucite. Parfois, l'intervention d'un dissolvant (la fonte pour le graphite et le diamant, le sel gemme pour l'apatite) est nécessaire pour donner aux molécules la mobilité indispensable à la formation du réseau cristallin.

On peut aussi, à l'état de fusion, provoquer une réaction chimique : la silice et l'alumine, dissoutes dans du tungstate de soude, ont donné de l'albite, après fusion à 900° ; avec le tungstate de potasse, on obtient de l'orthose (Hauttefeuille).

469. — Les minéraux s'obtiennent également par volatilisation avec ou sans réaction chimique.

Les sulfures métalliques ont été ainsi reproduits par l'action de l'acide sulfhydrique sur des chlorures, au rouge (Durocher) ; la cassitérite par l'action de la vapeur d'eau sur le fluorure d'étain (Sainte-Claire Deville) ; l'oligiste par l'action de la vapeur d'eau sur le chlorure ferreux (Gay-Lussac).

Le gaz ou la vapeur peuvent agir sur un corps solide : l'argyrose

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

résulte de l'attaque par l'hydrogène sulfuré de l'argent métallique porté au rouge (Troost).

470. — Par voie humide, on peut agir d'abord par simple évaporation (sel gemme, gypse).

On peut également modifier la nature du dissolvant, ce qui amène la précipitation du corps dissous : ainsi, le carbonate de cuivre dissous dans du carbonate ammonique est soumis à une douce température ; à mesure que le carbonate ammonique se volatilise, il se dépose de la malachite (Schulter). Du chromate de plomb est dissous dans une solution de potasse ; par exposition à l'air, la potasse se carbonatise et le chromate cristallise sous forme de crocoïse (Cesàro).

On peut enfin produire des réactions chimiques ; l'attaque du verre par l'eau surchauffée a produit des cristaux de quartz et des globules de calcédoine (Daubrée). Le gypse, soumis à l'action d'une dissolution de bicarbonate sodique, se transforme en aragonite (Becquerel).

471. — Nous bornerons là les exemples choisis dans les très nombreuses expériences de synthèse minéralogique, dont les résultats ont surtout fait nettement distinguer les minéraux qui, dans la nature, se sont produits par fusion de ceux produits par dissolutions hydrothermales. Nous ajouterons seulement quelques exemples de formation de minéraux produits soit spontanément, soit accidentellement.

472. — Parmi les formations spontanées, nous citerons les minéraux des laves actuelles, tels que la sassoline, l'anhydrite, l'anorthite, le grenat, l'idocrase, la hauyne, la sodalite, le zircon ; les minéraux des sources chaudes : le quartz, la fluorine, la pyrite, la calcite, l'aragonite, le cinabre ; les minéraux de geysers [1] : la geysérite, le soufre ; les minéraux des sources froides : le sel gemme, la glauconie ; les minéraux des sources pétrolifères : l'ozocérite, l'opale ; les minéraux produits par des micro-organismes : la calcite, le soufre, la limonite.

473. — Parmi les formations accidentelles, on peut distinguer tout d'abord les minéraux cristallisés au cours des opérations

---

[1] Ce sont des sources intermittentes, projetant, à intervalles plus ou moins réguliers, des colonnes d'eau bouillante et de vapeurs.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

métallurgiques : le péridot, la fayalite, les pyroxènes, le mica. Dans les masses provenant de la démolition de fours de verrerie, on trouve souvent de la wollastonite. Dans un ancien crassier métallurgique qui fut soumis à une combustion spontanée, il s'est formé une roche dans laquelle on a reconnu de la fayalite, de la leucite, des feldspaths et de la magnétite.

Les incendies de mines et de houillères ont amené la formation de feldspaths, de pyroxènes, de chalcosine, de galène, d'oligiste, de réalgar, de vivianite, etc.

Enfin, l'étude des anciennes constructions romaines faites en vue du captage de sources chaudes a donné de nombreux minéraux formés au cours des siècles par l'action des eaux, soit sur les métaux, soit sur les matériaux silico-calcareux ; citons : la tétraédrite, la chalcosine, la chalcopyrite, la galène, la pyrite, la calcite, le gypse, l'anglésite, des zéolites, etc.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CHAPITRE III

GITES MINÉRAUX

474. — Si l'on a en vue des minéraux exploités par l'homme, et tout spécialement les minerais (**3**), il est utile de rechercher dans quelles circonstances il a pu se produire une concentration de la substance utile en quantité telle qu'elle puisse être exploitée, puisque ce n'est que dans certaines conditions, variables d'ailleurs d'après la substance recherchée, qu'une exploitation peut être conduite avec profit, ainsi que nous l'avons fait remarquer précédemment (**7**).

Or, si l'on tient compte de ce qui a été dit (n° **440** à **466**) sur la formation des minéraux, l'origine première de toutes les substances minérales doit être recherchée dans les magmas éruptifs. Une classification des gîtes minéraux se fera donc logiquement en partant de cette origine première et en suivant les substances minérales, transformées ou non par les actions dont nous avons donné des exemples, au cours de leur transport plus ou moins éloigné des magmas vers les gîtes où l'homme les extrait actuellement.

L'expérience prouve que ce genre de classification a une portée pratique incontestable.

475. — Si le minéral utilisable se présente dans une roche éruptive au même titre que les autres constituants de la roche, on aura un GITE D'INCLUSION qui, dans certaines conditions tout à fait spéciales, pourra être exploité tel quel.

Dans les roches basiques, l'exemple typique est donné par les cheminées verticales (**342**) de l'Afrique Australe, remplies d'une brèche péridotique où l'on exploite le diamant à une teneur moyenne de 1 carat par mètre cube. Un autre gisement industriel est celui des péridotites de l'Oural, qui contenaient jusque 23 grammes de platine à la tonne. Le plus souvent cependant, ces gîtes ne deviennent intéressants que dans leurs produits de désagrégation.

Dans les roches acides, on peut citer les greisen imprégnés de cassitérite, qui donnent une teneur en étain atteignant 0,5 p. c.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

476. — Les gîtes d'inclusion ne deviendront cependant généralement exploitables que s'il s'est produit une différenciation du magma (**371**) ayant amené une concentration, par masses plus ou moins étendues, de la substance utile ; cette différenciation paraît due, soit à une simple liquation dans le bain igné, soit à l'intervention de l'eau et des minéralisateurs : elle donne les GITES DE SÉGRÉGATION.

Ainsi s'expliquent la plupart de gîtes de fers titanés, où l'on voit l'ilménite s'isoler en nodules dans des norites, la magnétite se concentrer dans des diorites et des gabbros. De nombreux amas de pyrites et de chalcopyrites sont classés aujourd'hui dans cette catégorie de gîtes.

477. — Les ségrégations peuvent amener une séparation plus ou moins complète du gîte exploitable et de la roche-mère, et donner des amas situés sur les bords du massif éruptif. Ce sont les GITES DE DÉPART dont nous donnerons comme exemple les masses de pyrrhotine nickelifère réparties en Norvège sur la circonférence d'un massif de norite.

478. — Les GITES DE CONTACT se rapprochent des gîtes de départ, mais les minerais y sont plus nettement le résultat de réactions simultanées par voie ignée et par voie pneumatolytique. Un cas typique est celui de Franklin (New Jersey), où une pegmatite zirconifère traverse un calcaire avec production de franklinite, willémite, zincite, blende, diallogite, magnétite, etc.

479. — Les GITES D'IMPRÉGNATION sont dus au remplissage des pores et des interstices d'une roche par des produits de pneumatolyse ; il se rencontrent surtout, mais pas exclusivement dans les schistes des zones métamorphiques ; l'imprégnation a pu se faire par couches ou par lits espacés, ou sous forme de lentilles irrégulières, ou encore par remplissage complet de tous les pores.

Ces gîtes sont fréquents ; nous citerons les poudingues à ciment aurifère du Transvaal, les dépôts à cinabre d'Almaden, les schistes cuivreux du Mansfeld, les couches à malachite et chrysocole du Katanga.

480. — Les GITES MÉTASOMATIQUES sont dus principalement à l'action des eaux descendantes, mais aussi aux phénomènes pneumatolytiques. Ils sont le résultat de la dissolution de sub-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

stances solides de la roche et du remplacement des parties dissoutes par d'autres matières apportées par les eaux. On comprend donc qu'ils proviennent presque toujours de la transformation de roches calcareuses ou dolomitiques, remplacées par de la smithsonite, de la sidérite, de la cérusite, rarement par des sulfures de fer et de cuivre. Le remplacement peut intéresser des couches entières, sur de grandes étendues ; il peut aussi être limité au voisinage de fentes filoniennes.

Les gisements plombo-zincifères de Moresnet et du Bleyberg rentrent dans ce cas. Les gîtes d'hématite et de limonite de Bilbao, les gîtes de manganèse de la Lienne, les gîtes plombifères du Monte Poni en sont d'autres exemples. On doit y rapporter également les gisements de phosphorites de Belgique, de la Tunisie et de la Floride.

481. — Les GITES D'ÉVAPORATION forment aussi une catégorie spéciale ; le puissant gîte de Stassfurt en est un exemple classique.

Nous plaçons ici les NAPPES PÉTROLIFÈRES ; le pétrole remplit les interstices des roches, mais est accompagné de gaz hydrocarburés sous une pression plus ou moins forte, provoquant l'ascension du minéral par les fissures et les conduits naturels ou artificiels qui font communiquer la nappe avec le sol.

482. — Les GITES FILONIENS ont une importance considérable dans les exploitations minières. Nous les avons définis plus haut (**407**).

Les fractures métallisées sont le plus souvent presque verticales et traversent les terrains encaissants dans une direction oblique à celle de leurs strates (fig. 267) ; parfois elles s'intercalent entre des couches sédimentaires en donnant les FILONS-COUCHES. On peut avoir affaire à des fractures isolées ou à des réseaux très compliqués de fractures s'entrecroisant. Les dimensions des filons sont très variables, s'étendant en moyenne sur 500 à 1000 m. de longueur (1), avec des épaisseurs variant de quelques millimètres à plusieurs mètres. Le remplissage est dû principalement à l'action des eaux minérales, mais des phénomènes de cimentation, de cémentation et d'altération ont souvent transformé les dépôts primitifs.

(1) Le filon de quartz aurifère du Mother-Lode, en Californie, a été reconnu sur 112 kilomètres.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Parmi les nombreux gîtes filoniens, nous citerons les filons aurifères de Californie, les filons de blende-pyrite-galène de la Saxe, les filons argentifères du Mexique, les filons plombifères du Sud de l'Espagne, etc.

483. — Les GITES DÉTRITIQUES proviennent de la désagrégation des gîtes d'une des catégories précédentes et de leur remaniement par les eaux courantes de la surface du sol. Il se produit alors une première classification des éléments par dureté et une deuxième par densité, mais des réactions chimiques peuvent aussi intervenir et donner lieu à un enrichissement : ainsi l'or, dissous à l'état de chlorure (**459**), peut être précipité sous l'influence de matières réductrices et donner des pépites volumineuses dans des alluvions provenant de la destruction de roches où le métal n'existe qu'inclus microscopiquement dans des pyrites.

Les dépôts détritiques où existent des accumulations locales de minéraux recherchés prennent le nom de PLACERS : on les exploite surtout pour l'or, le platine (1), le diamant, le saphir, le rubis, la topaze, le zircon, la cassitérite, la magnétite, la monazite, etc. On peut distinguer :

1° Les *éluvions* qui sont dues à une destruction de roches sans transport lointain ; les éluvions, n'ayant pas été soumises à un enrichissement mécanique suffisant, sont rarement utilisables, sauf parfois pour l'or et la cassitérite.

2° Les *dépôts glaciaires* formés par des accumulations morainiques, ainsi qu'il en est pour certains gîtes aurifères du Pérou ;

3° Les *dépôts fluviatiles*, qui sont de loin les plus importants et qui, suivant leur âge, peuvent occuper des niveaux situés en dessous des cours d'eaux actuels ou des niveaux élevés au-dessus des vallées et qui peuvent être aussi recouverts par d'autres alluvions ou par des nappes éruptives. Citons les alluvions aurifères de Californie, du Klondyke, de Kilo (Congo belge), les alluvions diamantifères du Kasaï (Congo belge), du Brésil, de Bornéo ; les alluvions platinifères de l'Oural ; les alluvions stannifères de Malaisie et du Katanga ; les sables monazités du Brésil et des Carolines, etc. ;

4° Les *dépôts littoraux* qui sont dus au remaniement par la mer de roches diverses, remaniement qui a pu provoquer une

(1) Le platine est toujours accompagné d'iridium, osmium, palladium, etc.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

concentration de matières dures et lourdes ; c'est le cas de sables aurifères à magnétite de la côte de Californie ; les couches diamantifères du Namaland, quoique d'âge triasique, peuvent rentrer dans cette catégorie.

484. — Les minéraux utiles sont souvent accompagnés dans les alluvions d'autres minéraux provenant des mêmes roches et dont la connaissance est très profitable au cours de la prospection. Exemples : la chromite est un *satellite* du platine ; le cinabre accompagne souvent l'or ; la topaze et la tourmaline se rencontrent avec la cassitérite.

De même, la pratique a mis en évidence l'*association* fréquente de divers minéraux dans leurs gisements. C'est ainsi que se trouvent très souvent réunis :

la blende avec la galène, la pyrite et la marcasite ;
la nickéline avec la breythauptite ;
la cassitérite avec le wolfram ;
la tétraédrite avec la sidérite ;
le pétrole avec le sel et le gypse ;
la chalcopyrite avec la pyrite et le quartz ;
la galène, avec la barytine, la calcite et la fluorine ;
l'or avec la cassitérite et le quartz (1).

485. — Résumant ce qui précède, on peut dire que, pour chaque espèce minérale, le mode de gisement doit appartenir à l'une ou l'autre des catégories suivantes :

1) *Dans les roches éruptives.* — Un minéral peut être l'un des éléments essentiels des roches éruptives ; il peut être aussi un de ses éléments accessoires ou même accidentels. Ainsi, le quartz est un élément essentiel du granite ; l'amphibole est un élément acces-

(1) Signalons ici que certaines plantes sont habituelles des lieux qui renferment certains métaux. C'est ainsi que la *viola lutea* (violette des calamines) se rencontre sur tous les affleurements des minerais de zinc. Les affleurements de minerai d'argent sont souvent décelés par la présence de l'*erigonium ovaliformatum* et ceux de cuivre par la *polycarpea spirostyles* ; en Australie, les gisements de cuivre sont indiqués par des caryophillées ; il en est de même au Katanga ; le plomb est souvent caractérisé par la présence de l'*amorpha canescens*, les phosphates par la *convolvulus altheoides*. On comprend aussi que les variétés des plantes croissant sur des roches différentes peuvent être mises à profit dans la recherche des gisements : en Californie, certains buissons à fleurs blanches, très avides d'eau, se trouvent là où les galets aurifères font place aux roches du fond et ils en déterminent ainsi les limites.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

soire de la même roche ; le diamant est un élément accidentel de la kimberlite.

2) *Dans les roches sédimentaires.* — Ces roches sont constituées par des minéraux essentiels auxquels se joignent des minéraux accidentels ou accessoires provenant, comme les premiers, de la destruction, du transport et du dépôt des éléments de roches plus anciennes ; certaines arkoses de l'Ardenne renferment de la tourmaline ; le zircon se retrouve microscopiquement dans les grès et des argiles.

Une mention spéciale doit être accordée aux *alluvions* qui renferment fréquemment des minéraux recherchés, comme l'or et le diamant. Les alluvions peuvent être anciennes ou récentes.

3) *Dans les roches cristallophylliennes.* — Un minéral peut être également essentiel, accessoire ou accidentel de ces roches ; le mica est un minéral essentiel du micaschiste, comme le grenat en est un élément accessoire.

4) *Dans les roches métamorphisées.* — Les actions dynamiques qui ont transformé les roches sédimentaires ont pu occasionner la formation de minéraux qui deviennent des minéraux accessoires ou accidentels de ces roches ; ainsi la magnétite parsème certains phyllades de l'Ardenne.

D'autre part la venue d'une roche éruptive a produit souvent des transformations importantes dans les roches qu'elle traversait, conduisant à un *métamorphisme local* qui, dans les zones de contact, amène la formation de certaines espèces minérales ; le cordiérite et le grenat, par exemple, se trouvent dans des micaschistes au contact de granulites.

5) *Dans les filons.* — Les fentes et cassures de l'écorce sont souvent remplies de minéraux apportés sous l'action de gaz, de vapeurs, d'eaux circulantes. La grande majorité des *minerais* exploités, comme la galène, proviennent de gîtes filoniens.

6) *Produits d'altération.* — Les minéraux de l'un des gisements précédents peuvent s'altérer et donner de nouvelles espèces minérales : l'olivine se transforme en serpentine ; la galène donne, dans ses filons, de l'anglésite et de la cérusite.

7) *Inclusions.* — Les minéraux des roches ou des filons peuvent inclure dans leurs cristaux, des cristaux microscopiques d'autres substances minérales ; il en est ainsi du mica noir, qui renferme souvent des cristaux de zircon (**282**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

COMPLÉMENTS

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

COMPLÉMENTS

CRISTALLOGRAPHIE GÉOMÉTRIQUE

486. — Nous avons vu précédemment (38) que, si l'on considère les différents éléments de symétrie (centre, axes, plans) que peut posséder un réseau, l'ensemble de ces éléments, c'est-à-dire le symbole de symétrie, peut être choisi parmi sept combinaisons seules possibles. Nous allons démontrer dans ce qui suit cette particularité importante des édifices cristallins.

A. — SYMÉTRIE DES POLYÈDRES

487. — THÉORÈME I. — *Dans tout polyèdre, les axes de symétrie et les plans de symétrie se coupent au centre de gravité.*

En effet, en cas contraire, comme la symétrie exige qu'une deuxième position du polyèdre par rapport à un axe ou à un plan de symétrie soit identique à la première, on aurait plus d'un centre de gravité.

COROLLAIRE. — Si le polyèdre est centré, le centre de symétrie coïncide avec le centre de gravité.

488. — DÉFINITIONS. — Dans tout axe de symétrie, on peut distinguer deux parties situées de part et d'autre du centre de gravité. L'axe total (ou *axe composé*) est donc formé de deux axes simples. Deux axes simples sont dits *de même espèce* lorsqu'on peut introduire le polyèdre dans son moule en y mettant l'un des axes à la place que l'autre y occupait.

Un axe d'ordre n est donc composé de deux axes simples d'ordre n qui peuvent être de même espèce ou d'espèces différentes ; ainsi, la droite qui joint les milieux de deux faces opposées du cube est un axe quaternaire composé de deux axes simples de même espèce ; la hauteur d'une pyramide régulière dont la base a n côtés est formée de deux axes simples d'espèces différentes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On désignera un axe simple par λ^n. Ainsi, dans le cube, l'axe quaternaire sera noté : $\Lambda^4(\lambda,\lambda)^4$. L'axe d'une pyramide régulière sera noté : $\Lambda^n(\lambda,\lambda')^n$.

Un axe composé de deux axes simples de même espèce est dit *isopolaire*, tandis que l'axe composé de deux axes simples λ et λ' est dit *hétéropolaire*.

Un axe d'ordre pair Λ^{2n} est aussi un axe binaire.

489. — THÉORÈME II. — *Tout polyèdre qui possède un plan de symétrie et un centre possède aussi un axe d'ordre pair perpendiculairement au plan de symétrie.*

Soient (fig. 268) P le plan, C le centre, A un sommet. Le sommet symétrique de A par rapport au plan P est B et le sommet symétrique de B par rapport au centre est D. Le plan ABD est normal au plan P et contient donc la droite CM normale à P en C. Les triangles restangles EBC et ABD sont semblables et, comme AE = EB, on a EC = AM = MD. Donc le sommet D est le symétrique de A par rapport à la droite CM qui est un axe de symétrie d'ordre $2n$.

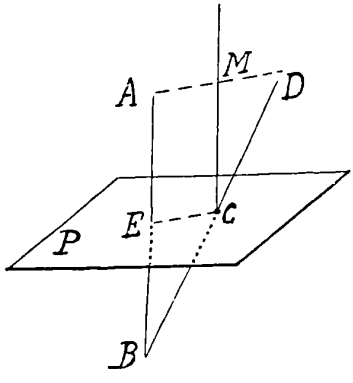


Fig. 268.

490. — THÉORÈME III. — *Tout polyèdre qui possède un axe d'ordre pair et un plan de symétrie perpendiculaire possède un centre.* (Démonstration analogue).

491. — THÉORÈME IV. — *Tout polyèdre qui possède un axe d'ordre pair et un centre possède un plan de symétrie normal à l'axe.* (Démonstration analogue).

COROLLAIRE. — Un plan passant par le centre et normal à un axe d'ordre impair ne peut être un plan de symétrie.

492. — THÉORÈME V. — *Lorsqu'un polyèdre possède en tout n axes d'ordre pair dans un plan, deux axes consécutifs font entre eux un angle* $\frac{\pi}{n}$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Prenons en effet (fig. 269) trois axes *consécutifs* et supposons $\alpha < \beta$. En faisant tourner le polyèdre de 180° autour de OB, l'axe OA vient en OD et, comme il y a restitution, l'axe OD est un axe d'ordre pair plus voisin de OB que OC, ce qui est contraire à l'hypothèse.

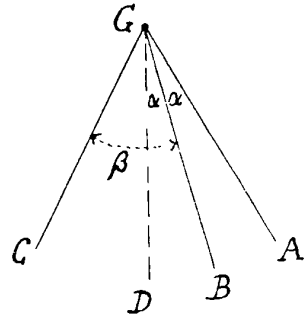


Fig. 269.

S'il y a n axes dans le plan, ou $2n$ axes simples, comme ces axes font entre eux des angles égaux, l'espace 2π autour du centre est divisé en $2n$ parties égales et l'angle de deux axes simples consécutifs est $\frac{\pi}{n}$.

493. — THÉORÈME VI. — *Lorsqu'un polyèdre possède en tout n axes d'ordre pair dans un plan, il possède aussi un axe* Λ^n *perpendiculairement au plan.*

Réciproquement, *si, perpendiculairement à un* Λ^n, *il y a un axe d'ordre pair, il y a en tout n axes d'ordre pair dans le plan perpendiculaire au* Λ^n.

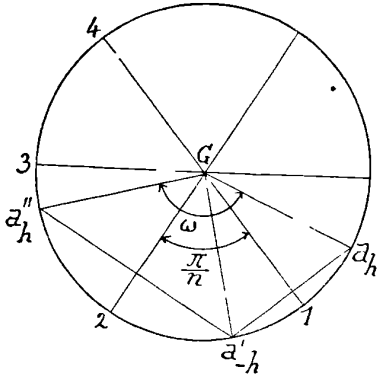


Fig. 270.

1° Prenons (fig. 270) pour plan de la figure un plan dans lequel existent n axes d'ordre pair. Soient G1, G2 deux axes consécutifs $\left(\text{faisant entre eux l'angle } \frac{\pi}{n}\right)$. Soit a_h la projection sur le plan d'un sommet A situé à une hauteur h au-dessus du plan. Faisons tourner le polyèdre de 180° autour de G1. Le sommet A vient en un point A′, situé à une hauteur — h en dessous du plan et se projetant en a'_{-h}; ce sommet A′ était donc un sommet dans la position initiale. Une rotation autour de G2 amènera A′ en A″ (se projetant en a''_h) à une hauteur h au-dessus du plan et A″ était donc aussi un sommet dans la position initiale. On voit que $\omega = \frac{2\pi}{n}$ et, par conséquent, une rotation de $\frac{2\pi}{n}$ autour

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de G amène le sommet A en A''. Donc *la normale au plan des n axes d'ordre pair est un axe d'ordre n ou kn.*

2° Soient G un axe d'ordre n et G1 un axe d'ordre pair. Soient A'' un sommet du polyèdre (se projetant en a''_h) et A la position qu'il prend après rotation autour de G d'un angle $\frac{2\pi}{n}$. Soit A' la position du sommet après rotation de 180° autour de G1. Menons G2 perpendiculaire au plan $A''a''_h A'a'_{-h}$. On voit facilement que l'angle 1G2 est égal à $\frac{\pi}{n}$ et qu'une rotation de 180° autour de G2 amène A' en A'' ; donc G2 est un axe d'ordre pair. Il suit de là qu'il existe normalement à G au moins n axes d'ordre pair faisant entre eux des angles $\frac{\pi}{n}$. Il ne peut exister d'autre axe d'ordre pair dans le même plan ; car, d'après le 1° ci-dessus, l'axe G serait en ce cas d'un ordre supérieur à n. Donc, *si perpendiculairement à un* Λ^n *il y a un axe d'ordre pair, il existe en tout n axes d'ordre pair dans le plan normal au* Λ^n.

3° On a vu que l'axe G, normal au plan dans lequel il y a n axes d'ordre pair, est un axe d'ordre n ou kn. Or, il ne peut être d'un axe supérieur à n, sinon, d'après le 2°, il y aurait plus de n axes d'ordre pair dans le plan normal à G, ce qui est contraire à l'hypothèse. Donc *la normale au plan dans lequel il y a n axes d'ordre pair est un* Λ^n.

494. — THÉORÈME VII. — *Si l'on considère tous les plans de symétrie passant par une droite, ces plans font entre eux deux à deux des angles* $\frac{\pi}{n}$. (Démonstration analogue à celle du théorème V).

495. — THÉORÈME VIII. — *Lorsqu'un polyèdre possède en tout n plans de symétrie passant par une droite, cette droite est un axe d'ordre n.*

Réciproquement, *lorsque, suivant un axe* Λ^n, *il y a un plan de symétrie, il y a en tout n plans de symétrie se coupant suivant le* Λ^n. (Démonstration analogue à celle du théorème VI).

496. — THÉORÈME IX. — *Si un polyèdre possède, dans un plan de symétrie, en tout N axes d'ordre n, P axes d'ordre p, Q axes d'ordre q, etc., le nombre total* P *des plans de symétrie du polyèdre est donné par la formule :*

$$P = 1 + N(n - 1) + P(p - 1) + \ldots\ldots$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En effet, l'intersection de deux plans de symétrie est un axe de symétrie (th. VIII). Donc, pour avoir le nombre P, il suffira de compter tous les plans de symétrie passant par chaque axe contenu dans le plan considéré S. Or, par chaque Λ^n, il y a, (sans compter S), $(n-1)$ plans de symétrie ; par chaque Λ^p, il y a de même $(p-1)$ plans de symétrie, etc. Donc, etc.

Exemple. — Dans le cube (fig. 37), il y a trois plans de symétrie Π parallèles aux faces et 6 plans de symétrie P parallèles aux plans diagonaux ; soit en tout 9. Or chaque plan Π contient $2\ \Lambda^4$ et $2\ L^2$, ce qui donne :

$$N = 1 + 2.3 + 2.1 = 9$$

Chaque plan P contient un Λ^4, deux Λ^3 et un L^2, ce qui donne :

$$N = 1 + 1.3 + 2.2 + 1.1 = 9$$

497. — THÉORÈME X. — *Les combinaisons d'axes multiples qui peuvent exister dans un polyèdre sont au nombre de trois seulement :*

$$1^o \quad 12\ \lambda^5.20\ \lambda^3.30\ \lambda^2$$
$$2^o \quad 6\ \lambda^4.\ 8\ \lambda^3.12\ \lambda^2$$
$$3^o \quad 4\ \lambda^3.\ 4\ \lambda'^3.\ 6\ \lambda^2.$$

A. — Décrivons une sphère (fig. 271) de rayon quelconque et ayant comme centre le point d'intersection des divers axes multiples. Soit A le pôle d'un axe multiple simple λ^p. Il existe certainement un autre axe simple de même ordre et de direction différente, car la rotation autour d'un axe multiple d'un autre ordre (qui existe nécessairement) amène l'existence de λ^p différents de A. Soit donc B le pôle d'un λ^p choisi aussi près que possible de A. Traçons l'arc de grand cercle AB. Une rotation $\frac{2\pi}{p}$ autour de B amène A en C qui

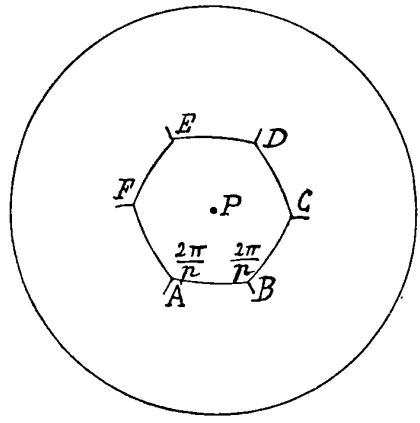


Fig. 271.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

est donc aussi le pôle d'un λ^p puisqu'il y a restitution du polyèdre. On obtiendra de même les pôles D, E, F, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on revienne au point de départ A : ce qui arrivera nécessairement, sans quoi il existerait un λ^p plus proche de A que B. Les pôles d'axes λ^p formeront donc les sommets d'un polygone régulier sphérique ayant P comme pôle et dont tous les angles sont égaux à $\frac{2\pi}{p}$.

B. — Soit q le nombre de côtés du polygone, et *supposons q impair*, par exemple égal à 3. Montrons (fig. 272) que le pôle P est, dans ce cas, le pôle d'un axe λ^q (ici λ^3). Soient, en effet, A, B, C les pôles des trois λ^p et soit 1 un sommet du polyèdre, sommet que nous pouvons supposer sur la sphère qui est de rayon arbitraire. Une rotation $\frac{2\pi}{3}$ autour de A amènera 1 en 2 ; une même rotation autour de C amènera 2 en 3 et des rotations autour de B et C amèneront 3 et 1 en 4, 5 et 6. Si, des différents sommets, nous abaissons des arcs de grand cercle normaux aux côtés du triangle ABC, on voit aisément que les triangles hachurés sur la figure sont égaux entre eux, que $2P = 4P = 5P$ et que les angles 5P4, 4P2 et 2P5 sont égaux entre eux et, par conséquent, égaux à $\frac{2\pi}{3}$. Donc P est le pôle d'un axe λ^3 et ne peut être le pôle d'un axe d'ordre supérieur à 3, vu que ABC n'a que 3 côtés. Donc, *si q est impair, le pôle* P *est un axe d'ordre q.*

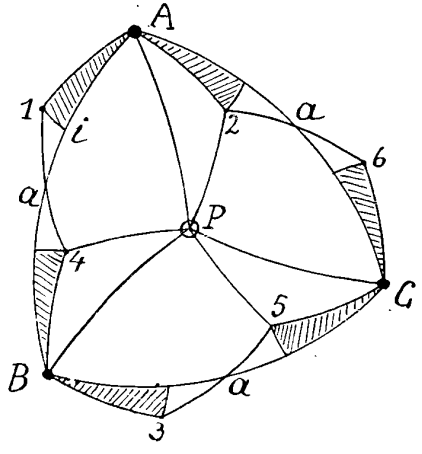


Fig. 272.

D'autre part, joignons 1 à 4 par un arc de grand cercle qui coupe AB en *a*. Il est aisé de voir que les triangles rectangles opposés en *a* sont égaux entre eux et que $a1 = a4$. Il suit de là que *les bissectrices a des angles que font entre eux les* λ^p *sont des axes binaires.*

C. — Supposons maintenant que *q soit pair*, par exemple égal à 4 (fig. 273) et soit 1 un somment du polyèdre. Une rotation autour du λ^p dont le pôle est A amène 1 en 2 et une rotation autour de D

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

amène 2 en 4. On voit donc que P est le pôle d'un axe binaire quoiqu'il puisse cependant être quaternaire ; P est donc le pôle d'un axe d'ordre q ou $\frac{q}{2}$. Si l'ordre est $\frac{q}{2}$, les bissectrices des angles AD, DB, etc., ne peuvent être des axes binaires, mais si l'ordre de l'axe P est q, ces bissectrices sont des axes binaires.

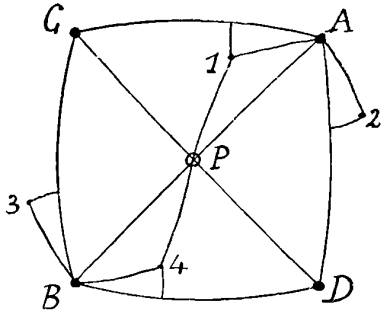


Fig. 273.

D. — Faisons maintenant (fig. 271) tourner le polygone sphérique ABCDE d'un angle $\frac{2\pi}{p}$ autour de B de façon que BC vienne sur AB ; nous formerons ainsi un nouveau polygone ayant un côté commun avec le premier. D'ailleurs, autour de B nous pourrons dessiner p polygones semblables et, en continuant les rotations, nous finirons par couvrir la sphère de polygones réguliers égaux et contigus ; nous reviendrons finalement au point de départ ; autrement, on finirait par trouver un pôle λ^p plus proche de A que B.

La surface S d'un polygone sphérique a pour mesure l'excès de la somme de ses angles sur autant de fois deux droits qu'il y a de côtés moins deux ; donc :

$$S = q\frac{2\pi}{p} - \pi(q-2) \qquad (1)$$

Si N est le nombre de polygones recouvrant la sphère, c'est-à-dire aussi le nombre des λ^q ou $\lambda^{\frac{q}{2}}$, on a :

$$4\pi = N \times S. \qquad (2)$$

Le nombre A des arêtes du polyèdre sphérique (qui est le nombre des axes binaires si q est impair) est évidemment :

$$A = \frac{1}{2} qN$$

et le nombre s de ses somments (qui est le nombre de λ^p) est donné par a formule d'Euler :

$$s = A - N + 2$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On aura donc les combinaisons :

si q est impair : $\mathrm{s}\,\lambda^p, N\,\lambda^q, A\,\lambda^2$

si q est pair : $\mathrm{s}\,\lambda^p, N\,\lambda^q, \mathrm{A}\,\lambda^2$ ou $\mathrm{s}\,\lambda^p, \mathrm{N}\,\lambda^{\frac{1}{2}}$.

Or, des formules (1) et (2), on tire :

$$N = \frac{4}{\frac{2q}{p} - q + 2}$$

et, en posant $p = x + 2$, et $q = y + 2$:

$$N = 4\,\frac{x+2}{4 - xy}$$

Mais N doit être réel et entier ; on doit donc avoir $xy < 4$, ce qui conduit à dresser le tableau suivant :

	x	y	p	q	N	A	s
I	3	1	5	3	20	30	12
II	2	1	4	3	8	12	6
III	1	3	3	5	12	30	20
IV	1	2	3	4	6	12	8
V	1	1	3	3	4	6	4

Les combinaisons I et III donnent :

$$12\,\lambda^5 . 20\,\lambda^3 . 30\,\lambda^2 ;$$

les combinaisons II et IV :

$$6\,\lambda^4 . 8\,\lambda^3 . 12\,\lambda^2 ;$$

cependant, q étant pair dans IV, on peut aussi avoir :

$$8\,\lambda^3,\ 6\,\lambda^2$$

ce qui est identique à V.

Telles sont les seules combinaisons d'axes possibles dans un polyèdre ayant plusieurs axes multiples.

B. — SYMÉTRIE DES RÉSEAUX

498. — Dans ce qui suit, le réseau doit être supposé illimité. Tous les nœuds sont donc des centres de symétrie, c'est-à-dire

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

que, si l'on joint un nœud N_1 à un autre nœud N et si l'on prolonge NN_1 de l'autre côté de N d'une quantité égale, on trouvera un autre nœud N_2 du réseau.

Il résulte également de la manière même dont a été construit le réseau que, si l'on donne au réseau une translation parallèle à une rangée et égale au paramètre de cette rangée, ou à k fois ce paramètre (k étant un nombre entier), tous les nœuds sont restitués.

Une droite aura une symétrie d'ordre n lorsque, par une rotation de $\frac{2\pi}{n}$ autour de cette droite, tous les nœuds sont restitués.

Notons ici que, si l'on dit qu'un réseau possède un axe de symétrie ou un plan de symétrie, il y a en réalité une infinité de ces axes et de ces plans, pouvant se retrouver par les translations conjuguées qui restituent le réseau.

499. — THÉORÈME X. — *Si, par un nœud, on mène une parallèle à un axe de symétrie d'ordre n, cette droite est aussi un axe d'ordre n ou kn du réseau.*

Par un nœud quelconque A (fig. 274) menons un plan perpendiculaire à l'axe de symétrie O et prenons ce plan pour plan de la figure. Soit n le point où une parallèle à l'axe O menée par un autre nœud quelconque N coupe le plan du dessin ; je dis que la droite Nn est un axe d'ordre kn. Donnons en effet au réseau une rotation $\omega = \frac{2\pi}{n}$ autour de O ; il y aura restitution : A vient en un nœud A' et N en un nœud qui se projette en n'. Donnons ensuite au réseau une translation égale et parallèle à $N'N$; il y aura encore restitution. Donc A'' doit être aussi un nœud du réseau. Or la figure $A'A''nn'$ est un parallélogramme ; donc $A'n' = A''n$; mais les triangles AOn et $A'On'$ sont égaux comme ayant deux côtés égaux et l'angle compris égal ;

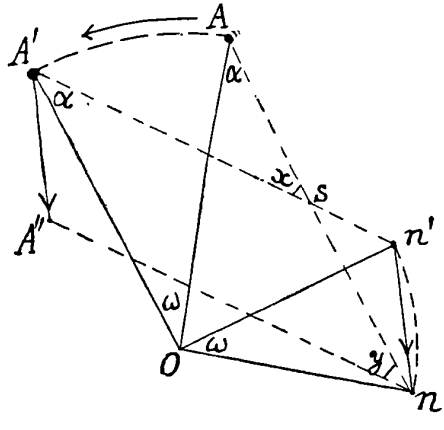


Fig. 274.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

donc $An = A'n' = A''n$. Il s'ensuit qu'une rotation autour de n et égale à l'angle y amène A en A'' et qu'il y a restitution. Comme les angles α sont égaux, il s'ensuit que $x = \omega$, et comme $y = x$ on a $y = \omega$. Donc la droite menée par le nœud N parallèlement à l'axe Δ_n est aussi un axe d'ordre n ou kn.

500. — THÉORÈME XI. — *Si un axe de symétrie passe par un noeud, le plan mené par celui-ci perpendiculairement à l'axe est un plan réticulaire.*

1° Soient A le nœud (fig. 275), Λ l'axe supposé multiple, P le plan. Supposons l'axe multiple. Par un nœud quelconque N, menons une droite parallèle à Λ ; cette droite Λ′ est un axe du

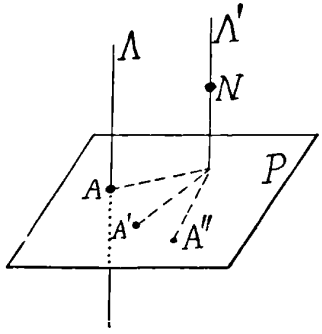


Fig. 275.

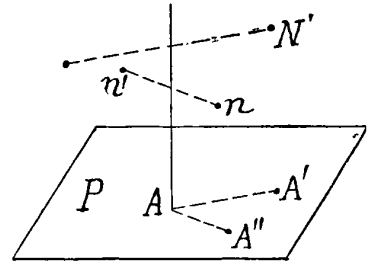


Fig. 276.

même ordre. Donc, en faisant tourner le réseau autour de Λ′, le nœud A occupera les positions A′, A″, ... non en ligne droite ; le plan P est donc un plan réticulaire.

2° Supposons (fig. 276) que l'axe passant par le nœud A est un axe binaire. Soient N et n deux nœuds quelconques, N' et n' leurs symétriques, qui sont aussi des nœuds. Les parallèles menées par A à NN' et nn' seront aussi des rangées et seront situées dans P qui est donc un plan réticulaire.

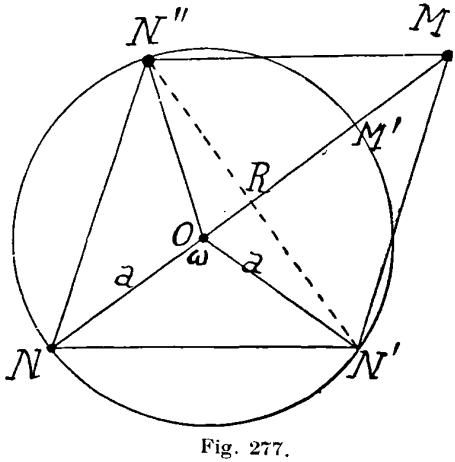


Fig. 277.

501. — THÉORÈME XII. — *Un réseau ne peut posséder que des axes d'ordre* 2, 3, 4, *ou* 6.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Soit O un nœud par lequel passe un Λ^n (fig. 277). Le plan perpendiculaire au Λ^n, mené par O, est un plan réticulaire. Parmi les nœuds de ce plan, choisissons un nœud N tel qu'il n'y ait pas de nœud plus proche de O et désignons par **a** la distance ON.

Soit $\omega = \frac{2\pi}{n}$, ω étant d'ailleurs égal à 180° ou plus petit que 180°. Par deux rotations égales à ω, le nœud N est amené en N' et en N'', qui sont deux autres nœuds du plan. Composons les rangées NN' et NN'' ; nous obtenons en M un nœud qui se trouve sur la doite NO. On a :

$$NM = 2 \times NR = 2(a + OR) = 2a\,(1 - \cos\omega) = 4\,a \sin^2 \frac{\pi}{n}.$$

Le nœud M ne peut tomber entre O et M', puisque le nœud le plus voisin de O se trouve à distance **a** ; il peut coïncider avec O, avec M', ou se trouver au delà de M' et la distance NM doit être égale à $k\mathbf{a}$, k étant un nombre entier, ce qui donne :

$$\sin \frac{\pi}{n} = \frac{1}{2}\sqrt{k}$$

Pour $k = 1$,	$\sin \frac{\pi}{n} = \frac{1}{2}$,	$\frac{2\pi}{n} = 60°$,	$n = 6$
» $k = 2$	» $= \frac{1}{\sqrt{2}}$,	» $= 90°$,	$n = 4$
» $k = 3$	» $= \frac{\sqrt{3}}{2}$,	» $= 120°$,	$n = 3$
» $k = 4$	» $= 1$	» $= 180°$	$n = 2$

» k ne peut être > 4, car l'on aurait $\sin \frac{\pi}{n} > 1$.

Les seuls axes possibles dans un réseau sont donc les axes binaire, ternaire, quaternaire et hexagonal.

On devine l'importance de ce théorème, qui limite les ordres d'axes pouvant exister dans les réseaux et, par conséquent, dans les édifices cristallins.

502. — THÉORÈME XIII. — *Tout réseau qui possède un axe multiple Λ^n, passant par un nœud, possède, perpendiculairement à cet axe, n axes d'ordre pair.*

Trois rangées conjuguées, quelles qu'elles soient, déterminent le réseau. Si donc, par rotation de 2π autour d'une droite, trois

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

rangées conjuguées viennent en coïncidence avec trois autres rangées conjuguées, le réseau sera restitué et la droite sera un axe d'ordre pair.

Soit à présent AA'' (fig. 278) l'axe multiple (d'ordre 3, 4 ou 6) et supposons $n = 4$ (le même raisonnement s'appliquera aux deux autres cas). Soit A le nœud par lequel passe le A^4. Nous savons qu'il passe par A un plan réticulaire 1 normal à AA''. Dans le plan limitrophe 2, soit B un nœud pris aussi près que possible de l'axe ; cet axe entraîne l'existence des nœuds C, D, E. Les rangées CA, CD, CE sont conjuguées. En composant les rangées AC et AD, on obtient un nœud A' dans le plan 3 limitrophe de 2 ; le réseau peut donc aussi être défini par les rangées CD, CE', CA'. Or, si nous faisons tourner le réseau de 180° autour de CD, A vient en A', E en E' et il y a restitution. Donc CD est un axe d'ordre pair du réseau.

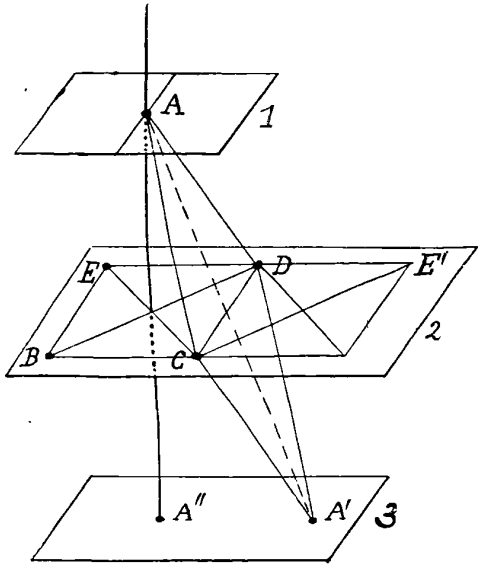


Fig. 278.

Si, par le nœud A, on mène, dans le plan 1, une parallèle à CD, cette parallèle sera un axe d'ordre pair du réseau (th. X). Mais si, perpendiculairement à un A^n, il y a un axe d'ordre pair, il y en a en tout n dans un plan perpendiculaire (th. VI) ; donc, etc.

Remarque. — Ce théorème ne s'applique qu'aux réseaux et non à un polyèdre quelconque.

C. — CLASSIFICATION DES RÉSEAUX

503. — Pour rechercher quels sont les différents modes de symétrie possibles dans les réseaux, on s'appuyera sur les théorèmes précédents, en supposant, ou non, l'existence de divers axes de symétrie ; on se rappellera que tout réseau est centré ; on cherchera ensuite quels sont les plans de symétrie com-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

patibles avec les axes de symétrie supposés existants, et le théorème IX permettra de vérifier si le nombre total de plans a été trouvé.

1° **Il n'y a pas d'axe de symétrie.** Il ne peut y avoir de plan de symétrie (th. II). Le réseau ne possède donc que le centre C.

C'est le **système clinoédrique** (voir n° **39**).

2° **Il n'y a que des axes binaires.**

a) Supposons d'abord un seul axe binaire. Il existe un plan de symétrie perpendiculaire (th. IV) et il ne peut y en avoir d'autres (th. II).

C'est le **système clinorhombique** (voir n° **40**).

b) Supposons deux axes binaires seulement. Ce cas est impossible, car la présence de ces deux axes entraîne la présence d'un troisième (th. VI).

c) **Il y a trois axes binaires.** Ces axes sont nécessairement perpendiculaires entre eux. En effet, si deux d'entre eux n'étaient pas orthogonaux, il y en aurait plus de deux dans un même plan (th. V) et il y aurait un axe multiple perpendiculairement à ce plan (th. VI). Le plan de deux axes binaires est un plan de symétrie perpendiculaire au 3e axe et il n'y a pas d'autre plan de symétrie (th. IX).

C'est le **système orthorhombique** (voir n° **41**).

d) Il ne peut y avoir plus de trois axes binaires, car, s'il y en avait un quatrième, celui-ci ferait un angle $\omega < 90°$ avec l'un des trois premiers (th. V) et il y aurait un axe multiple (th. VI).

3° **Il y a un axe multiple, et un seul.** Tous les autres axes, nécessairement binaires, devront être situés dans un plan normal à l'axe multiple A^n, car, si un axe binaire était extérieur à ce plan, une rotation de 180° autour de ce L^2 donnerait un second A^n. En outre (th. XIII), dans un réseau, perpendiculairement au A^n, il y a n axes binaires et, d'après le théorème VI, il ne peut y en avoir plus.

Dans le cas où l'axe multiple est ternaire, on verra aisément que les axes binaires sont hétéropolaires ; dans le cas d'un axe quaternaire ou hexagonal, les axes binaires sont isopolaires, mais deux à deux d'espèces différentes.

Perpendiculairement à chaque axe binaire et passant par le A^n il y a un plan de symétrie ; il existe aussi un plan de symétrie normalement à l'axe multiple, si celui-ci est d'ordre pair.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les seuls cas possibles sont donc :

a) l'axe multiple est **quadratique** (voir n° **42**).
b) l'axe multiple est **hexagonal** (voir n° **43**).
c) l'axe multiple est **ternaire** (voir n° **44**).

4° **Il y a plusieurs axes multiples.** Nous avons vu (**497**) que trois combinaisons seules étaient possibles dans un polyèdre. Mais la première, ayant des λ^5, est impossible dans un réseau.

Examinons la seconde :

$$6\,\lambda^4.8\,\lambda^3.12\,\lambda^2$$

La surface du polygone sphérique S est donnée (**497**) par $S = \frac{4\pi}{N} = \frac{\pi}{2}$, c'est donc un triangle trirectangle.

Il y a 8 de ces triangles sur la sphère (fig. 279). Les sommets Q sont les pôles de λ^4 ; les bissectrices B des arêtes sont les pôles de λ^2 ; les axes T des trièdres trirectangles sont les pôles de λ^3.

Il est d'ailleurs facile de voir que tous les axes de même ordre sont de même espèce et que la combinaison peut s'écrire :

$$3\Lambda^4, \quad 4\Lambda^3, \quad 6L^2.$$

On peut aisément vérifier que l'un des points T est le pôle d'un grand cercle passant par des points B, c'est-à-dire que, dans un plan normal à un Λ^3, il y a 3 axes binaires ; le théorème **XIII** des réseaux (**502**) est donc réalisé.

Pour la troisième combinaison :

$$8\,\lambda^3, \quad 6\,\lambda^2$$

la surface du polygone sphérique est $S = \frac{2\pi}{3}$, et c'est précisément celle du polygone déterminé par les pôles T des λ^3 de la figure 279. Les sommets du polygone sont des λ^3 et leurs pôles sont des λ^2 ; la combinaison est représentée dans la figure 280. D'ailleurs, à cause des λ^3, tous les λ^2 sont de même espèce mais les λ^3 doivent être hétéropolaires. La combinaison doit s'écrire :

$$8(\lambda,\lambda')^3, \quad 6\lambda^2 = 3L^2$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

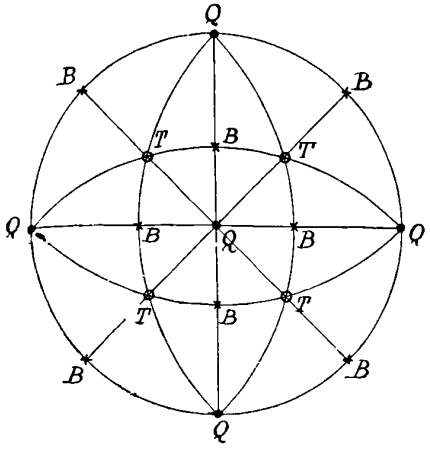


Fig. 279.

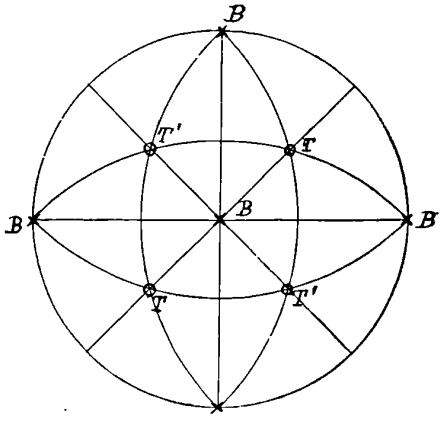


Fig. 280.

Cette combinaison, possible dans un polyèdre (tétraèdre régulier), n'est pas possible dans un réseau qui exige (théorème XIII) la présence de trois axes binaires dans un plan perpendiculaire à un λ^3.

La seule combinaison d'axes multiples possible *dans un réseau* conduit donc au symbole :

$$3\,\Lambda^4,\ 4\Lambda^3,\ 6\,L^2,\ C,\ 3\,\Pi,\ 6P.$$

Les 3 Π sont les plans de symétrie perpendiculaires aux Λ^4 et les 6 P sont les plans de symétrie perpendiculaires aux L^2. Il n'y a pas d'autre plan de symétrie (voir théorème IX).

C'est le **système cubique** (voir n° **45**).

D. — MÉRIÉDRIE

504. — Lorsqu'une troncature quelconque se produit sur un angle ou une arête d'un prisme primitif, elle se reproduit en vertu de la loi de symétrie (**61**) et donne un ensemble *S* de faces qui constitue une *forme dérivée.*

Dans un groupe hémiédrique, l'ensemble des faces *S* ne se produit plus par suite de l'absence de certains éléments de symétrie et le nombre **s** de la forme dérivée est moindre que le nombre *S* de la forme holoédrique. Si l'on désigne par **s'** l'ensemble des faces déficientes, les formes mériédriques **s** et **s'** sont des *formes conjuguées* dont l'ensemble donnerait la forme holoédrique *S*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

505. — Dans toute hémiédrie holoaxe (**73**) le centre n'existe plus. Si, dans la forme **s** on rétablit le centre, chaque face donnera une nouvelle face parallèle et l'ensemble aura **2s** faces. Mais le rétablissement du centre entraîne le rétablissement de tous les plans de symétrie, de sorte que la forme **2s** est identique à la forme holoédrique *S*.

On verrait de même que, dans une forme para- ou antihémiédrique, il manque toujours un axe binaire ; le rétablissement de cet axe binaire amène la restitution de tous les autres éléments de symétrie, de sorte que, dans ces cas aussi, on retrouve **2s** faces.

La forme **s** hémiédrique possède donc la moitié des faces de la forme holoédrique.

Le même raisonnement montrera que une forme tétartoédrique possède le quart des faces de la forme holoédrique.

Dans un groupe holoaxe, les deux formes conjuguées **s** et **s'** se correspondent par rapport à un plan de symétrie déficient : elles sont donc l'image l'une de l'autre dans ce plan et, par conséquent, elles ne sont pas superposables.

Dans tout autre groupe hémiédrique, les deux formes se correspondent par rapport à un axe binaire déficient ; une rotation autour de cet axe binaire peut amener la forme **s** sur la forme **s'**. Les deux formes sont donc superposables.

506. — La recherche des groupes hémiédriques dans le *système cubique* doit être basée sur la recherche des symboles de symétrie des polyèdres possédant plusieurs axes multiples (**497**).

Nous avons vu que, sur les combinaisons d'axes multiples possibles dans un polyèdre, une seule pouvait exister dans un réseau et conduisait au symbole du système cubique :

$$3\,\Lambda^4,\ 4\,\Lambda^3,\ 6\,L^2,\ C,\ 3\,\Pi,\ 6\,P.$$

Le groupe holoaxe aura pour symbole :

$$3\,\Lambda^4,\ 4\,\Lambda^3,\ 6\,L^2$$

Un groupe non holoaxe devra présenter moins d'axes de symétrie tout en ayant des axes multiples ; il ne pourra donc être donné que par la combinaison d'axes :

$$3\,\Lambda^2,\ 4\,\Lambda^3$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLEAU DES GROUPES DE SYMÉTRIE

S. Clinoédrique	holoédrique	—	C	—	—		—	—
	antihémiédrique	—	—	—			—	
S. Clinorhombique	holoédrique	L^2	C	P	—		—	—
	holoaxe	L^2	—	—	—		—	
	antihémiédrique	—		P	—			—
S. Orthorhombique	holoédrique	L^2	L'^2	L''^2	C	P	P′	P″
	holoaxe	L^2	L'^2	L''^2	—		—	—
	antihémiédrique	L^2	—	—			P′	P″
S. Quadratique	holoédrique	A^4	$2L^2$	$2L'^2$	C	Π	2 P	2 P′
	holoaxe	A^4	$2L^2$	$2L'^2$	—		—	
	parahémiédrique	A^4	—	—	C	Π	—	
	antihémiédrique	A^4	—		—		2 P	2 P′
	tétartoédrique	A^4	—	—	—			—
	antihémiédrique	A^2	$2L^2$	—			—	2 P′
	tétartoédrique	A^2	—					—
S. Hexagonal	holoédrique	A^6	$3L^2$	$3L'^2$	C	Π	3 P	3 P′
	holoaxe	A^6	$3L^2$	$3L'^2$				
	parahémiédrique	A^6	—	—	C	Π		
	antihémiédrique	A^6	—	—	—		3 P	3 P′
	tétartoédrique	A^6	—	—	—			—
	antihémiédrique	A^3	$3L^2$	—	—	Π		3 P′
	tétartoédrique	A^3	—	—	—	Π		
S. Rhomboédrique	holoédrique	A^3	$3L^2$	—	C	—	3 P	—
	holoaxe	A^3	$3L^2$	—	—		—	
	parahémiédrique	A^3	—	—	C		—	
	antihémiédrique	A^3	—	—	—		3 P	—
	tétartoédrique	A^3	—	—	—			
S. Cubique	holoédrique		$3A^4$	$4A^3$	$6L^2$	C	3Π	6 P
	holoaxe		$3A^4$	$4A^3$	$6L^2$	—	—	
	parahémiédrique		$3A^2$	$4A^3$	—	C	3Π	
	antihémiédrique		$3A^2$	$4A^3$	—	—		6 P
	tétartoédrique		$3A^2$	$4A^3$		—		—

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

qui, nous l'avons vu (**503**, 4°) est impossible dans un réseau, mais possible dans un polyèdre dérivant du réseau, c'est-à-dire dans un cristal. De là, les autres groupes mériédriques du système :

parahémiédrique :	$3\,\Lambda^2,\ 4\,\Lambda^3,\ C,\ 3\,\Pi$
antihémiédrique :	$3\,\Lambda^2,\ 4\,\Lambda^3,\ 6\,P$
tétartoédrique holoaxe :	$3\,\Lambda^2,\ 4\,\Lambda^3$.

507. — Le tableau de la page précédente donne les symboles de tous les groupes possibles dans les cristaux. On les retrouvera aisément en partant des groupes holoédriques et en réduisant leurs symétries en tenant compte des théorèmes des n° **487** à **496**.

Le groupe Λ^2 du système quadratique diffère du groupe L^2 du système clinorhombique par la présence d'un élément de symétrie dont il n'a pas été tenu compte dans l'étude générale que nous avons faite. Il s'agit d'un plan de symétrie *alterne* d'ordre 2, qui est un plan normal à un axe binaire et tel que, si l'on prend le symétrique du polyèdre par rapport à ce plan après rotation de 90° autour de l'axe, il y a restitution.

On voit qu'il y a, en tout, 32 groupes possibles.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CALCUL CRISTALLOGRAPHIQUE

§ 1. — NOTATIONS DE MILLER

508. — Dans le calcul cristallographique, on rapporte toutes les faces d'un cristal à un système de trois axes convenablement choisis ; or, dans le système de notations de Lévy que nous avons exposé (**53**), chaque notation représente non pas une seule face, mais l'ensemble de faces qui se produisent en vertu de la loi de symétrie (**62**) ; par exemple, dans le système quadratique, $b^{\frac{1}{2}}$ représente l'ensemble des huit faces d'un quadroctaèdre direct. Si ce système de notations est très pratique pour la description des formes d'un cristal, il n'est évidemment pas suffisant pour le calcul, qui ne doit s'appliquer qu'à une seule des faces de la même forme. Le cristallographe anglais Miller a proposé le système suivant, généralement adopté aujourd'hui.

509. — Une face quelconque est, dans ce système de notations, désignée par les dénominateurs q, r, s, des segments $\frac{1}{q}, \frac{1}{r}, \frac{1}{s}$ qu'elle coupe sur les trois arêtes du prisme primitif (arêtes dont les longueurs respectives sont prises pour unités), c'est-à-dire par ses trois *caractéristiques* q, r, s ; sa notation s'écrit (q r s). On doit toutefois tenir note des remarques suivantes :

1° Un sommet du prisme est choisi comme origine des trois axes positifs $+ X$, $+ Y$, $+ Z$, et la première caractéristique q est toujours relative à l'axe des X, la seconde r à l'axe des Y, la troisième s à l'axe des Z ;

2° Si une face modifie un des autres angles du primitif, l'origine des axes doit être transportée à ce sommet, les axes de même nom restant parallèles, et l'on donnera éventuellement le signe négatif à la caractéristique relative à l'axe qui serait dirigé en sens contraire de l'axe primitif correspondant ;

3° Lorsqu'une face est parallèle à une arête, le segment coupé sur cette arête est infini, c'est-à-dire égal à $\frac{1}{0}$ et sa caractéristique est 0.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

510. — Soit, par exemple, un prisme **quadratique** (fig. 281) ; l'angle 1 sera choisi comme origine des axes positifs et la figure montre ce que deviennent les signes des axes transportés aux autres sommets ; en 2, on aura +X, —Y, +Z ; en 5, +X, +Y, —Z, etc. La troncature ($b^{\frac{1}{2}}$ b^1 $g^{\frac{1}{4}}$) donne un biseau sur chacun des angles ; l'une des faces de ce biseau est ABC dont la notation sera (214) [1] ; une autre face de la forme est A'B'C dont la notation sera (124). Reproduit sur l'angle 2, ce biseau donnera les faces : ($2\bar{1}4$) et ($1\bar{2}4$) ; sur l'angle 5, il donnera ($21\bar{4}$) et ($12\bar{4}$) et ainsi de suite. La figure 282 représente le dioctaèdre avec chacune de ses faces notée dans le système de Miller.

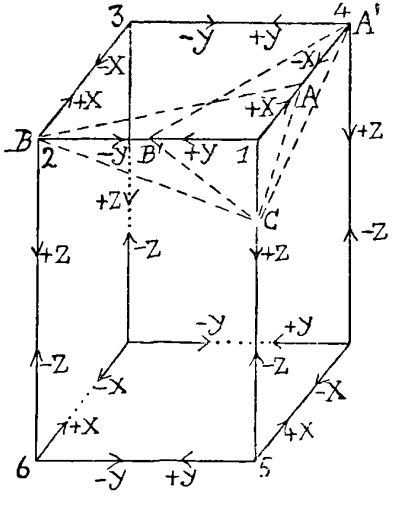


Fig. 281.

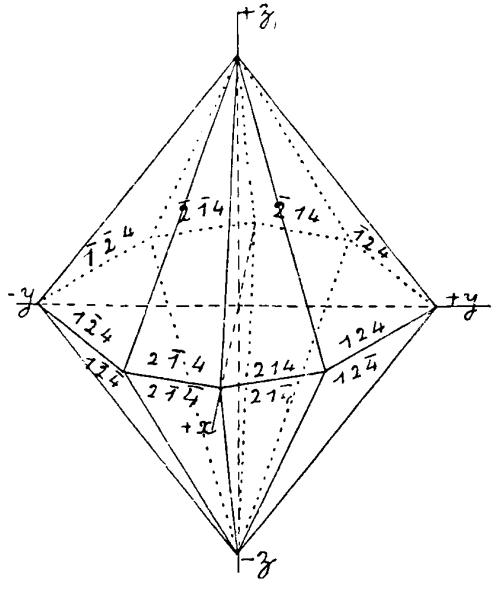


Fig. 282.

Une troncature $b^{\frac{1}{2}}$, considérée sur l'arête horizontale antérieure (*1. 2*), sera notée : (201) car elle est représentée par $b^{\frac{1}{2}}\,b^{\frac{1}{0}}\,h^1$. Sur l'arête (1 . 4). sa notation sera (021) ; sur l'arête (*2 . 3*), on aura ($02\bar{1}$) et sur l'arête (*5 . 6*), la notation devient ($20\bar{1}$).

Quant à la face *m* antérieure, comme elle est parallèle aux axes Y et Z et comme elle peut être considérée comme coupant un

---

(1) Chaque caractéristique s'énonce séparément ; on lit donc : *deux*, *un*, *quatre*, et non *deux cent quatorze*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

segment quelconque (1) sur l'axe X, sa notation sera (100) ; de même, la face p est notée (001), etc. (2).

Une face $a^{\frac{3}{2}}$ ou $(b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{3}})$ sera notée (223) sur l'angle *1*, $(2\bar{2}3)$ sur l'angle *2*, $(2\,\bar{2}\,\bar{3})$ sur l'angle 6, etc.

511. — Le système **cubique** ne diffère du système quadratique que par l'égalité des trois arêtes. On trouvera donc les notations de chaque face d'une forme quelconque en partant des mêmes positions des axes que dans la figure 282.

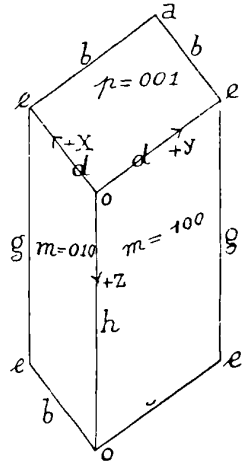


Fig. 283.

512. — Dans les prismes **clinoédrique, clinorhombique** et **orthorhombique,** nous savons que l'on place devant soi une arête verticale marquée h. L'origine des axes positifs se prend sur l'angle antérieur supérieur, comme il est montré dans la figure 283, dessinée pour le prisme clinorhombique ; les exemples suivants habitueront au changement de notations (3) :

$$o^2 = d^1 d^1 h^{\frac{1}{2}} \equiv (1\,1\,2)$$

$$e^{\frac{1}{2}} = b^{\frac{1}{2}} d^{\frac{1}{2}} g^1 \equiv \begin{cases} (2\,\bar{2}\,1) \text{ à droite} \\ (\bar{2}\,2\,1) \text{ à gauche} \end{cases}$$

$$a^{\frac{4}{3}} = b^{\frac{1}{3}} b^{\frac{1}{3}} h^4 \equiv (\bar{3}\,\bar{3}\,4)$$

$$d^4 = \begin{cases} (d^1 d^{\frac{1}{0}} h^{\frac{1}{4}} \equiv (1\,0\,4) \text{ à droite} \\ (d^{\frac{1}{0}} d^1 h^{\frac{1}{4}} \equiv (0\,1\,4) \text{ à gauche} \end{cases}$$

$$h^5 = (5\,1\,0) \text{ ou } (1\,5\,0)$$

$$g^5 \equiv (5\,\bar{1}\,0) \text{ ou } (1\,\bar{5}\,0).$$

---

(1) Les faces parallèles ont même notation (50).

(2) Eventuellement, on distinguera les faces p supérieure et inférieure par les notations (001) et $(00\bar{1})$.

(3) Le signe $\equiv$ signifie : se transforme en :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

513. — Réciproquement, si l'on veut passer du système de Miller à celui de Lévy on recherchera d'abord où se trouve l'origine des axes qui ont les signes des caractéristiques données ; on écrira ensuite, dans l'ordre X, Y, Z, les lettres représentant les arêtes correspondantes et on leur donnera les exposants $\frac{1}{q}, \frac{1}{r}, \frac{1}{s}$ correspondants. Ainsi, $(2\bar{2}3)$ ayant X et Z positifs et Y négatif se rapporte à l'angle e de droite supérieur, dont les arêtes sont b pour X, d pour Y, g pour Z ; on a donc :

$$(2\ \bar{2}\ 3) \equiv b^{\frac{1}{2}}\, d^{\frac{1}{\bar{2}}}\, g^{\frac{1}{3}} = e^{\frac{3}{\bar{2}}}.$$

De même :

$$(0\ 1\ 2) \equiv d^{\frac{1}{0}}\, d^{1}\, h^{\frac{1}{\bar{2}}} = d^{\frac{2}{\bar{3}}}$$

$$(\bar{3}\ 2\ 0) \equiv d^{\frac{1}{\bar{3}}}\, b^{\frac{1}{\bar{2}}}\, g^{\frac{1}{0}} = g^{\frac{1}{\bar{2}}}$$

$$(\bar{4}\ \bar{4}\ 1) \equiv b^{\frac{1}{\bar{4}}}\, b^{\frac{1}{\bar{4}}}\, h^{1} = a^{\frac{1}{\bar{2}}}$$

514. — Dans le système **rhomboédrique** (fig. 284), l'origine des axes positifs est prise au sommet a supérieur ; on a donc :

$$a^2 = b^1\, b^1\, b^{\frac{1}{\bar{2}}} \equiv (1\ 1\ 2) \text{ ou } (1\ 2\ 1) \text{ ou } (2\ 1\ 1) \quad (^1)$$

$$b^3 = b^{\frac{1}{\bar{0}}}\, b^1\, b^{\frac{1}{\bar{3}}} \equiv = (0\ 1\ 3)$$

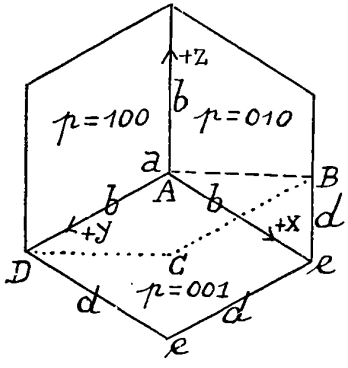


Fig. 284.

Pour la face ABCD :

$$d^2 = b^1\, d^{\frac{1}{0}}\, d^{\frac{1}{\bar{2}}} \equiv (\bar{1}\ 0\ 2)$$

De même :

$$e^{\frac{1}{\bar{2}}} = b^1\, d^{\frac{1}{\bar{2}}}\, d^{\frac{1}{\bar{2}}} = (\bar{1}\ 2\ 2)$$

$$e^2 = b^{\frac{1}{\bar{2}}}\, d^1\, d^1 \equiv (\bar{2}\ 1\ 1)$$

Réciproquement :

$$(2\ 2\ 3) \equiv b^{\frac{1}{\bar{2}}}\, b^{\frac{1}{\bar{2}}}\, b^{\frac{1}{\bar{3}}} = a^{\frac{3}{\bar{2}}}$$

$$(0\ 3\ 2) \equiv b^{\frac{1}{0}}\, b^{\frac{1}{\bar{3}}}\, b^{\frac{1}{\bar{2}}} = b^{\frac{2}{\bar{3}}}$$

$$(1\ \bar{2}\ 1) \equiv d^1\, b^{\frac{1}{\bar{2}}}\, d^1 = e^2 \text{ (angle D)}$$

$$(\bar{1}\ \bar{1}\ 2) \equiv d^1\, d^1\, b^{\frac{1}{\bar{2}}} = e^2.$$

(1) En vertu de l'axe ternaire.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

515. — Dans le système hexagonal (fig. 285), l'origine est prise en 1. Si l'on avait à considérer une modification du sommet 2, l'axe Y deviendrait négatif, et l'axe X, transporté en X', ne serait plus parallèle à une arête ; mais dans ce cas, si DA $= \frac{1}{q}$ et DB $= \frac{1}{r}$, on a DC $= \frac{1}{q+r}$. Si (qrs) est donc la notation d'une face de la même forme sur l'angle 1, cette notation, sur l'angle 2, sera : $(q + r.\bar{r}.s)$.

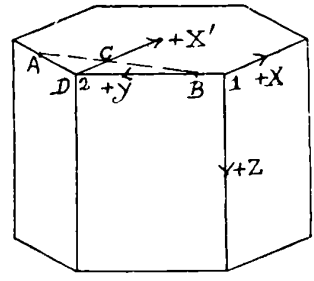


Fig. 285.

§ 2. — CHANGEMENT D'AXES

516. — On rapporte d'ordinaire les faces d'un cristal à trois axes (xyz) passant par le centre du cristal. Si ces axes sont parallèles aux arêtes du prisme primitif, les notations des faces par rapport à ces axes (xyz) seront identiques aux notations par rapport aux axes (XYZ) indiqués ci-dessus (**509**). C'est le cas pour les systèmes hexagonal, quadratique et cubique.

Dans les autres systèmes cristallins, on adopte généralement, pour le calcul, des axes xyz qui ne sont pas parallèles aux arêtes du prisme primitif et l'on doit donc employer des *formules de transformation* pour passer des caractéristiques (qrs) relatives au système (XYZ) aux caractéristiques (hkl) relatives au nouveau système (xyz) .Nous déduirons ces formules d'une relation très simple établie par Cesàro, et qui peut être employée en géométrie chaque fois que, un plan étant déterminé par les segments qu'il coupe sur trois droites, il s'agit de calculer le segment qu'il détermine sur une autre droite donnée.

Désignons par :

A, B, C les paramètres dans le système (XYZ) et **a**, **b**, **c** les paramètres dans le système (xyz) ;

$(h_1\ k_1\ l_1)$, $(h_2\ k_2\ l_2)$ et $(h_3\ k_3\ l_3)$ les caractéristiques, dans le système (xyz), des plans YZ, XZ et XY.

Soit DEF (fig. 286) un plan coupant sur les axes (XYZ) des segments $\frac{A}{q}, \frac{B}{r}, \frac{C}{s}$; son équation est :

$$\frac{q\mathrm{X}}{A} + \frac{r\mathrm{Y}}{B} + \frac{s\mathrm{Z}}{C} = 1 \qquad (1)$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Soit I le point où le plan considéré est percé par l'axe des x, de sorte que $\mathrm{OI} = \frac{\mathbf{a}}{h}$.

Si X, Y, Z, sont les coordonnées du point I et α, β, γ, les coordonnées du point S, extrémité du paramètre **a**, on a :

$$\frac{X}{\alpha} = \frac{Y}{\beta} = \frac{Z}{\gamma} = \frac{\mathrm{OI}}{\mathbf{a}} = \frac{1}{h}$$

Comme les coordonnées du point I doivent vérifier l'équation (1), il s'en suit que :

$$h = \frac{\alpha}{A} q + \frac{\beta}{B} r + \frac{\gamma}{C} s \qquad (2)$$

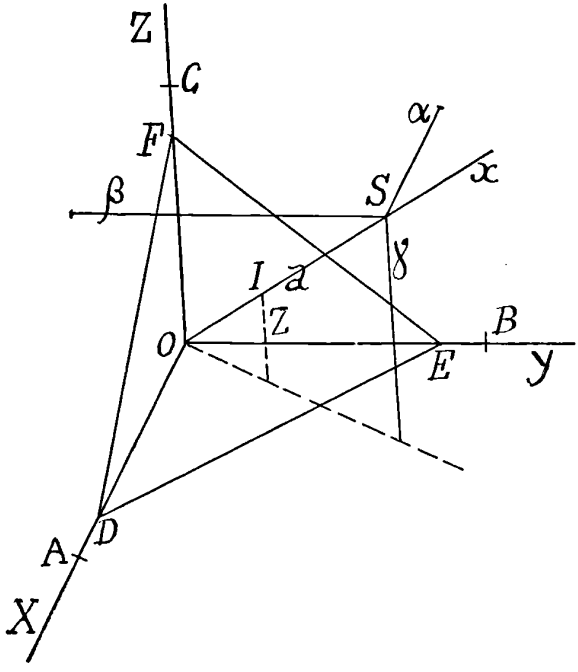


Fig. 286.

En désignant par $(\alpha', \beta', \gamma')$ et $(\alpha'', \beta'', \gamma'')$ les coordonnées des extrémités des paramètres **b** et **c**, on a de même :

$$k = \frac{\alpha'}{A} q + \frac{\beta'}{B} r + \frac{\gamma'}{C} s \text{ et } l = \frac{\alpha''}{A} q + \frac{\beta''}{B} r + \frac{\gamma''}{C} s. \qquad (3)$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Appliquant ces formules au plan pour lequel $(qrs) = (100)$, on trouve :

$$h = \frac{\alpha}{A} \quad k = \frac{\alpha'}{A} \quad l = \frac{\alpha''}{A} \tag{4}$$

Or, le plan (100) étant parallèle au plan ZY dont la notation est $(h_1\ k_1\ l_1)$ dans le système (xyz), les caractéristiques (4) doivent être proportionnelles à $(h_1\ k_1\ l_1)$, c'est-à-dire que :

$$\frac{\alpha}{A} = \mathrm{L}h_1 \quad \frac{\alpha'}{A} = \mathrm{L}k_1 \quad \frac{\alpha''}{A} = \mathrm{L}l_1$$

En faisant le même raisonnement pour les plans $\mathrm{XZ} = (010) = (h_2\ k_2\ l_2)$ et $\mathrm{XY} = (001) = (h_3\ k_3\ l_3)$, on trouvera :

$$\frac{\beta}{B} = \mathrm{L}'h_2 \quad \frac{\beta'}{B} = \mathrm{L}'k_2 \quad \frac{\beta''}{B} = \mathrm{L}'l_2$$

$$\frac{\gamma}{C} = \mathrm{L}''h_2 \quad \frac{\gamma''}{C} = \mathrm{L}''k_2 \quad \frac{\gamma''}{C} = \mathrm{L}''l_2.$$

Les équations (2) et (3) peuvent donc s'écrire :

$$h = \mathrm{L}h_1\, q + \mathrm{L}'h_2 r + \mathrm{L}''\ h_3 s.$$

$$k = \mathrm{L}k_1\, q + \mathrm{L}'k_2 r + \mathrm{L}''\ k_3\, s.$$

$$l = \mathrm{L}\, l_1\, q + \mathrm{L}'l_2 r + \mathrm{L}''\ l_3\ s.$$

ce que nous mettrons symboliquement sous la forme :

$$hkl \equiv \mathrm{L}q\ (h_1\ k_1\ l_1) + \mathrm{L}'\ r\ (h_2\ k_2\ l_2) + \mathrm{L}''\ s\ (h_3\ k_3\ l_3) \tag{5}$$

Les deux systèmes d'axes étant donnés, ainsi que leurs paramètres, on connaît $(h_1\ k_1\ l_1)$, $(h_2\ k_2\ l_2)$ et $(h_3\ k_3\ l_3)$. Il suffira donc de déterminer les valeurs des constantes L, L', L'' pour que les équations (5) permettent le changement de notations.

Pour calculer ces coefficients il suffira d'appliquer ces formules à une face de position simple, coupant les trois axes (XYZ) et dont on connaît les notations dans les deux systèmes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

517. — *Systèmes clinoédrique, clinorhombique et orthorhombique.* Dans ces trois prismes, les axes (XYZ) positifs partent (fig. 287) de l'angle supérieur antérieur [1] et les paramètres adoptés sont les longueurs $A\alpha$, $A\beta$, et $A\gamma$ [2]. On prend pour axes des x et des y les parallèles aux diagonales de la base partant du centre, et pour axe des z la verticale [3] ; les nouveaux paramètres sont **a, b** et **c** (indiqués sur la figure).

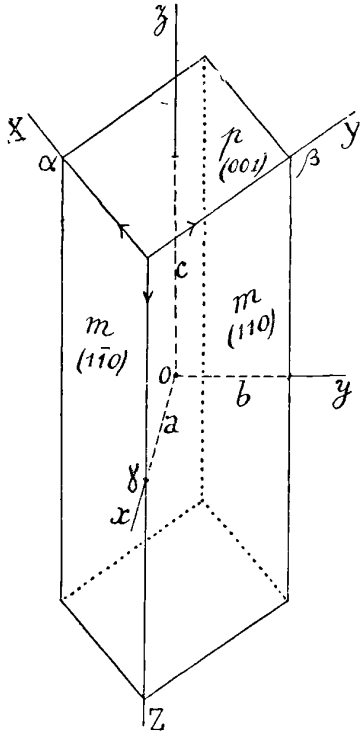


Fig. 287.

On voit que :

$$YZ = h_1k_1l_1 = (1\ 1\ 0),$$

$$XZ = h_2k_2l_2 = (1\ \bar{1}\ 0),$$

$$XY = h_3k_3l_3 = (0\ 0\ 1)$$

et la relation (5) devient :

$$hkl \equiv Lq\,(1\ 1\ 0) + L'r\,(1\ \bar{1}\ 0) + L''s\,(0\ 0\ 1)$$

Pour déterminer les coefficients **L, L'** et **L''**, considérons le plan $\alpha\ \beta\ \gamma$; on voit aisément que sa notation est :

$$qrs = (111) \qquad hkl = (101)$$

On a donc, par application des relations (5) :

$$1 = L + L' \qquad 0 = L - L' \qquad 1 = L''$$

On en déduit :

$$L = L' = \frac{1}{2} \qquad L'' = 1$$

---

(1) **Cet angle (origine des axes XYZ) doit être noté A sur la figure.**

(2) Ceci revient à prendre pour maille un prisme de hauteur moitié moindre que le prisme dessiné et c'est sur ce nouveau prisme que l'on déterminera les caractéristiques $(q\,r\,s)$.

(3) Ces axes sont donc les intersections des plans h^1, g^1 et p : dans le système orthorhombique, ce sont les axes binaires ; dans le système clinorhombique, l'axe y est l'axe binaire.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et les formules de transformation sont :

$$h = q + r$$
$$k = q - r$$
$$l = 2s$$

d'où l'on tire les formules permettant la transformation inverse :

$$q = h + k$$
$$r = h - k$$
$$s = l$$

EXEMPLES :

S. clinoédrique (XYZ) (*xyz*) [1]

$o^2 =$ (1 1 2) $\equiv$ (2 0 4) ou (1 0 2)

$a^2 =$ ($\bar{1}$ $\bar{1}$ 2) $\equiv$ (1 0 2)

$f^2 =$ (1 0 2) $\equiv$ (1 1 4)

(*xyz*) (XYZ)

(0 $\bar{2}$ 1) $\equiv$ ($\bar{2}$ 2 1) $= e^{\frac{1}{2}}$

(3 $\bar{2}$ 0) $\equiv$ (1 5 0) $= h^5$

($\bar{1}$ 1 1) $\equiv$ (0 $\bar{2}$ 1) $= c^{\frac{1}{2}}$

S. clinorhombique (XYZ) (*xyz*)

$o^2 =$ (1 1 2) $\equiv$ (1 0 2)

$b^{\frac{1}{2}} d^{\frac{1}{3}} g^{\frac{1}{4}} =$ (2 $\bar{3}$ 4) $\equiv$ ($\bar{1}$ 5 8)

$b^{\frac{3}{4}} =$ (4 0 $\bar{3}$) $\equiv$ (2 2 $\bar{3}$)

S. orthorhombique (*xyz*) (XYZ)

(4 $\bar{2}$ $\bar{1}$) $\equiv$ (2 6 $\bar{1}$) $= b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{6}} h^1$

($\bar{2}$ 4 $\bar{1}$) $\equiv$ (2 $\bar{6}$ $\bar{1}$) $= b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{6}} g^1$

(0 2 3) $\equiv$ (2 $\bar{2}$ 3) $= b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}} h^{\frac{1}{3}} = e^{\frac{3}{2}}$

(2 3 0) $\equiv$ (5 $\bar{1}$ 0) $= g^5$

(1 1 0) $\equiv$ (1 0 0) $= m$

[1] Le signe $\equiv$ signifie : égale après transformation.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

518. — *Système rhomboédrique.* — Les axes **XYZ** positifs sont les arêtes du rhomboèdre (fig. 288) partant de l'angle supérieur a ; les paramètres sont les longueurs de ces arêtes. Les axes x et y sont les deux axes binaires antérieurs avec paramètres **a** égaux ; l'axe z est l'axe vertical avec paramètre **c** égal à la demi-hauteur du solide (1).

On voit aisément que le plan **YZ**, coupant l'axe des z à l'extrémité positive de **c**, coupe le plan des axes binaires suivant **AB** : il est parallèle à l'axe y et coupe l'axe x à distance — **a** du centre. On a donc $h_1\ k_1\ l_1 = (\bar{1}01)$. De même, le plan **XZ**, qui coupe le plan des axes binaires en **CD**, donne $h_2\ k_2\ l_2 = (0\bar{1}1)$ et le plan **XY**, qui coupe le plan horizontal en **EF**, donne $h_3\ k_3\ l_3 = (111)$.

La relation (5) devient donc :

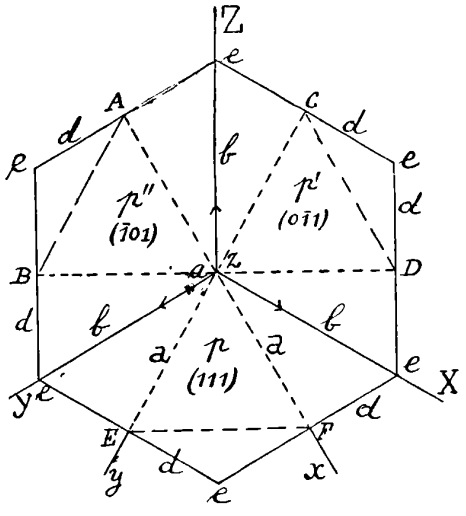


Fig. 288.

$$hkl \equiv \mathrm{L}q\,(\bar{1}01) + \mathrm{L}'q\,(0\bar{1}1) + \mathrm{L}''s\,(111)$$

La base a^1 a pour notations :

$$hkl = (011) \qquad qrs = (111)$$

On en tire : $\mathrm{L} = \mathrm{L}' = \mathrm{L}'' = 1$

puis :
$$\begin{cases} h = s - q & q = k + l - 2h \\ k = s - r & r = h + l - 2k \\ l = q + r + s & s = h + k + l \end{cases}$$

(1) De nombreux cristallographes adoptent, pour ce système, quatre axes qui sont : pour x notre y, pour y l'axe aD, pour u notre — x, l'axe z restant le même. Notre notation ($h\ k\ l$) devient alors : ($k.\ h\text{-}k.\ \bar{h}.\ l$). Un plan ne devant être défini que par trois de ses points, il est absolument inutile d'employer quatre caractéristiques ; cependant cet usage est très répandu, soi-disant pour montrer la symétrie ternaire.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

EXEMPLE :

$$\begin{array}{rl} & (XYZ) \quad (xyz) \\ b^2 = & (0\,1\,2) \equiv (2\,1\,3) \\ e^2 = d^1\,d^1\,b^{\frac{1}{2}} = & (\bar{1}\,\bar{1}\,2) \equiv (1\,1\,0) \\ d^1 = b^1\,d^{\bar{0}}\,d^1 = & (\bar{1}\,0\,1) = (2\,1\,0) \\ e^6 = d^1\,d^1\,b^{\frac{1}{6}} = & (\bar{1}\,\bar{1}\,6) \equiv (7\,7\,8) \\ e^{\frac{1}{2}} = b^1\,d^{\frac{1}{2}}\,d^{\frac{1}{2}} = & (\bar{1}\,2\,2) \equiv (1\,0\,1) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} (xyz) & (XYZ) \\ (3\,2\,1) = (1\,0\,2) = & b^1\,d^{\bar{0}}\,d^{\bar{2}} = d^2 \\ (4\,4\,1) \equiv (\bar{1}\,\bar{1}\,3) = & d^1\,d^1\,b^{\bar{3}} = e^3 \end{array}$$

Problème. — Quelles relations doivent exister entre les q, r, s d'une face pour que cette face soit verticale ou pour qu'elle donne un isoscéloèdre ?

Pour une face prismatique, on doit avoir $l = 0$, donc : $q + r + s = 0$; exemples : $e^2 = b^{\frac{1}{2}}d^1d^1 = (\bar{2}11)$; $d^1 = (\bar{1}01)$.

Dans un isoscéloèdre (**94**), une face supérieure doit couper une face inférieure dans le plan horizontal ; comme l'arête d'intersection doit être normale à un L^2, à l'axe des x par exemple, on trouve facilement que l'on doit avoir $\frac{a}{h} = \frac{a}{2k}$ ou $h = 2k$, ce qui donne : $2r = q + s$. Exemples : $b^2 = 012$; $e_3 = \bar{1}13$.

§ 3. — ANGLE DE DEUX FACES

519. — On peut calculer la valeur du cosinus de l'angle δ de deux faces en fonction de leurs caractéristiques (hkl) et $(h'k'l')$, des paramètres **a**, **b** et **c** et des angles α, β, γ, que les axes $(x\ y\ z)$ font entre eux.

520. — Supposons d'abord que les axes sont orthogonaux. Les équations des deux plans (hkl) et $(h'k'l')$ étant :

$$\frac{h}{a}x + \frac{k}{b}y + \frac{l}{c}z = 0 \qquad \frac{h'}{a}x + \frac{k'}{b}y + \frac{l'}{c}z = 0$$

l'angle des normales aux deux plans, d'après une formule connue, est :

$$\cos\delta = \frac{\dfrac{hh'}{a^2} + \dfrac{kk'}{b^2} + \dfrac{ll'}{c^2}}{\sqrt{\dfrac{h^2}{a^2} + \dfrac{k^2}{b^2} + \dfrac{l^2}{c^2}}\sqrt{\dfrac{h'^2}{a^2} + \dfrac{k'^2}{b^2} + \dfrac{l'^2}{c^2}}} \qquad (1)$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

C'est la formule applicable dans le **système orthorhombique.**

Dans le **système quadratique,** $a = b$; en écrivant $t^2 = \frac{a^2}{c^2}$, la formule (2) devient :

$$\cos\delta = \frac{hh' + kk' + t^2ll'}{\sqrt{h^2 + k^2 + t^2l^2}\sqrt{h'^2 + k'^2 + t^2l'^2}} \qquad (2)$$

et, dans le **système cubique,** où : $a = b = c$:

$$\cos\delta = \frac{hh' + kk' + ll'}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}\sqrt{h'^2 + k'^2 + l'^2}} \qquad (3)$$

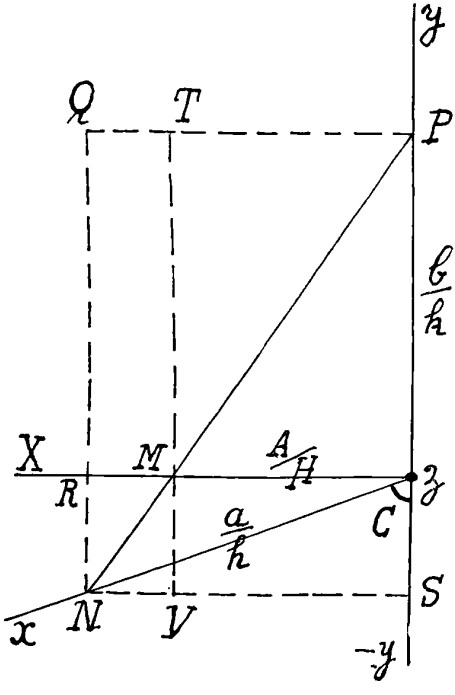


Fig. 289.

521. — Supposons que l'axe z est perpendiculaire au plan xy mais que les axes x et y font, entre eux, un angle (supplémentaire) égal à C (fig. 289).

Prenons l'axe X normal à y et calculons le segment z M coupé sur cet axe X par le plan dont la trace sur x y est N P ; on a :

$zN = \frac{a}{h}$ et $zP = \frac{b}{k}$;

désignons par $\frac{A}{H}$ le segment z M.

Les triangles semblables PNS et PMz donnent :

$$\frac{b}{k}\frac{a}{h}\sin C = \frac{A}{H}\left(\frac{b}{k} + \frac{a}{h}\cos C\right)$$

d'où :

$$\frac{H}{A} = \frac{bh + ak\cos C}{ab\sin C} \qquad (4)$$

Or, la formule (1) appliquée aux axes Xyz donne :

$$\cos\delta = \frac{\frac{HH'}{A^2} + \frac{kk'}{b^2} + \frac{ll'}{c^2}}{\sqrt{\frac{H^2}{A^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}}\sqrt{\frac{H'^2}{A^2} + \frac{k'^2}{b^2} + \frac{l'^2}{c^2}}}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En appliquant la formule (4) aux facteurs $\frac{H}{A}$ et $\frac{H'}{A}$, on trouve après avoir multiplié haut et bas par $\sin^2 C$:

$$\cos\delta = \frac{\frac{hh'}{a^2} + \frac{kk'}{b^2} + \frac{ll'}{c^2}\sin^2 C + \frac{hk' + kh'}{ab}\cos C}{M \times M'} \qquad (5)$$

où :

$$M = \sqrt{\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}\sin^2 C + \frac{2hk}{ab}\cos C}$$

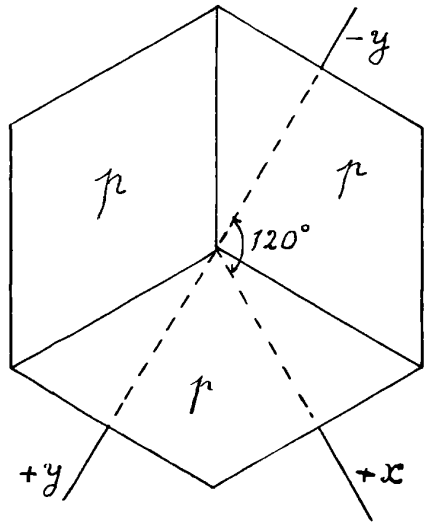


Fig. 290.

522. — Système rhomboédrique. — Dans ce système (fig. 290), $a = b$, $C = 120°$, et, en posant $s = \frac{3}{4}\frac{a^2}{c^2}$, la formule (5) devient :

$$\cos\delta = \frac{hh' + kk' - \frac{1}{2}(hk' + kh') + s\,ll'}{M_{hkl} \times M_{h'k'l'}} \qquad (6)$$

où :

$$M = \sqrt{h^2 + k^2 - hk + sl^2}$$

523. — Système hexagonal. — Dans ce système (fig. 291), $a = b$, $C = 60°$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

$$\cos\delta = \frac{hh' + kk' + \frac{1}{2}(hk' + kh') + s\,ll'}{M \times M'} \qquad (7)$$

où :

$$M = \sqrt{h^2 + k^2 + hk + sl^2}$$

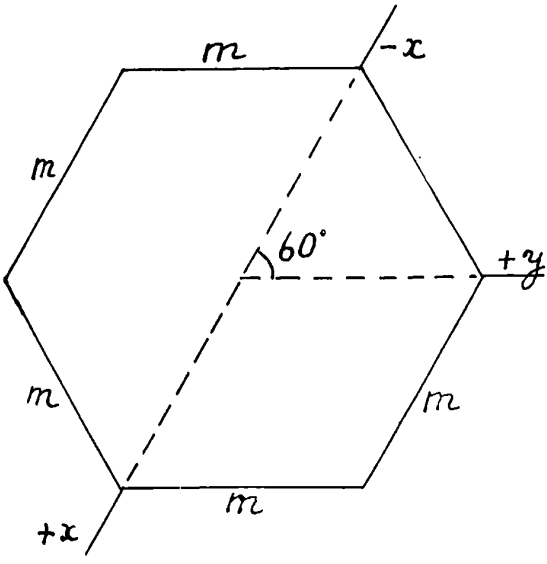


Fig. 291.

524. — La figure 292 montre la disposition des axes adoptés dans le *système clinorhombique*. Il faut donc, dans la formule (6), remplacer y par z et réciproquement ; l'angle C = β ; la formule devient :

$$\cos\delta = \frac{\frac{hh'}{a^2} + \frac{kk'}{b^2}\sin^2\beta + \frac{ll'}{c^2} + \frac{hl' + lh'}{ac}\cos\beta}{M \times M'} \qquad (8)$$

où :

$$M = \sqrt{\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2}\sin^2\beta + \frac{l^2}{c^2} + 2\frac{hl}{ac}\cos\beta}$$

525. — Système clinoédrique. — Soit (fig. 293) une projection stéréographique (§ 5) sur un plan passant par l'axe z. L'angle C de la formule (6), qui est l'angle h^1g^1, est l'angle supplémentaire

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de deux nouveaux axes X et Y normaux à z.

De même que l'on a trouvé la valeur de $\frac{H}{A}$ relative à X (formule 5), on trouvera la valeur de $\frac{K}{B}$ relative à Y :

$$\frac{H}{A} = \frac{ch + al\cos\beta}{ac\sin\beta}$$

$$\frac{K}{B} = \frac{ck + bl\cos\alpha}{cb\sin\alpha}$$

On applique la formule (5) aux axes X, Y, z.

Le numérateur multiplié par $\sin^2\alpha\sin^2\beta$ devient :

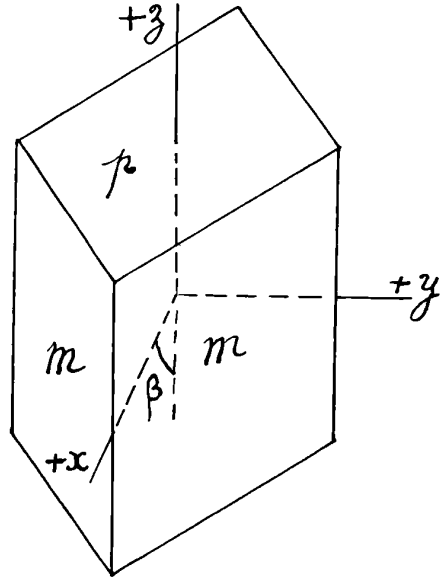


Fig. 292.

$$\text{Num.} = \frac{hh'}{a^2}\sin^2\alpha + \frac{kk'}{b^2}\sin^2\beta + D\frac{ll'}{c^2} + \frac{hk' + kh'}{ab}\sin\alpha\sin\beta\cos C + E\frac{hl' + lh'}{ac} + F\frac{kl' + lk'}{bc}$$

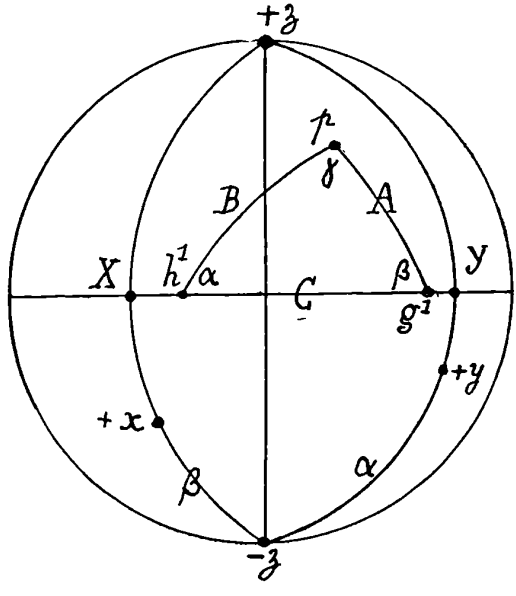


Fig. 293.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et le module M, multiplié par $\sin^2 \alpha \sin^2 \beta$:

$$M = \frac{h^2}{a^2} \sin^2 \alpha + \frac{k^2}{b^2} \sin^2 \beta + D \frac{l^2}{c^2} + 2 \frac{hk}{ab} \sin \alpha \sin \beta \cos C + 2E \frac{hl}{ac} + 2F \frac{kl}{bc}$$

les coefficients D, E, F étant :

$$D = \cos^2 \beta \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \sin^2 \beta + 2 \cos \alpha \cos \beta \sin \alpha \sin \beta \cos C + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \sin^2 C.$$

$$E = \cos \beta \sin^2 \alpha + \sin \alpha \sin \beta \cos \alpha \cos C.$$

$$F = \cos \alpha \sin^2 \beta + \sin \alpha \sin \beta \cos \beta \cos C.$$

Mais, dans le triangle ph^1g^1, on a :

$$\sin \alpha \sin \beta \cos C = \cos \gamma + \cos \alpha \cos \beta \text{ etc.} \qquad (9)$$

et l'on trouve aisément :

$$D = \sin^2 \gamma$$

$$E = \sin \alpha \sin \beta \cos B$$

$$F = \sin \beta \sin \gamma \cos A$$

et finalement :

$$\cos \delta = \frac{\sum \frac{h^2}{a^2} \sin^2 \alpha + \sum \frac{kl' + lk'}{bc} \sin \beta \sin \gamma \cos A}{M \times M'} \qquad (10)$$

où :

$$M = \sqrt{\sum \frac{h^2}{a^2} \sin^2 \alpha + \sum 2 \frac{kl}{bc} \sin \beta \sin \gamma \cos A}$$

formule que l'on peut employer pour le calcul de l'angle de deux faces.

Cependant, observant que :

$$\cos A - \cos B \cos C = \sin B \sin C \cos \alpha \quad \text{etc.}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

des transformations faciles de la formule (11) donneront :

$$\cos\delta = \frac{\sum \frac{hh'}{a^2} \sin^2 A + \sum \frac{kl' + lk'}{bc} \sin B \sin C \cos A}{M \times M'} \quad (11)$$

où :

$$M = \sqrt{\sum \frac{h^2}{a^2} \sin^2 A + \sum \frac{2\,kl}{bc} \sin B \sin C \cos A}$$

526. — Quelques exemples montreront l'usage que l'on peut faire de ces formules.

Système cubique. — Le cristal représenté par la figure 325 porte, en plus des faces du cube p, les faces d'un trapézoèdre $a^{3/2}$, sur la gauche une face de clivage a^1, et les faces d'un dodécatétraèdre marqué t.

Désignons par (h 1 l) la notation de la face t marquée d'un astérisque, pour laquelle on a mesuré les trois angles ν, μ, ρ qu'elle fait avec p (001), a^1 (1 $\bar{1}$ 1) et $a^{3/2}$ (2 2 3) :

$$\nu = 29°10' \qquad \mu = 50°49' \qquad \rho = 17°18'$$

Appliquons la formule (3) ; on a :

$$M = \sqrt{h^2 + 1 + l^2}$$

$$\cos\nu = \frac{l}{M} \qquad \cos\mu = \frac{h - 1 + l}{\sqrt{3}\,M} \qquad \cos\rho = \frac{2h + 2 + 3l}{\sqrt{17}\,M}$$

En posant :

$$q = \frac{\sqrt{3}\cos\mu}{\cos\nu} = 1{,}2532 \qquad q' = \frac{\sqrt{17}\cos\rho}{\cos\nu} = 4{,}500$$

on trouve :

$$h + l(1 - q) - 1 = 0$$
$$2h + l(3 - q') + 2 = 0$$

d'où

$$l = \frac{4}{q' - 2q - 1} = \frac{4}{0{,}9936} = 4$$

et

$$h = 1 + l(q - 1) = 2{,}0128 = 2$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Donc

$$h\,1\,l = (214) = b^1\,b^{\frac{1}{2}}\,b^{\frac{1}{4}}$$

527. — Système quadratique. — Le fragment de cristal, représenté par la figure 294, porte les faces p, m, a^1 et, sur chaque angle a, un biseau $s\,s'$.

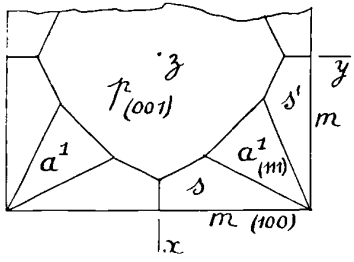


Fig. 294.

Mesures :

$$a^1\,a^1 = \alpha = 56^\circ\,22'$$
$$p\,s = \beta = 66^\circ\,35'$$
$$m\,s = \gamma = 40^\circ 30'$$
$$a^1\,s = \delta = 25^\circ 44'$$

Appliquant la formule (2) à l'angle α, relatif aux faces (111) et ($1\bar{1}1$), on a :

$$\cos\alpha = \frac{t^2}{2+t^2} \qquad \text{d'où} \qquad t^2 = \frac{\cos\alpha}{\sin^2\frac{\alpha}{2}}$$

Le calcul donne :

$$\log t^2 = 0{,}3821993 \qquad t^2 = 2{,}411$$

$$\frac{c}{a} = 0{,}6440$$

Appliquons la même formule aux angles β, γ et δ :

$$\cos\beta = \frac{t\,l}{M}\,(a) \qquad \cos\gamma = \frac{h}{M}\,(b)$$

$$\cos\delta = \frac{h+k+t^2 l}{M\sqrt{2+t^2}}\,(c) \qquad (M = \sqrt{h^2+k^2+t^2 l^2})$$

Divisons (b) et (c) par (a) :

$$\frac{h}{l} = \frac{t\cos\gamma}{\cos\beta} = 2{,}971$$

$$\frac{h}{k} + \frac{k}{l} + t^2 = \frac{t\cos\delta\,.\,l\,\sqrt{2+t^2}}{\cos\beta} = 7{,}392$$

et enfin

$$\frac{k}{l} = 2{,}010$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On prend : $h = 3 \qquad k = 2 \qquad l = 1$

Pour cette notation, $M = \sqrt{13 + t^2}$

$$\log M = 0{,}5939154$$

et les formules (*a*), (*b*), (*c*) donnent :

$$\beta = 66°42' \qquad \gamma = 40°9'30'' \qquad \delta = 25°59'30''$$

angles concordant avec les mesures.

La notation du biseau est : $s = b^{\frac{1}{3}}\, b^{\frac{1}{2}}\, h^1$

528. — Système rhomboédrique. — Prenons par exemple un cristal de quartz (fig. 295) portant, en plus des faces e^2, p et $e^{\frac{1}{2}}$, une face u dont on a mesuré les angles $\alpha = 18°29'$ avec la face e^2 antérieure et $\beta = 47°22'$ avec la face e^2 latérale.

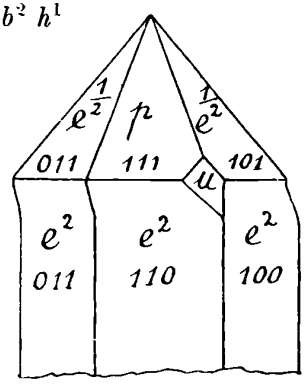


Fig. 295.

Ces faces e^2 ont pour notations (**518**) :

face ant. $\quad d^1\, d^1\, b^{\frac{1}{2}} = (1\ \bar{1}\ 2)_{xyz} = (1\ 1\ 0)_{xyz}$

face lat. $\quad b^{\frac{1}{2}}\, d^1\, d^1 = (\bar{2}\ 1\ 1)_{xyz} \equiv (1\ 0\ 0)_{xyz}$

Désignons par (*hkl*) la notation inconnue de la face u et appliquons la formule (6) à l'angle α pour (*hkl*) (110) et à l'angle β pour (*hkl*) (100). On a :

$$\cos\alpha = \frac{h + k}{2M} \qquad \cos\beta = \frac{2h - k}{2M}$$

M étant le module $\sqrt{h^2 + k^2 - hk + s^2 l^2}$ de u (*hkl*) [1].

En divisant ces deux équations membre à membre, on a :

$$\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = \frac{2h + k}{h - k}$$

(1) Dans le quartz, on a $s = 0{,}61986$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

puis

$$\frac{h}{k} = \frac{2\cos\alpha - \cos\beta}{\cos\alpha + \cos\beta}$$

On trouve :

$$\frac{h}{k} = 1{,}3331 = \frac{4}{3}.$$

La première formule donne ensuite :

$$4\cos^2\alpha \,.\, (h^2 + k^2 - hk + \mathrm{s}\, l^2) = h^2 + k^2 + 2hk$$

et en remplaçant $\frac{h}{k}$ par sa valeur $\frac{4}{3}$:

$$4\cos^2\alpha \,.\, \left(\frac{13}{9} + \mathrm{s}\,\frac{l^2}{k^2}\right) = \frac{49}{9}$$

d'où

$$\frac{l^2}{k^2} = \frac{49 - 52\cos^2\alpha}{36\,\mathrm{s}\,.\cos^2\alpha} = \frac{2{,}227}{20{,}008}$$

et

$$\frac{l}{k} = 0{,}3336 = \frac{1}{3}$$

La notation de la face u est donc :

$$(hkl) = \left(\frac{4}{3}\,.1.\,\frac{1}{3}\right) = (431)_{xyz} \equiv (\bar{4}\,\bar{1}\,8)_{xyz} = d^{\frac{1}{4}}\, d^{1}\, b^{\frac{1}{8}}$$

Effectivement, appliquant la formule (6) aux faces (431) et (110) pour α et (431) et (100) pour β. on trouve :

$$\cos\alpha = \frac{7}{2\sqrt{13 + \mathrm{s}}} = \frac{7}{2\sqrt{13{,}61986}}$$

$$\cos\beta = \frac{5}{2\sqrt{13 + \mathrm{s}}} = \frac{5}{2\sqrt{13{,}61986}}$$

et le calcul donne :

$$\alpha = 18°29'25'' \qquad\qquad \beta = 47°21'30''$$

ce qui coïncide parfaitement avec les mesures.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

§ 4. — DES ZONES

529. — Zones. — On appelle *zone* l'ensemble de faces qui se coupent parallèlement à une même droite appelée *axe de zone.*

Soit AB (fig. 296) l'axe de zone. La zone est déterminée par deux faces **M** et **N** de notations (*hkl*) et (*h'k'l'*) ; il doit exister une relation entre les caractéristiques (*HKL*) d'une face quelconque P de la zone et celle des deux premières faces ; cette relation est l'*équation de la zone.*

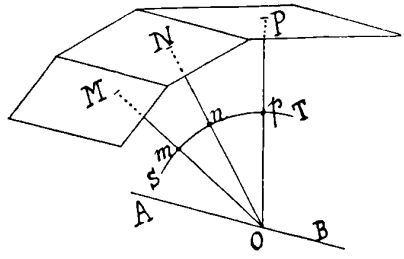


Fig. 296

Les segments coupés sur les axes par la face **M** étant $\frac{\mathbf{a}}{h}$, $\frac{\mathbf{b}}{k}$, et $\frac{\mathbf{c}}{l}$, si nous menons par l'origine un plan parallèle à **M**, ce plan aura pour équation :

$$\frac{hx}{\mathbf{a}} + \frac{ky}{\mathbf{b}} + \frac{lz}{\mathbf{c}} = 0$$

De même, l'équation d'un plan parallèle à **N** sera

$$\frac{h'x}{\mathbf{a}} + \frac{k'y}{\mathbf{b}} + \frac{l'z}{\mathbf{c}} = 0$$

et tout plan passant par leur intersection sera représenté par :

$$\frac{x}{\mathbf{a}}(h + \lambda h') + \frac{y}{\mathbf{b}}(k + \lambda k') + \frac{z}{\mathbf{c}}(l + \lambda l') = 0$$

Or, le plan parallèle à P a pour équation :

$$\frac{x}{\mathbf{a}}H + \frac{y}{\mathbf{b}}K + \frac{z}{\mathbf{c}}L = 0$$

Pour que ces deux dernières équations représentent le même plan, on doit avoir :

$$\frac{h + \lambda h'}{H} = \frac{k + \lambda k'}{K} = \frac{l + \lambda l'}{L}$$

En éliminant λ entre ces deux équations, on trouve l'équation de la zone :

$$H(kl' - lk') + K(lh' - hl') + L(hk' - kh') = 0.$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les coefficients de H, K, L, se trouvent aisément comme suit :

$$\begin{array}{c|c|c} h & k \times l \times h \times k & l \\ h' & k' \times l' \times h' \times k' & l' \end{array}$$

$$[(kl' - lk')\,(lh' - hl')\,(hk' - kh')]$$

L'équation de la zone s'écrit symboliquement en plaçant ces trois coefficients entre crochets.

530. — Pour obtenir la notation d'une face qui se trouve à l'intersection de deux zones, il suffit de rechercher les équations de chacune d'elles et d'en déduire les valeurs de $\frac{H}{K}$ et de $\frac{L}{K}$.

Exemple. — Soit (fig. 297) une face M se trouvant dans la zone des faces A et B et dans la zone des faces C et D, les notations de ces quatre faces étant celles inscrites sur la figure.

Zone AB :

$$\begin{array}{c|c|c} 1 & 2 \times 1 \times 1 \times 2 & 1 \\ 1 & 3 \times 2 \times 1 \times 3 & 2 \end{array}$$

$$[1 \quad \bar{1} \quad 1] \qquad \ldots . \qquad (a)$$

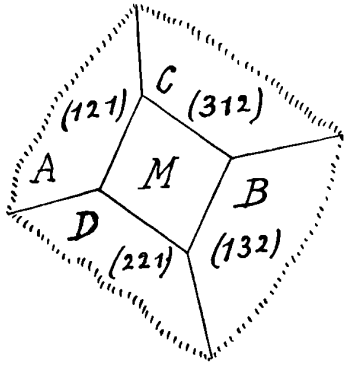


Fig. 297.

équation : $H - K + L = 0$

Zone CD :

$$\begin{array}{c|c|c} 3 & 1 \times 2 \times 3 \times 1 & 2 \\ 2 & 2 \times 1 \times 2 \times 2 & 1 \end{array}$$

$$[\bar{3} \quad 1 \quad 4] \qquad (b)$$

équation : $3H - K - 4L = 0$

De ces deux équations, on tire :

$$\frac{H}{K} = \frac{5}{7} \qquad \frac{L}{K} = \frac{2}{7}$$

La notation de la face M est (572).

Remarque très utile :

On trouve d'ailleurs aisément cette notation en appliquant aux coefficients (a) et (b) la même disposition de calcul que plus haut :

$$\begin{array}{c|c|c} 1 & \bar{1} \times 1 \times 1 \times \bar{1} & 1 \\ \bar{3} & 1 \times 4 \times \bar{3} \times 1 & 4 \end{array}$$

$$(\bar{5} \quad \bar{7} \quad \bar{2})$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

531. — Il existe aussi une relation très utile entre les caractéristiques de *quatre* faces en zone et les angles qu'elles font entre elles. Cette relation, indiquée par Miller, est :

$$\frac{\sin \varphi_{1\cdot 2} \times \sin \varphi_{3\cdot 4}}{\sin \varphi_{1\cdot 3} \times \sin \varphi_{2\cdot 4}} = \frac{(h_1 k_2 - k_1 h_2)(h_3 k_4 - k_3 h_4)}{(h_1 k_3 - k_1 h_3)(h_2 k_4 - k_2 h_4)} \quad (12)$$

le second membre pouvant d'ailleurs s'appliquer aux caractéristiques h et l (ou k et l).

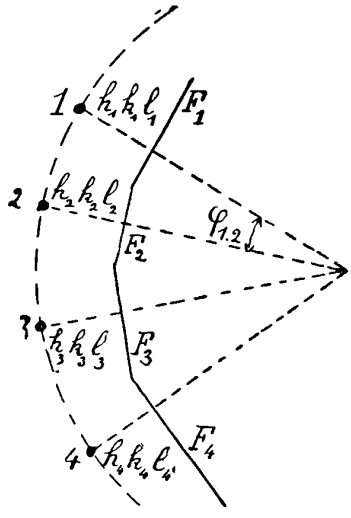


Fig. 298.

La figure 298 qui est une section faite normalement à l'axe de zone explique les notations employées.

Soient maintenant [1] Ox' et Oy' (fig. 299) les projections des axes x et y sur un plan perpendiculaire à l'axe de zone O. Toute face (hkl) de la zone est normale au plan de projection et, si a' et b' représentent les longueurs des projections des paramètres a et b, les segments coupés par la face sur les axes Ox' et Oy' seront $\frac{a'}{h}$ et $\frac{b'}{k}$.

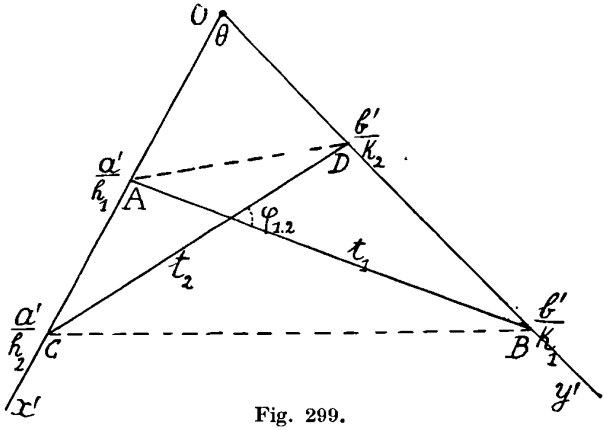


Fig. 299.

[1] Cette relation est due à Miller. La démonstration, extrêmement simple, que nous reproduisons ici a été donnée par M. Cesàro, qui a d'ailleurs démontré la formule par cinq méthodes différentes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Or, l'aire d'un quadrilatère égale le demi-produit de ses diagonales par le sinus de l'angle qu'elles font entre elles. Ecrivons donc que le quadrilatère ADBC équivaut à la différence des triangles OBC et OAD et appliquons la formule aux quatre couples de faces qui entrent dans la relation (14).

Désignons par t_1 et t_2 les segments AB et CD interceptés par x' et y' sur les traces des faces $(h_1k_1l_1)$ et $(h_2k_2l_2)$; on a :

$$t_1t_2 \sin \varphi_{1\cdot 2} = \frac{a'}{h_2} \cdot \frac{b'}{k_1} \sin \theta - \frac{a'}{h_1} \cdot \frac{b'}{k_2} \sin \theta = a'\, b' \sin \theta . \frac{h_1k_2 - k_1h_2}{k_1k_1 \,.\, k_2h_2}$$

De même :

$$t_3t_4 \sin \varphi_{3\cdot 4} = a'\, b' \sin \theta \,.\, \frac{h_3k_4 - k_3h_4}{h_3k_3 \,.\, h_4k_4}$$

$$t_1t_3 \sin \varphi_{1\cdot 3} = a'\, b' \sin \theta \,.\, \frac{h_1k_3 - k_1h_3}{h_1k_1 \,.\, h_3k_3}$$

$$t_2t_4 \sin \varphi_{2\cdot 4} = a'\, b' \sin \theta \,.\, \frac{h_2k_4 - k_2h_4}{h_2k_2 \,.\, k_4h_4}$$

Divisant le produit des deux premières relations par le produit des deux secondes on obtient la relation (12).

Observons que cette relation s'applique aussi bien aux caractéristiques h et l, que k et l et h et k.

Exemple. — Supposons que, dans un prisme à base carrée, entre une face p (001) et une face m (100), existent deux faces de notation générale b^m ; supposons que l'une, faisant avec p un angle $\alpha = 61°6'$, ait pour notation $b^{\frac{1}{2}}$ et que l'autre, comprise entre p et $b^{\frac{1}{2}}$, fasse avec p un angle $\beta = 24°22'$. Comme l'angle $pm = 90°$ (fig. 306), on a :

$$\varphi_{1\cdot 2} = \beta\,, \quad \varphi_{1\cdot 3} = \alpha\,, \quad \varphi_{3\cdot 4} = 90° - \alpha, \quad \varphi_{2\cdot 4} = 90° - \beta\,.$$

L'équation de la zone est :

$$k = 0\,;$$

toutes ses faces sont effectivement parallèles à l'axe y. La relation (12), appliquée aux caractéristiques h et l, donne :

$$\frac{\sin \beta \times \cos \alpha}{\sin \alpha \times \cos \beta} = \frac{-h \times -1}{-2 \times -l}$$

ou

$$\frac{h}{l} = 2 \operatorname{tg} \beta \operatorname{cotg} \alpha\,.$$

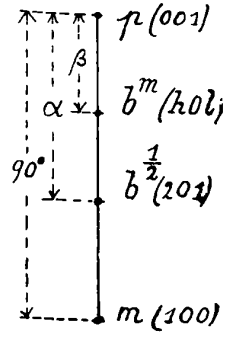


Fig. 300.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On trouve :

$$\frac{h}{l} = \frac{1}{2}$$

et la notation de la face b^m est :

$$(102) = b^2$$

§ 5. — PROJECTIONS STÉRÉOGRAPHIQUES

532. — Dans la méthode générale du calcul cristallographique ramené à la résolution de triangles sphériques, toutes les faces d'un cristal peuvent être figurées par leurs pôles sur une sphère décrite de l'origine des axes *xyz* comme centre, avec un rayon égal à l'unité. Cette sphère, chargée de pôles, se représente le plus pratiquement sur le plan du dessin à l'aide de sa projection stéréographique.

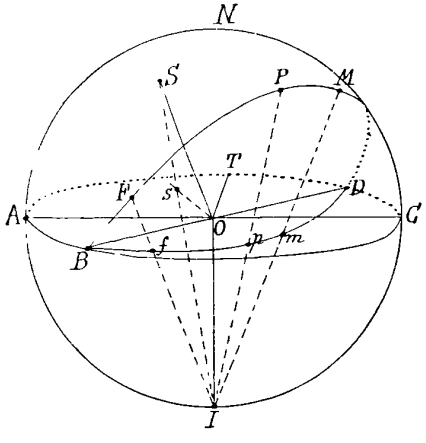


Fig. 301.

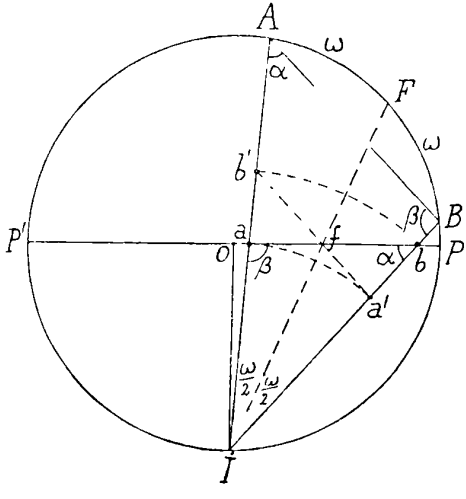


Fig. 302.

Soit (fig. 301) O le centre de la sphère et ABC le plan du dessin qui coupe la sphère suivant un grand cercle, dit *cercle d'horizon* ; l'œil est supposé en I, à l'extrémité du rayon OI normal au cercle d'horizon. Un pôle P d'une face est représenté par le point *p* où la droite PI coupe le cercle d'horizon.

533. — *La projection stéréographique de tout cercle tracé sur la sphère est un cercle.* En effet, soit (fig. 302) AB un cercle quelconque que nous pouvons supposer normal au plan de la figure ; PP′ est

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

le plan de projection. Le diamètre AB se projette en *ab*. On voit, par les mesures, que les angles marqués α sont égaux entre eux ; il en est de même des angles marqués β. Prenons $Ib' = Ib$ et $Ia' = Ia$. Les triangles Iab et $Ia'b'$ étant égaux, en tournant de 180° autour de If, la partie Iab du cône IAB vient occuper la partie $Ia'b'$ et la courbe de section *ab* vient coïncider avec *a'b'*.

Le plan *a'b'*, parallèle au plan AB, découpe dans le cône un cercle ; il en résulte que *ab* est également un cercle.

534. — Un grand cercle de la sphère tel que FPM (fig. 301) a donc pour projection stéréographique un cercle *fpm*. Or un grand cercle de la sphère coupe le cercle d'horizon suivant un diamètre BD ; sa projection stéréographique coupera donc aussi le cercle d'horizon suivant le diamètre BD et, comme toutes les faces d'une même zone (fig. 296) ont leurs pôles sur un grand cercle, il en résulte que *toutes les faces d'une même zone ont leurs projections stéréographiques sur un cercle qui coupe le cercle d'horizon suivant un de ses diamètres.*

Si le cercle de zone est perpendiculaire au cercle d'horizon (c'est le cas du cercle ANC), son plan passe par le centre O et par l'œil I et sa projection sera une droite AC passant par le centre O, c'est-à-dire un diamètre du cercle d'horizon.

L'angle des deux faces P et M étant mesuré par l'arc de grand cercle PM, cet angle sera représenté par l'arc du cercle *pm* qui, passant par leurs projections, coupe le cercle d'horizon suivant un diamètre.

535. — *Tracer le grand cercle de zone qui passe* (fig. 303) *par deux points a et b donnés en projection stéréographique.*

Menons la droite *ab* et, par les points M et *a*, menons deux droites parallèles MN et *a*S, de direction quelconque. Prenons MN = M*b* et *a*S = D*a*. La droite NS coupe *ab* en un point T. Le diamètre QP passant par T est le diamètre du cercle de zone *ab*.

En effet, on a :

$$\frac{MN}{Sa} = \frac{Mb}{Da} = \frac{MT}{Ta}$$

ou

$$\frac{MT - Tb}{Ta - TD} = \frac{MT}{Ta}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

d'où l'on tire :

$$T\,b \times T\,a = MT \times TD$$

Or, dans le cercle d'horizon, on a :

$$MT \times TD = TQ \times TP$$

donc

$$T\,b \times T\,a = TQ \times TP$$

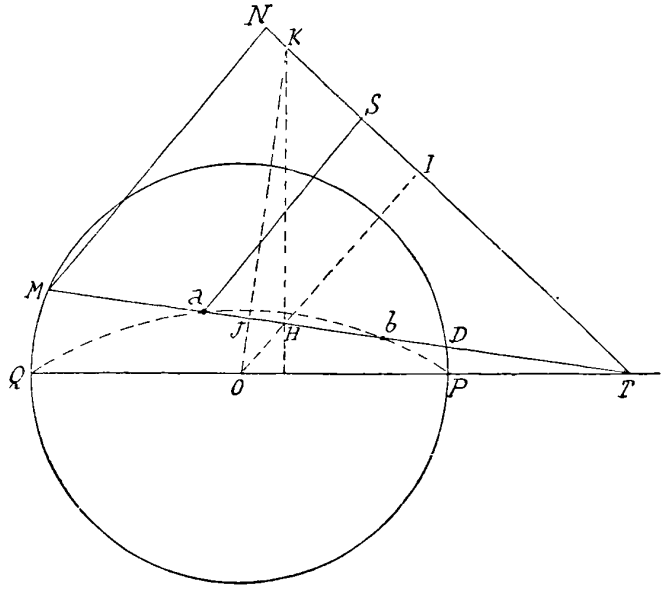


Fig. 303.

Les points Q, *a*, *b*, P sont donc sur un même cercle.

Si le point T tombait en dehors de l'épure, il suffirait de mener OJK perpendiculairement à *ab* et OHI perpendiculairement à NS. Les hauteurs du triangle TOK se coupant en un même point, il en résulte que KH est normal au diamètre cherché QP.

On peut aussi employer la construction suivante (fig. 304). Par les deux pôles

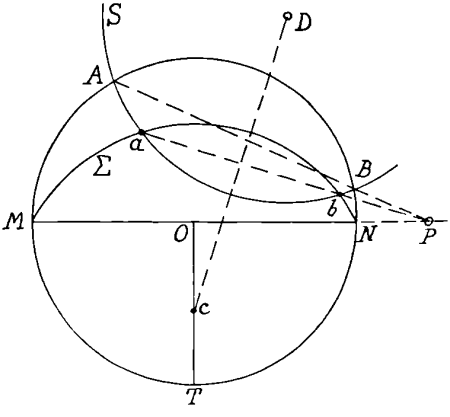


Fig. 304.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

a et b, on fait passer un cercle de rayon quelconque ; soit S ce cercle, D son centre. On mène les droites AB et ab qui se coupent en P. Le diamètre MON qui passe par P est le diamètre suivant lequel le cercle de zone cherché Σ coupe le cercle d'horizon. En effet, dans le cercle S, on a :

$$PA \times PB = Pa \times Pb$$

et dans le cercle d'horizon

$$PA \times PB = MP \times NP$$

Donc, $Pa \times Pb = MP \times NP$ et les quatre points M, a, b, N sont sur un même cercle.

Le centre c du cercle Σ se trouve d'ailleurs aisément : on mène par O la normale au diamètre MN et par D la normale à la corde $a\,b$; le centre est à l'intersection des deux normales.

536. — Un axe de zone OS (fig. 301) perce la sphère en un point S distant de 90° de chacun des points du cercle BPD ; de plus, la projection s du pôle S se trouve sur une droite Os normale au diamètre BD et le plan SOI est normal à BD. Il est donc aisé de trouver la projection stéréographique du pôle d'un cercle de zone. Si l'on imagine, en effet (fig. 305), le plan TOS perpendiculaire au diamètre DD′ d'un cercle de zone D ba D′, et si on le rabat autour de TS, l'œil vient en D′, le point dont m est la projection vient en M et l'axe de zone est normal à OM. En traçant cette normale OP et en joignant P à D′, on aura en p la projection du pôle de l'axe de zone.

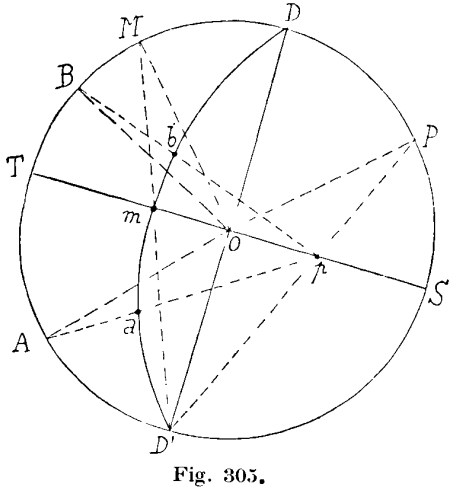


Fig. 305.

Si l'on veut *chercher l'angle de deux faces données par leurs projections stéréographiques a et b*, on se rappellera que, si par la droite qui joint les pôles de deux grands cercles on fait passer deux plans, ces plans déterminent sur les deux grands cercles des arcs égaux. En effet, prenons pour plan du tableau un plan (fig. 306) passant par le diamètre AB,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

des deux grands cercles C_a et C_b de pôles a et b et parallèle à la droite ab. On voit que le plan AB normal au tableau est un plan de symétrie de la figure et que, si l'on trace les deux cercles coupés sur la sphère par deux plans menés par ab, les arcs mn et $m'n'$ sont égaux.

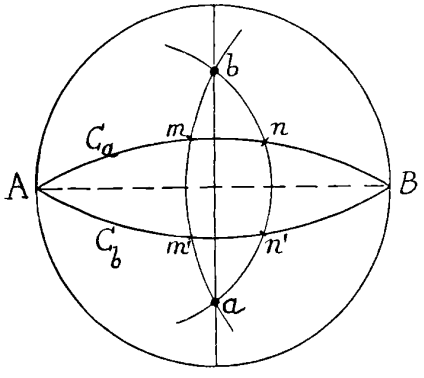


Fig. 306.

Soient donc a et b les deux pôles (fig. 305) ; menons le grand cercle DbaD' ; cherchons son pôle p. Les plans projetés suivant pa et pb passent, d'une part par l'œil (pôle du cercle d'horizon) et par p (pôle du cercle ab) ; il en résulte que, sur la sphère, l'arc ab est égal à l'arc AB et celui-ci peut se mesurer en AOB.

537. — Observons que si le cercle de zone est normal au plan du dessin et se projette (fig. 301) suivant une droite AC, son pôle se trouvera en T, sur le cercle d'horizon, à l'extrémité du rayon normal au diamètre AC.

Observons aussi que, pour les pôles A et B se trouvant sur le cercle d'horizon, l'arc AB mesure directement l'angle AOB des faces qu'ils représentent.

538. — On prend ordinairement pour plan d'horizon un plan du cristal perpendiculaire à un axe multiple ou à un axe binaire. Dans le système clinoédrique, on prend le plan horizontal perpendiculaire aux faces m et t.

539. — Comme exemple, dessinons la projection stéréographique du cristal d'*idocrase* représenté par la figure 307.

Le plan d'horizon (fig. 308) est la base p ; les pôles des faces verticales m et h^1 se trouvent, à 45° l'un de l'autre, sur le cercle d'horizon.

Pour trouver la projection stéréographique d'une face a^1

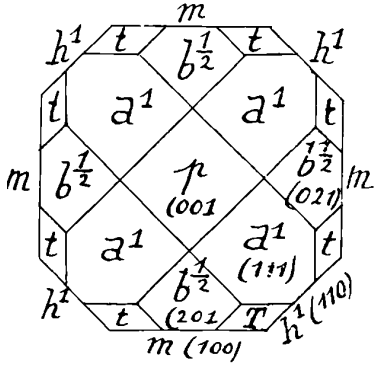


Fig. 307.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

pour laquelle on donne $pa^1 = \alpha = 28°15'$, observons que a^1 se trouve sur le cercle de zone ph^1 ; rabattons ce cercle autour de son diamètre BC ; l'œil vient en D et p en P ; prenons PA = α et joignons A à D ; à l'intersection de AD et de BC se trouvera la projection de a^1, dont les trois autres pôles se dessineront sur les autres droites ph^1, à même distance de p.

Nous savons qu'une face $b^{\frac{1}{2}}$ est en zone entre a^1 de droite et h^1 de gauche, et qu'elle se trouve aussi dans les zones pm ; par a^1 et par deux faces h^1 du diamètre normal au pa^1 considéré, faisons passer un cercle ; les pôles $b^{\frac{1}{2}}$ auront leurs projections aux intersections de ces cercles et des diamètres pm.

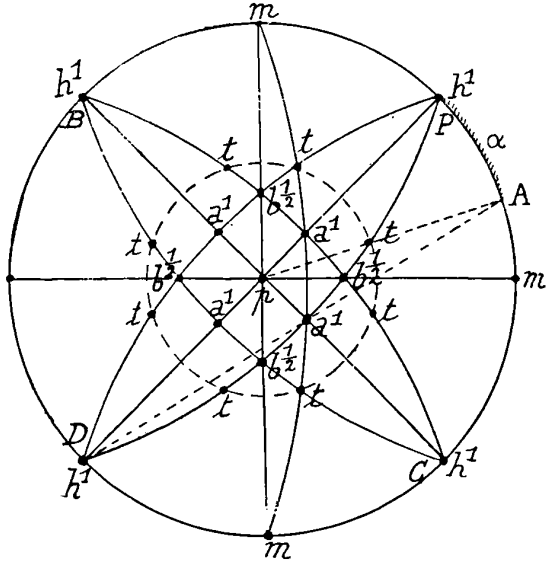


Fig. 308.

Le pôle d'une face t se trouvera en faisant passer un cercle par a^1 et deux faces m opposées ; à l'intersection de cette zone et de la zone $a^1b^{\frac{1}{2}}h^1$, est fixé un pôle t ; les autres se trouveront sur les autres cercles $b^{\frac{1}{2}}h^1$, à même distance de p.

La projection montre bien la symétrie quadratique du cristal.

On trouvera plus loin d'autres exemples de ce système de projection.

§ 6. — FORMULE FONDAMENTALE DU CALCUL CRISTALLOGRAPHIQUE

540. — Soit ABC (fig. 309) une face de caractéristiques (hkl). Abaissons OI perpendiculaire à la face ABC et traçons les

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

droites AI, BI, CI. Désignons par **x**, **y**, **z**, les angles que OI fait avec les trois axes. On a :

$$\mathrm{OI} = \frac{\mathbf{a}}{h}\cos\mathbf{x} = \frac{\mathbf{b}}{k}\cos\mathbf{y} = \frac{\mathbf{c}}{l}\cos\mathbf{z} \qquad (13)$$

Les angles **x**, **y**, **z**, doivent pouvoir se calculer en partant de mesures faites au goniomètre entre cette face (*hkl*) et d'autres faces dont les pôles sont déjà déterminées sur la sphère (telles que les faces du trièdre primitif).

Si, donc, à une face (*hkl*) on donne une notation déterminée, on pourra calculer les rapports des paramètres **a : b : c**, puis, ces paramètres étant connus, on pourra calculer les rapports $h:k:l$ relatifs à une autre face.

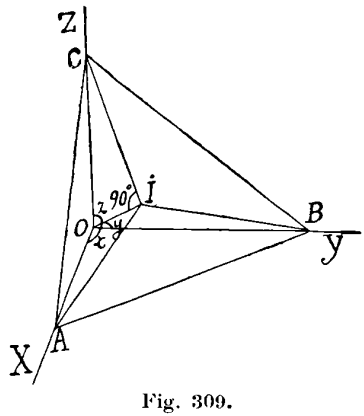


Fig. 309.

Observation. — Comme il y a deux inconnues h et l ($k = 1$), il faudra deux angles pour déterminer la notation d'une face. Cependant, si la face fait partie d'une zone connue, un seul angle suffira, l'équation de la zone donnant déjà une relation entre h, k et l. Si la face fait partie de deux zones, nous avons vu (**530**) que sa notation est facilement déterminable.

§ 7. — MÉTHODE GÉNÉRALE DE CALCUL

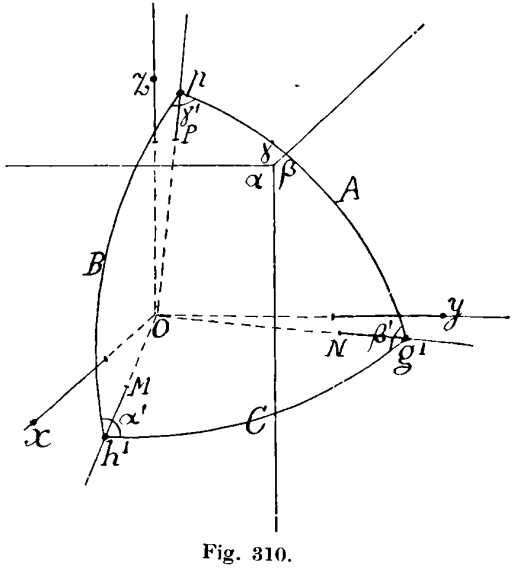


Fig. 310.

541. — Soient Ox, Oy, Oz (fig. **310**) les trois axes cristallographiques, qui sont parallèles aux intersections des plans h^1, g^1, et p. Du centre O, abaissons des normales OM. ON, OP sur ces trois plans. Ces normales détermineront, sur une sphère de rayon égal à l'unité, (fig. **311**), trois points $\mathbf{h^1}$, $\mathbf{g^1}$, **p**, qui sont les pôles des mêmes faces, et ces points

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

seront les sommets d'un triangle sphérique $\mathbf{h^1g^1p}$, dont les côtés mesureront les angles

$$A = g^1p \quad B = h^1p \quad C = h^1g^1$$

c'est-à-dire les angles dièdres tels qu'ils sont mesurés au goniomètre. Les angles du triangle représenteront les suppléments des angles plans α, β, γ, du trièdre $\mathbf{ph^1g^1}$, qui sont précisément les angles que les axes font entre eux, puisque les axes sont parallèles aux intersections des faces du trièdre ; nous désignons ces suppléments par α', β', γ'.

Les axes Ox, Oy, Oz ne coïncident pas, dans le système clinoédrique, avec les normales $\mathbf{Oh^1}$, $\mathbf{Og^1}$, $\mathbf{Op}$ et ils couperont la sphère en des points x, y, z qui détermineront un second triangle sphérique (non dessiné sur la figure 310), dont les côtés représentent les angles α, β, γ des axes coordonnés et dont les angles représentent les suppléments A' B', C' des angles A, B, C. En d'autres termes, les triangles sphériques xyz et $\mathbf{h^1g^1p}$ sont polaires (fig. 311).

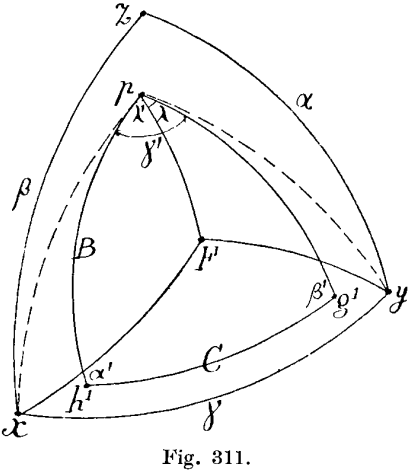


Fig. 311.

Nous appelons le triangle $\mathbf{ph^1g^1}$ *triangle primitif*.

542. — La méthode générale à suivre pour le calcul peut s'indiquer comme suit.

On dessinera la projection stéréographique des pôles des différentes faces du cristal, déterminés par les angles mesurés au goniomètre. Comme les axes cristallographiques sont parallèles aux trois arêtes ph^1, pg^1 et h^1g^1, leurs pôles pourront également être fixés sur la projection stéréographique que l'on dessinera sur un plan normal à l'un des axes, à l'axe z par exemple (fig. 312). Les mesures prises doivent permettre de calculer, pour chacun des pôles, tel que P, sa colatitude Λ ainsi que sa longitude Φ prise par rapport à un méridien initial déterminé par un plan vertical passant par le pôle M d'une face convenablement choisie. Tous les angles Λ et Φ permet-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

tront évidemment de calculer, non seulement l'angle de deux faces, mais aussi les angles **x**, **y**, **z** que chaque face fait avec les axes cristallographiques : l'angle **z** est égal à Λ et l'angle **x**, par exemple, pour la face P, sera donné par la formule :

$$\cos \mathbf{x} = \cos \Lambda_x \cos \Lambda_P + \sin \Lambda_x \sin \Lambda_P \cos (\Phi_P - \Phi_x)$$

Il sera donc aisé d'appliquer la formule fondamentale du calcul à une face quelconque.

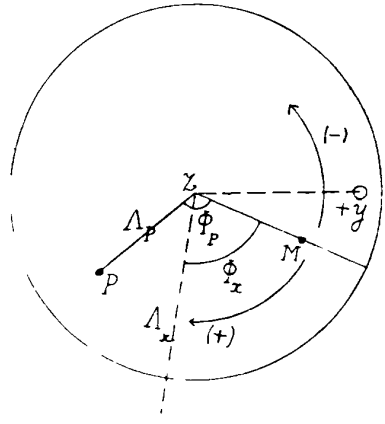


Fig. 312.

Note. — Les longitudes Φ pourront être comptées positivement et négativement (fig. 312) à partir du méridien initial ; on devra alors tenir compte des signes dans le calcul des cosinus.

§ 8. — EXEMPLES DE CALCULS CRISTALLOGRAPHIQUES

543. — Nous donnons ci-dessous un exemple de calcul pour chacun des systèmes cristallins.

Dans chaque cas, nous exposerons d'abord les données du problème ; nous chercherons ensuite les formules trigonométriques à appliquer en y ajoutant les procédés indiqués précédemment (§ 3 et § 4) qui facilitent souvent les calculs et nous indiquerons les solutions obtenues ; nous ajouterons même la disposition des calculs logarithmiques dans un exemple ; le lecteur pourra ainsi trouver un guide dans les applications qu'il aurait à faire.

Sauf dans le système clinoédrique, deux au moins des axes cristallographiques sont normaux au troisième que l'on prendra perpendiculairement au plan du dessin. Les formules se simplifieront alors, car si, par exemple, l'axe y est normal à z, le pôle y se trouvera sur le cercle d'horizon et comme $\Lambda_y = 90°$, on aura pour une face P

$$\cos \mathbf{y} = \sin \Lambda_P \cos (\Phi_P - \Phi_y).$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On verra dans les exemples donnés qu'il n'est pas toujours nécessaire de dresser le tableau des Λ et des Φ : on pourra généralement remplacer directement les cos **x**, cos **y** et cos **z** par des fonctions des angles mesurées.

A. — **Système Clinoédrique**

Soit un cristal d'*anorthite* (fig. 313) formé de six faces verticales que l'on a prises comme faces g^1, m et t et surmontées par quatre faces dont l'une est prise pour base p ; une autre, située en zone entre p et g^1 de gauche, a reçu la notation $e^{\frac{1}{2}}$. Les cinq mesures suivantes :

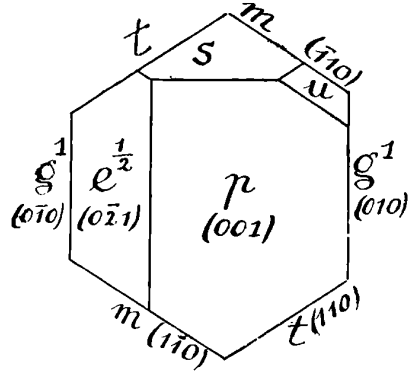


Fig. 313.

$$m\,(1\bar{1}0).t \quad (110) = 59°30' = \lambda$$
$$m\,(1\bar{1}0).g^1 \quad (0\bar{1}0) = 62°26' = \varphi$$
$$p\ (001).g^1 \quad (0\bar{1}0) = 94°10' = \mu$$
$$p\ (001).e^{\frac{1}{2}} \quad (0\bar{2}1) = 46°46' = \nu$$
$$p\ (001).m \quad (1\bar{1}0) = 69°20' = \rho$$

doivent servir à déterminer les dimensions du prisme primitif, c'est-à-dire : α, β, γ, $\frac{\mathbf{a}}{\mathbf{b}}$, $\frac{\mathbf{c}}{\mathbf{b}}$.

La notation de la face s s'obtiendra en tenant compte de ce qu'elle fait partie de la zone $m\ (1\bar{1}0).e^{\frac{1}{2}}\ (0\bar{2}1)$ et qu'elle fait avec $e^{\frac{1}{2}}$ un angle $\delta = 83°14'$.

La notation de la face u s'obtiendra à l'aide des deux mesures suivantes :

$$u.g^1(010) = 62°18' = \varepsilon$$
$$u.p\,(001) = 54°12' = \theta$$

Dessinons (fig. 314) la projection stéréographique des pôles de ces diverses faces sur un plan perpendiculaire à l'axe de zone *mt*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les pôles des faces g^1, m et t se trouvent sur le cercle d'horizon ; les faces g^1, $e^{\frac{1}{2}}$ et p ont leurs pôles sur un grand cercle qui coupe le cercle d'horizon suivant le diamètre g^1_{010}. $g^1_{0\bar{1}0}$. La face h^1 a son pôle sur le cercle d'horizon, entre m et t mais l'intervalle $m\ h^1$ est inconnu. En traçant le grand cercle $h^1\ p$, nous aurons en $p\ h^1\ g^1$ le *triangle primitif* (**541**) dont les côtés représentent les angles que nous avons noté A, B, C et dont les angles sont les suppléments α', β', γ' des angles α, β, γ, que les axes font entre eux.

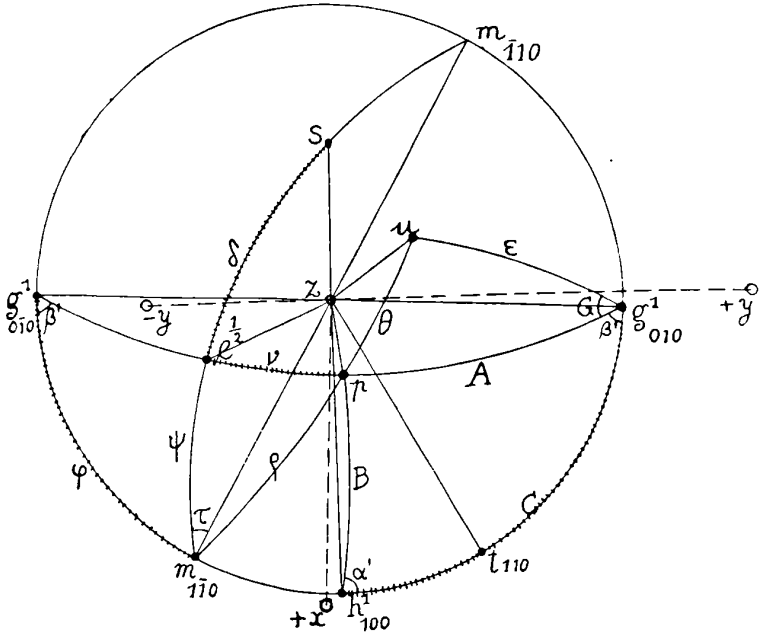


Fig. 314.

Calcul du triangle primitif. — Les quatre faces g^1, m, h^1, t sont en zone ; nous connaissons leurs notations ; nous connaissons l'angle $g^1\ m = \varphi$ et l'angle $m\ t = \lambda$; désignant par C' (supplément de C) l'angle $g^1_{0\bar{1}0}$. h^1_{100} et appliquant aux quatre faces la relation (12) du n° 531 nous aurons :

$$\frac{\sin\varphi \cdot \sin(\varphi + \lambda - C')}{\sin C' \cdot \sin\lambda} = \frac{1 \times 1}{1 \times 2} = \frac{1}{2}$$

ou

$$\frac{\sin(\varphi + \lambda - C')}{\sin C'} = \frac{\sin\lambda}{2\sin\varphi} = M \qquad \text{(a)}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On tire de là, en ajoutant et soustrayant les termes :

$$\frac{\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi + \lambda)}{\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi + \lambda - 2\,C')} = \frac{M+1}{M-1}$$

et

$$\operatorname{tg} \tfrac{1}{2}(\varphi + \lambda - 2\,C') = \frac{M-1}{M+1} \cdot \operatorname{tg} \tfrac{1}{2}(\varphi + \lambda) \qquad \textbf{(b)}$$

On trouve :

$$C' = 92°53'49'' \qquad\qquad C = 87°6'11''$$

L'angle β', qui est l'angle des deux cercles pg^1 et h^1g^1, se calcule immédiatement dans le triangle $p\ g^1\ m$ dont on connaît les trois côtés : $g^1\ p = \mu$, $g^1\ m = \varphi$ et $m\ p = \rho$. Désignant par **p** le demi-périmètre :

$$\cos \tfrac{1}{2}\beta' = \sqrt{\frac{\sin \mathbf{p} \sin (\mathbf{p} - \rho)}{\sin \mu \sin \rho}}. \qquad \textbf{(c)}$$

On trouve :

$$\beta' = 64°4'25''\,; \qquad \text{d'où :} \quad \beta = 115°55'35''.$$

Le triangle primitif est alors déterminé par les trois éléments : $g^1h^1 = C$, $g^1\ p = A = (180° - \mu)$, et β'. On peut calculer les trois autres éléments comme suit :

$$\cos B = \cos A \cos C + \sin A \sin C \cos \beta' \qquad \textbf{(d)}$$

$$B = 63°56'55'',5$$

$$\operatorname{cotg} \alpha' = \frac{\operatorname{cotg} A \sin C}{\sin \beta'} - \cos C \operatorname{cotg} \beta' \qquad \textbf{(e)}$$

$$\alpha' = 86°46'33'' \qquad\qquad \alpha = 93°13'27''$$

$$\operatorname{cotg} \gamma' = \frac{\operatorname{cotg} C \sin A}{\sin \beta'} - \cos A \operatorname{cotg} \beta' \qquad \textbf{(f)}$$

$$\gamma' = 88°48'30'' \qquad\qquad \gamma = 91°11'30''$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Calcul des Λ *et* Φ. — Nous calculons maintenant les Λ et les Φ des pôles des faces du cristal ainsi que ceux des axes cristallographiques. Nous prenons comme méridien initial le grand cercle zg^1 (010).

On voit aisément quelles sont les valeurs de ces angles pour les faces g^1, t, h^1, m.

Pour le pôle p (001), le triangle g^1pz donne :

$$\cos \Lambda = \sin A \sin \beta' \quad \text{et} \quad \operatorname{tg} \Phi = \operatorname{tg} A \cos \beta'$$

Les Λ des pôles x et y sont connus, car $xz = \beta$ et $yz = \alpha$.

Le méridien zx étant normal au grand cercle pg^1 est normal à son diamètre zg^1 ; de même, le méridien zy est normal au diamètre zh^1. On trouve donc aisément Φ_x et Φ_y.

Le triangle $zg^1 e^{\frac{1}{2}}$ donnera le Λ et le Φ de $e^{\frac{1}{2}}$ à l'aide des angles β' et $(\mu - \nu)$.

Pour déterminer les Λ et Φ du pôle s, on observe que, dans le triangle szm, il suffirait de connaître l'angle τ et l'arc ψ : on les calculera dans le triangle $z\, e^{\frac{1}{2}}\, m$ (1).

Enfin, le triangle upg^1 permet de calculer l'angle $G = 51°22'41''$ et le triangle uzg^1, où l'on connaît deux côtés et l'angle compris $(G + \beta' - 90°)$ permettra de calculer le Λ et le Φ de u.

On peut donc dresser le tableau suivant :

		Λ	Φ
	p	26°14′10″	80°32′24″,3
+	x	115°55′35″	90°
+	y	93°13′27″	— 2°53′48″,1
	t	90°	58°4′
	h^1	90°	87°6′11″
	m	90°	117°34′
	$e^{\frac{1}{2}}$	48°32′47″	154°34′13″,3
	s	55°18′23″,6	— 90°34′42″,5
	u	36°55′25″,6	— 39°18′7″,6

(1) On a :

$\cos \psi = \sin \Lambda_{e^{\frac{1}{2}}} \cos (\Phi_{e^{\frac{1}{2}}} - \Phi_m)$ et $\operatorname{tang} \tau = \operatorname{tg} \Lambda_{e^{\frac{1}{2}}} \sin (\Phi_{e^{\frac{1}{2}}} - \Phi_m)$

$\psi = 53°14'4'',1$ $\tau = 34°16'13'',5$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Détermination des dimensions du prisme primitif. — Appliquons la relation fondamentale (13) du n° **540** aux faces m $(1\bar{1}0)$ et $e^{\frac{1}{2}}$ $(0\bar{2}1)$.

On a : avec m $(1\bar{1}0)$:

$$\frac{\mathbf{a}}{\mathbf{b}} = -\frac{\cos \mathbf{y}}{\cos \mathbf{x}} = -\frac{\sin \Lambda_y \cos (\Phi_m + \Phi_y)}{\sin \Lambda_x \cos (\Phi_m - \Phi_x)}$$

avec $e^{\frac{1}{2}}$ $(0\bar{2}1)$:

$$\frac{\mathbf{c}}{\mathbf{b}} = -\frac{\cos \mathbf{y}}{2 \cos \Lambda_{e^{\frac{1}{2}}}}$$

et

$$\cos \mathbf{y} = \cos \Lambda_{e^{\frac{1}{2}}} \cos \Lambda_y + \sin \Lambda_{e^{\frac{1}{2}}} \sin \Lambda_y \cos (\Phi_{e^{\frac{1}{2}}} + \Phi_y)$$

On trouve :

$$\log \cos \mathbf{y} = -1{,}86237774 \ (^1)$$

$$\log \mathbf{a} = \bar{1}{,}8027118 \qquad \log \mathbf{c} = \bar{1}{,}7404808$$

$$\mathbf{a} : \mathbf{b} : \mathbf{c} = 0{,}6349 : 1 : 0{,}5502$$

Ces rapports, joints aux valeurs des angles α, β, γ, déterminent complètement le prisme primitif.

Détermination de s. — En calculant, à l'aide des Λ et Φ de s et des pôles des axes, les cos **x**, cos **y** et cos **z** de s, on trouve que $\mathbf{y} = 90^\circ$; on en déduit que ce pôle se trouve sur le cercle de zone ph^1 et que, se trouvant entre p_{001} et $h^1_{\bar{1}00}$, il représente une face de forme a_m.

On calcule :

$$\log \cos \mathbf{x} = -\bar{1}{,}9948872$$

$$\log \cos \mathbf{z} = \bar{1}{,}7552528$$

$$\frac{h}{l} = \frac{\mathbf{a}}{\mathbf{c}} \frac{\cos \mathbf{x}}{\cos \mathbf{z}} = -2{,}0038$$

$$h\,k\,l = (\bar{2}01)_{xyz} \equiv (\bar{2}\bar{2}1)_{XYZ} = a^{\frac{1}{2}}$$

---

(1) Il est généralement inutile de connaître les angles **x**, **y** et **z** ; il suffit de connaître les logarithmes de leurs cosinus.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Détermination de u. — On trouve :

$$\cos x = -\bar{1},8399454$$
$$\cos y = \bar{1},6412561$$
$$\cos z = \bar{1},9025834$$

$$\frac{h}{k} = -1,0032 \qquad \frac{l}{k} = 1,0046$$

$$hkl = (\bar{1}11)_{xyz} \equiv (0\bar{2}1)_{xyz} = c^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Cette face fait partie de la zone p (001) m (110), ce que l'on vérifiera au goniomètre.

La notation du cristal est donc :

$$m\ t\ g^1\ e^{\frac{1}{2}}\ p\ a^{\frac{1}{2}}\ c$$

B. — Système clinorhombique

Soit un cristal d'*euclase* représenté dans la figure 315 en projection orthogonale sur le plan de symétrie g^1. — On y a reconnu trois faces perpendiculaires à ce plan de symétrie et que l'on a prises pour faces h^1, p et a^2 ; entre p et g^1 existent deux faces dont l'une a été notée e^1 ; il existe aussi deux faces entre h^1 et g^1 dont l'une est prise pour face m. Les meilleures mesures sont les suivantes :

$h^1m = 17°40' = \varphi$
$pa^2 = 29°8'30'' = \mu$
$pe^2 = 18°9' = \lambda$

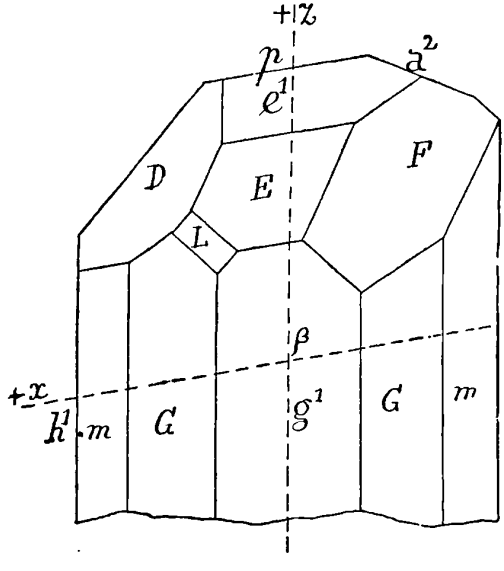


Fig. 315.

(1) On pourrait confirmer la détermination des faces s et u, en calculant les angles δ, ε et θ à l'aide de la formule (11) du n° 525.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

qui serviront à déterminer le prisme primitif par le calcul de l'angle $ph^1 = \beta$ (angle aigu des axes x et z) et des paramètres **a** et **c** (**b** = 1).

Pour déterminer G, qui fait partie de la zone verticale mh^1 on a mesuré : $g^1G = 57°26'' = \psi$.

Pour déterminer E, qui fait partie de la zone pg^1, on a mesuré : $g^1E = 56°53' = \nu$.

La face D sera déterminée à l'aide des mesures suivantes :

$$DD \text{ ant.} = 23°52' = 2\,\delta$$
$$Dp = 41°52' = \varepsilon$$

La face L fait partie des zones Dg^1 et EG et l'on a de plus mesuré $Lg^1 = 50° = \theta$.

Enfin la face F sera déterminée par les mesures :

$$Fp = 59°49' = \rho$$
$$Fh^1 = 58°27' = \tau$$

On a de plus constaté qu'elle appartient à la zone DEF m.

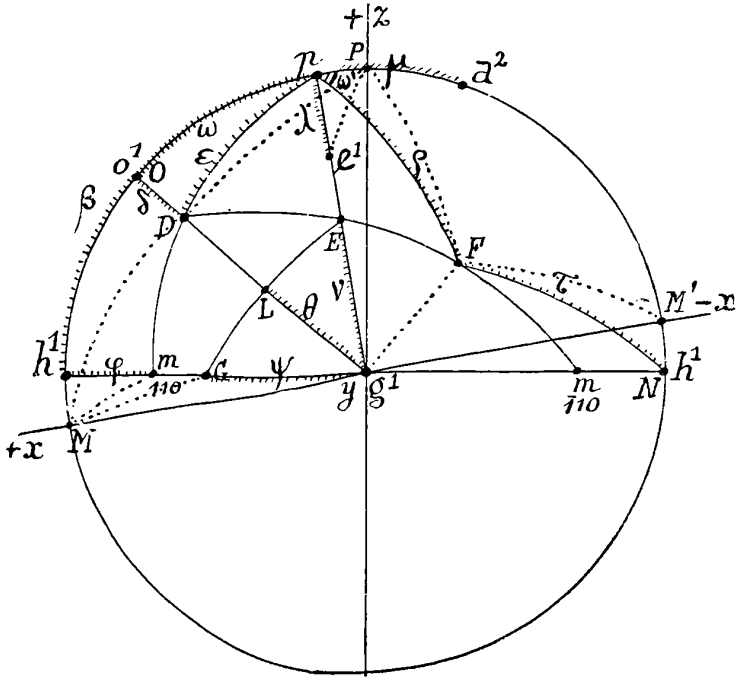


Fig. 316.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dessinons (fig. 316) la projection stéréographique des faces du cristal sur le plan de symétrie g^1. La zone $h^1 m G g^1$ se projette (**534**) en une droite $h^1\ g^1$. Il en sera de même des zones $pe^1 E g^1$ et $DL g^1$. L'axe z est vertical et l'axe x est parallèle à l'axe de zone $p g^1$. Les pôles G, L, E se trouvent sur un grand cercle à des intervalles de g^1 respectivement égaux à ψ, θ et ν. Le pôle F se trouve à intervalles τ et ρ de h^1 (post.) et p.

Détermination de la forme primitive. — Nous devons calculer β, **a** et **c** en partant des mesures φ, λ et μ.

Appliquons la relation (13) du n° **540** aux faces m, e^1 et a^2 en supposant β connu.

Face $m = (110)$

$$\mathbf{a} \cos \mathbf{x} = \cos \mathbf{y}$$

$$\cos \mathbf{x} = \cos \mathbf{M}m = \cos \mathbf{M}h^1 \cos h^1 m = \cos (90^\circ - p h^1) \cos \varphi = \sin \beta \cos \varphi$$

$$\cos \mathbf{y} = \cos (90^\circ - h^1 m) = \sin \varphi$$

D'où :

$$\mathbf{a} \sin \beta \cos \varphi = \sin \varphi$$

$$\mathbf{a} = \frac{\operatorname{tang} \varphi}{\sin \beta} \qquad (\mathbf{r})$$

Face $e^1 = (011)$

$$\cos \mathbf{y} = \mathbf{c} \cos \mathbf{z}$$

$$\cos \mathbf{y} = \cos (90^\circ - p e^1) = \sin \lambda$$

$$\cos \mathbf{z} = \cos e^1 \mathbf{P} = \cos p e^1 \cos p\mathbf{P} = \cos \lambda \sin \beta$$

$$\mathbf{c} = \frac{\operatorname{tang} \varphi}{\sin \beta} \qquad (\mathbf{s})$$

Face $a^2 = (\bar{1}02)$

$$-\mathbf{a} \cos \mathbf{x} = \frac{\mathbf{c}}{2} \cos z$$

$$-\cos \mathbf{x} = \cos a^2 \mathbf{M}' = \sin p a^2 = \sin \mu$$

$$\cos \mathbf{z} = \cos a^2 \mathbf{P} = \sin \mathbf{a}^2 h^1_{\text{post.}} = \sin (\beta + \mu)$$

d'où :

$$\mathbf{a} \sin \mu = \frac{\mathbf{c}}{2} \sin (\beta + \mu) \qquad (\mathbf{t})$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Remplaçant, dans (t), **a** et **c** par leurs valeurs tirées de (r) et (s) on a :

$$\sin(\beta + \mu) = 2 \operatorname{tg} \varphi \sin \mu \cos \lambda$$

formule qui permet de calculer β.

Les valeurs **a** et **c** se déduisent ensuite directement de (r) et (s). Le calcul donne :

$$\beta = 79°44'0''$$

$$\mathbf{a} : \mathbf{b} : \mathbf{c} = 0{,}32368 : 1 : 0{,}33315$$

$$\log \mathbf{a} = \bar{1}{,}5101156 \qquad \log \mathbf{c} = \bar{1}{,}5226373$$

valeurs auxquelles on joint :

$$\frac{1}{\mathbf{a}^2} = \mathbf{N} = 9{,}5448\,; \quad \sin^2 \beta = P = 0{,}9682\,; \quad \frac{1}{\mathbf{c}^2} = Q = 9{,}0100$$

$$\frac{\cos \beta}{\mathbf{ac}} = S = 1{,}6524$$

qui pourront servir à l'emploi de la formule (8) du n° **524**.

Détermination de G. — La relation (13) du n° **540** donne pour cette face :

$$\frac{\mathbf{a}}{h} \cos \mathbf{x} = \frac{1}{k} \cos \mathbf{y}$$

$$\cos \mathbf{x} = \cos \mathbf{M}\,\mathbf{G} = \cos \mathbf{M}\, h^1 \cos h^1 \cos h^1 \mathbf{G} = \sin \beta \sin \psi$$

$$\cos \mathbf{y} = \cos \psi$$

d'où :

$$\frac{h}{k} = \mathbf{a} \operatorname{tg} \psi \sin \beta \qquad (\mathbf{u})$$

On trouve :

$$\frac{h}{k} = 0{,}4987$$

On sait que $l = 0$, puisque la face est verticale (parallèle à l'axe z) ; en prenant $\frac{h}{k} = \frac{1}{2}$, la notation est :

$$(120)_{\mathbf{xyz}} = (3\bar{1}0)_{xyz} = g^3$$

Effectivement, de la formule (**u**) dans laquelle on fait $\frac{h}{k} = \frac{1}{2}$, on tire :

$$\operatorname{cotg} \psi = 2\,\mathbf{a} \sin \beta$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

qui donne :

$$\psi = 57°30'10'' \qquad \text{(mesuré : } 57°26').$$

Détermination de E. — Par le même procédé, pour cette face qui appartient à la zone $p\ g^1$ ($h = 0$), on a :

$$\frac{\mathbf{1}}{k} \cos \nu = \frac{\mathbf{c}}{l} \sin \nu \sin \beta$$

$$\frac{l}{k} = \mathbf{c} \operatorname{tg} \nu \sin \beta = 0{,}50255$$

$$\frac{h}{l} = \frac{\mathbf{1}}{2}$$

La notation est :

$$(021)_{xyz} \equiv (2\bar{2}1)_{xyz} = e^{\frac{1}{2}}$$

Réciproquement :

$$\operatorname{cotg} \nu = 2\, \mathbf{c} \sin \beta$$

$$\nu = 56°44'59'' \qquad \text{(mesuré : } 56°53')$$

Détermination de D. — Cette face fait avec p un angle ε et avec le pôle O un angle δ. Dans le triangle ODp, on peut calculer l'angle ω par la formule :

$$\cos \varepsilon = \cos \delta \cos \omega \qquad \text{(v)}$$

qui donne $\omega = 40°26'4''$

On a ensuite :

$\cos \mathbf{x} = \cos \mathrm{DM} = \cos \delta \cos \mathrm{OM} = \cos \delta \sin \mathrm{O}p = \cos \delta \sin \omega$

$\cos \mathbf{y} = \sin \mathrm{DO} = \sin \delta$

$\cos \mathbf{z} = \cos \mathrm{DP} = \cos \delta \cos \mathrm{OP} = \cos \delta \sin \mathrm{O}h^1 = \cos \delta \sin (\beta - \omega)$.

D'où :

$$\frac{\mathbf{a}}{h} \cos \delta \sin \omega = \frac{\mathbf{1}}{k} \sin \delta = \frac{\mathbf{c}}{l} \cos \delta \sin (\beta - \omega)$$

$$\frac{h}{k} = \mathbf{a} \operatorname{cotg} \delta \sin \omega = 0{,}99333$$

$$\frac{l}{k} = \mathbf{c} \operatorname{cotg} \delta \sin (\beta - \omega) = 0{,}99846 \qquad \text{(w)}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La notation est donc :

$$(111)_{xyz} \equiv (201)_{xyz} = d^{\frac{1}{2}}$$

Réciproquement, en faisant $(hkl) = (111)$, les formules (w) donnent :

$$\frac{\sin(\beta - \omega)}{\sin \omega} = \frac{a}{c}$$

ou

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2}(2\omega - \beta) = \frac{c - a}{c + a} \operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta$$

On trouve $\omega = 40°33'27'',5$.

Ensuite :

$\operatorname{tg} \delta = a \sin \omega$	$\cos \varepsilon = \cos \delta \cos \omega$
$2\ \delta = 23°46'12''$	mesuré : $23°52'$
$\varepsilon = 41°58'21''$	» : $41°52'$

Détermination de L. — Cette face se trouve dans les deux zones :

$d^{\frac{1}{2}}(111).g^1(010)$ ..... $[10\bar{1}]$

$e^{\frac{1}{2}}(021).g^3(120)$ ..... $[2\bar{1}2]$

Sa notation est donc :

$$(141)_{xyz} \equiv (5\bar{3}1)_{xyz} = b^{\frac{1}{5}}\, d^{\frac{1}{3}}\, g^1.$$

Comme vérification, calculons l'angle θ que (141) fait avec g^1 (010) en appliquant la relation (12) du n° **531** aux quatre faces g^1 (010). L(141). D(111) et O, la notation O étant déterminée par l'intersection des zones Dg^1 et ph^1 : $O = 101 \equiv o^1$. On connaît l'angle $o^1 d^{\frac{1}{2}} = \delta = 11°53'6''$ et on sait que $o^1 g^1 = 90°$. On a donc :

$$\frac{\sin OD \times \sin Lg^1}{\sin OL \times \sin Dg^1} = \frac{\sin \delta \,.\, \sin \theta}{\cos \theta \,.\, \cos \delta} = \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \theta = \frac{1 \times 1}{4 \times 1}$$

D'où :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{1}{4 \operatorname{tg} \delta}$$

$\theta = 49°54'31''$ (mesuré : $50°$).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Détermination de F. — Cette face fait partie de la zone $d^{\frac{1}{2}}(111)\,.\,e^{\frac{1}{2}}(021)\,.\,m(1\bar{1}0)$, dont l'équation est :

$$H + K = 2L$$

Pour calculer le rapport $\frac{h}{k}$ (relatif aux axes x et y), il suffira de connaître l'angle ω' qui peut se calculer dans le triangle pFh^1 dont on connaît les trois côtés : $pF = \rho$, $ph^1 = 180^o - \beta = \beta'$ et $Fh^1 = \tau$:

$$\cos\frac{1}{2}\omega' = \sqrt{\frac{\sin p \sin(p-\tau)}{\sin(p-\rho)\sin(p-\beta')}}$$

$$\omega' = 43^o54'22''$$

On a ensuite :

$$\frac{a}{h}\cos x = \frac{1}{k}\cos y$$

$$\frac{h}{k} = a\frac{\cos x}{\cos y} = a\frac{\cos\omega'}{\sin\omega'} = a\,\mathrm{cotg}\,\omega'$$

$$\frac{h}{k} = 0{,}33628 = \frac{1}{3} \text{ avec signe négatif}$$

$$(h\,k\,l) = (\bar{1}31)_{xyz} \equiv (2\bar{4}1)_{xyz} = b^{\frac{1}{2}}\,d^{\frac{1}{4}}\,g^1$$

Comme vérification, calculons les angles ρ et τ en appliquant la formule (8) du n° **524** :

$$\cos\rho = \frac{Q-S}{\sqrt{Q}\sqrt{N+9P+Q-2S}} \qquad \cos\tau = \frac{N-S}{\sqrt{N}\sqrt{N+9P+Q-2S}}$$

$\rho = 59^o47'5''$ mesuré : $59^o49'$

$\tau = 58^o32'32'',5$ » : $58^o27'$

La notation du cristal est :

$$h^1\,m\,g^3\,g^1\,e^{\frac{1}{2}}\,e^1\,p\,a^2\,d^{\frac{1}{2}}.\,L\,(b^{\frac{1}{3}}\,d^{\frac{1}{3}}\,g^1).\,F\,(b^1\,d^{\frac{1}{4}}\,g^1).$$

C. — Système orthorhombique

Soit un cristal de *topaze* (fig. 317) sur lequel les mesures ont permis de reconnaître que la face p est normale aux faces verticales 2, 2', 3 et 3'. La face p s'appuie sur deux faces 1 et 1' qui

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

sont des e^m et sur les quatre faces u, u', u'' et u''' d'un rhomboctaèdre. On a reconnu que les faces u, 1 et u' sont en zone.

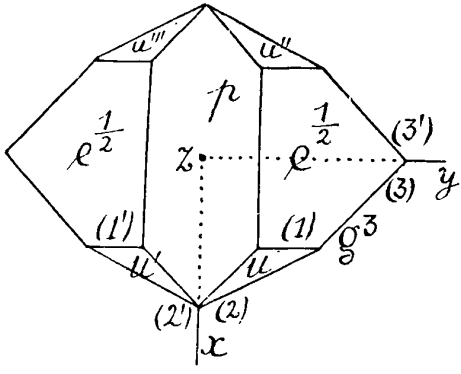


Fig. 317.

On a pris les mesures suivantes :

$p.1 = 62°20' = \lambda$
$3.3' = 86°50' = 2\,\rho$
$p.u = 69°4' = \nu$
$u.u' = 85°24' = 2\,\mu$
$2.2' = 55°40' = 2\,\psi$

Les axes x, y, z sont parallèles aux axes binaires.

Détermination de la forme primitive. — Pour calculer les paramètres **a** et **c** (**b** étant égal à 1), donnons d'abord au prisme **3.3'** la notation g^3 ; ce prisme étant vertical ($l = 0$), nous pourrons calculer **a**. Pour déterminer **c**, nous assignerons aux faces **1.1'** la notation $e^{\frac{1}{2}}$.

Dessinons (fig. 318) la projection stéréographique des pôles des

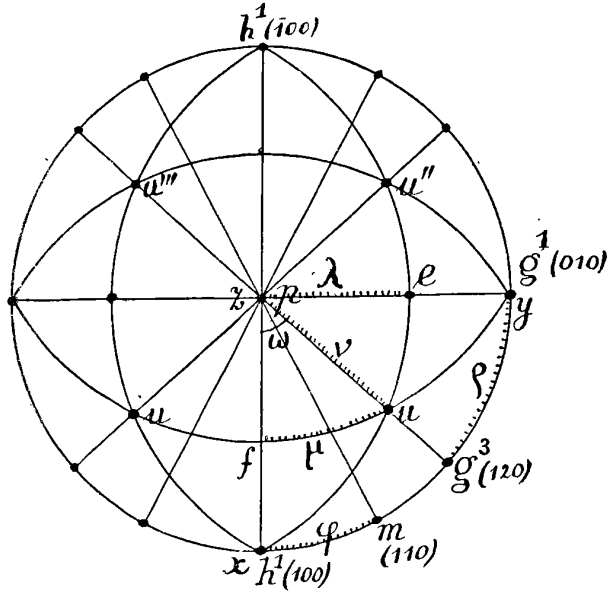


Fig. 318.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

faces du cristal sur p. Les pôles h^1 et g^1 sont sur le cercle d'horizon et les pôles g^3 se trouvent aussi sur ce cercle, à intervalle $g^1\, g^3 = \rho$.

Le cercle $p\ g^1$ se projette suivant une droite et les pôles $e^{\frac{1}{2}}$ se trouvent sur ce cercle à intervalle $pe = \lambda$.

La relation fondamentale (**540**) appliquée respectivement aux faces :

$$g^3 = (3\bar{1}0)_{xyz} \equiv (120)_{xyz}$$

et

$$e^{\frac{1}{2}} = (2\bar{2}1)_{xyz} \equiv (021)_{xyz}$$

donne :

$$\mathbf{a} \sin \rho = \tfrac{1}{2} \cos \rho \qquad \text{et} \qquad \tfrac{1}{2} \sin \lambda = \mathbf{c} \cos \boldsymbol{\lambda}$$

d'où :

$$\mathbf{a} = \frac{\operatorname{cotg} \rho}{2} \qquad \text{(A)}$$

$$\mathbf{c} = \frac{\operatorname{tg} \lambda}{2} \qquad \text{(B)}$$

On trouve :

$$\mathbf{a} : \mathbf{b} : \mathbf{c} = 0{,}52843 : 1 : 0{,}95371$$

$$\log \mathbf{a} = \bar{1}{,}7229851 \qquad \log \mathbf{c} = \bar{1}{,}9794151$$

On peut alors calculer l'angle $2\,\varphi$ des deux faces m antérieures du prisme primitif en appliquant à la face $m = (110)_{xyz}$ la même relation fondamentale :

$$a \cos \varphi = \sin \varphi$$

d'où :

$$\operatorname{tg} \varphi = \mathbf{a}$$

On trouve :

$$\varphi = 27°51'10'' \qquad 2\,\varphi = 55°42'20''$$

Comme on a mesuré $2\,\psi = 55°40'$, on voit que les faces (2 . 2') sont précisément les faces du prisme m.

(A) $\log \operatorname{cot} \rho = 0{,}0240151$
$\log 2 = \underline{0{,}3010300}$
$\log \mathbf{a} = \bar{1}{,}7229851$

(B) $\log \operatorname{tg} \lambda = 0{,}2804451$
$\log 2 = \underline{0{,}3010300}$
$\log \mathbf{c} = \bar{1}{,}9794151$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Détermination de u. — Les faces u, $e^{\frac{1}{2}}$ et u'' étant en zone, et $e^{\frac{1}{2}}$ étant perpendiculaire à h^1, ce plan h^1 fait aussi partie de la même zone. On connaît l'angle $p\ u = \nu$ et l'angle $u\ u' = 2\ \mu$, ce dernier donnant $u\ f = \mu$. On voit donc que, pour la face u:

$$\mathbf{y} = 90^\circ - \mu \qquad\qquad \mathbf{z} = \nu$$

Or, si l'on connaissait l'angle ω, on aurait :

$$\cos \mathbf{x} = \sin \lambda \cos \omega$$

Mais l'angle ω peut se calculer dans le triangle $p\ f\ u$:

$$\sin \omega = \frac{\sin \mu}{\sin \nu} \qquad \textbf{(D)}$$

D'ailleurs, $\omega = \frac{\pi}{2} - \rho$.

La formule (13) donne ensuite :

$$\frac{\mathbf{a}}{h} \sin \nu \cos \omega = \frac{\mathbf{1}}{k} \sin \mu = \frac{\mathbf{c}}{l} \cos \nu$$

et

$$\frac{h}{k} = \mathbf{a} \frac{\sin \nu \cos \omega}{\sin \mu} = \mathbf{a} \operatorname{cotg} \omega \qquad \textbf{(E)}$$

$$\frac{l}{k} = \mathbf{c} \frac{\cos \nu}{\sin \mu} \qquad \textbf{(F)}$$

On trouve :

$$\omega = 46^\circ 33' 30''$$

$$\frac{h}{k} = 0{,}5004 \qquad\qquad \frac{l}{k} = 0{,}5025$$

On prend $\frac{h}{k} = \frac{l}{k} = \frac{1}{2}$ et la notation de u est :

$$(121)_{xyz} \equiv (3\bar{1}\bar{1})_{xyz} = b^{\frac{1}{3}}\, b^1\, g^1 = e_3$$

(D)

$\log \sin \mu = \bar{1},8313320$

$\log \sin \nu = \bar{1},9703454$

$\log \sin \omega = \bar{1},8609866$

$\omega = 46'33\bar{3}0''$

(E)

$\log \mathbf{a} = \bar{1},7229851$

$\log \operatorname{cotg} \omega = \bar{1},9763644$

$\log \frac{h}{k} = \bar{1},6993495$

(F)

$\log c = \bar{1},9794151$

$\log \cos \nu = \bar{1},5530105$

$\bar{1},5324256$

$\log \sin \mu = \bar{1},8313320$

$\log \frac{l}{k} = \bar{1},7010936$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Cette face (121) fait partie de la zone $e^{\frac{1}{2}}$ (021). h^1 (100) dont l'équation est $H = 2L$; on voit aussi qu'elle fait partie de la zone p (001). g^3 (120) dont l'équation est $K = 2H$, ce que l'on vérifie au goniomètre ; d'ailleurs, on voit que ω est le complément de ρ.

La notation du cristal est :

$$p\ m\ g^3\ e^{\frac{1}{2}}\ e_3.$$

D. — Système rhomboédrique

Nous étudierons un cristal de *quartz* (fig. 319) composé d'un prisme hexagonal surmonté d'une pyramide hexagonale et portant un groupe de trois petites facettes notées *s*, *f* et *i*. Nous donnons aux faces pyramidales alternativement les notations p et $e^{\frac{1}{2}}$ (**91**, fig. 98) ; le prisme hexagonal a donc pour notation e^2. Pour déterminer (**518**) le paramètre **c** (**a** = 1), on a mesuré :

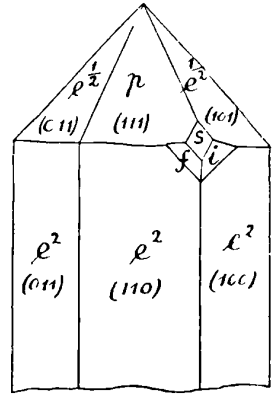


Fig. 319.

$$pe^{\frac{1}{2}} = 46°15'52'' = \mu.$$

On a reconnu que la face *s* se trouve dans la zone $p_{ant.}\ e^2{}_{droite}$ et dans la zone $e^2{}_{ant.}\ e^{\frac{1}{2}}{}_{droite}$. La face *f* se trouve également dans cette dernière zone. On a, de plus, mesuré :

$$p\ s = 28°50' = \lambda \qquad e^{\frac{1}{2}} f = 35°6' = \nu.$$

Enfin, pour déterminer la notation de la face *i*, on a les mesures suivantes :

$$e^{\frac{1}{2}}\ i = 22°8' = \rho \qquad p\ i = 41°47' = \tau \qquad s\ i = 13°17' = \sigma$$

Rapportées aux axes $x\ y\ z$ (**518**), les notations des faces e^2, p et $e^{\frac{1}{2}}$ sont celles marquées sur la figure 570.

La projection stéréographique (fig. 320) se fera sur le plan a^1(001) qui est parallèle aux axes binaires, c'est-à-dire aux deux axes y et x et perpendiculaire à l'axe z. Les pôles des prismes e^2 et d^1 se trouvent donc sur le cercle d'horizon à 30° l'un de l'autre. Les traces des plans de symétrie sont les diamètres e^2 e^2 et les

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

axes binaires sont les diamètres d^1 d^1. Nous plaçons une face e^2 devant le spectateur supposé en O.

Une face du rhomboèdre p se trouve en zone entre a^1 (001) et e^2 (110) ; c'est la face p (111) qui fait avec a^1 un angle $p\ a^1$ que nous désignons par ψ ; les deux autres faces supérieures du rhomboèdre, p se trouvent à même intervalle ψ des a^1, après rotation de 120° autour de z.

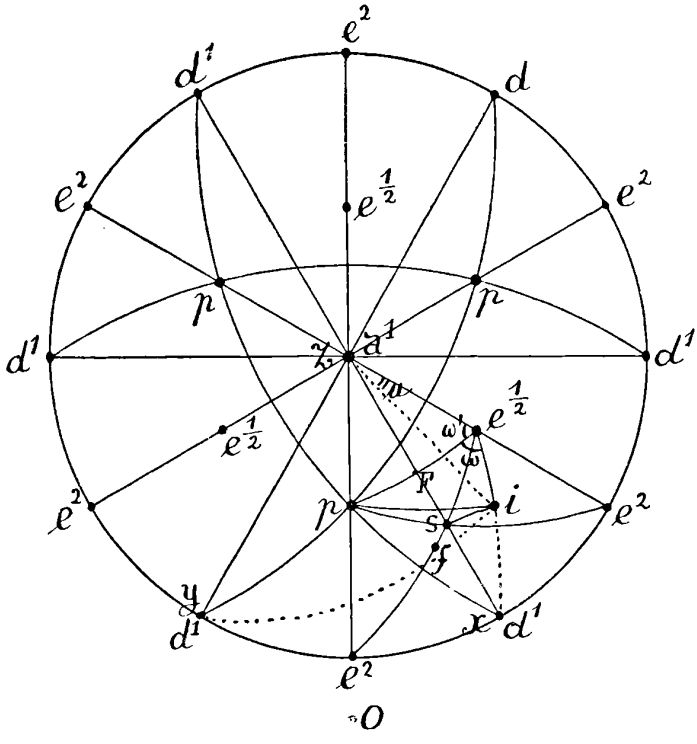


Fig. 320.

Les faces $e^{\frac{1}{2}}$ ont leurs pôles sur les autres diamètres e^2 e^2, à même intervalle ψ de a^1 puisque les angles $a^1\ p$ et $a^1\ e^{\frac{1}{2}}$ sont égaux (91).

Pour déterminer le paramètre **c**, nous pouvons d'abord appliquer la formule (6) du n° **522** à l'angle μ que font les faces p (111) et $e^{\frac{1}{2}}$ (101). On a :

$$\cos \mu = \frac{1 + 2\,s}{2\,(1 + s)}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

d'où :

$$2\mathbf{s} = \frac{2\cos\mu - 1}{1 - \cos\mu} = \frac{\cos\mu - 2\sin^2\frac{\mu}{2}}{2\sin^2\frac{\mu}{2}} = \frac{\cos\mu}{2\sin^2\frac{\mu}{2}} - 1 = A - 1$$

On trouve :

$$\mathbf{s} = 0{,}6198575 \qquad \log \mathbf{s} = \bar{1}{,}79229185$$

Comme

$$\mathbf{s} = \frac{3}{4}\frac{1}{\mathbf{c}^2}, \qquad \text{on a} \quad \mathbf{c} = \sqrt{\frac{3}{4\,\mathbf{s}}}$$

$$\log \mathbf{c} = 0{,}0413847 \qquad \mathbf{c} = 1{,}09998$$

Il est utile également de connaître l'angle 2φ que font entre elles deux faces p supérieures et l'angle ψ que fait p avec l'axe ternaire (ou avec a^1). La même formule (6) appliquée aux faces p (111) et p ($0\bar{1}1$), ainsi qu'aux faces p (111) et a^1 (001) donnera :

$$\cos 2\varphi = \frac{2\,\mathbf{s} - 1}{2\,(\mathbf{s} + 1)} = \frac{0{,}239715}{3{,}239715}$$

$$\cos\psi = \sqrt{\frac{\mathbf{s}}{1 + \mathbf{s}}} = \sqrt{\frac{0{,}6198575}{1{,}6198575}}$$

qui donnent :

$$2\varphi = 85^\circ 45' 24'' \qquad \psi = 51^\circ 47' 10'',6$$

La même détermination peut être fait trigonométriquement comme suit :

L'angle μ (fig. 320) est donné par l'arc de grand cercle $p\mathrm{F}e^{\frac{1}{2}}$. Comme $pa^1 = e^{\frac{1}{2}}a^1$, le triangle $a^1\,p\mathrm{F}$ est rectangle en F et l'on a : $p\mathrm{F} = \frac{\mu}{2}$, $a^1p = \psi$, $pa^1\,\mathrm{F} = 30^\circ$.

On a donc :

$$\sin\psi = \frac{\sin\frac{\mu}{2}}{\sin 30^\circ}$$

Appliquant ensuite la formule fondamentale (**540**) à la face p(111),on a :

$$\cos \mathbf{x} = \mathbf{c}\cos \mathbf{z}$$

$$\cos \mathbf{x} = \cos pd^1 = \sin pz\cos 30^\circ = \sin\psi\cos 30^\circ$$

d'où :

$$\mathbf{c} = \mathrm{tg}\,\psi\cos 30^\circ$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Détermination de s. — Cette face fait partie de deux zones dont les équations sont :

$$[0\,\bar{1}\,1] \qquad \text{et} \qquad [\bar{1}\,1\,1]$$

Sa notation est donc :

$$(211) \equiv (\bar{2}14)_{xyz} = b^{\frac{1}{2}}\, d^1\, d^{\bar{4}}$$

Calculons l'angle λ que fait la face (211) avec la face p (111) :

$$\cos\lambda = \frac{3 + 2s}{2\sqrt{3+s}\sqrt{1+s}} = \frac{4{,}239715}{2\sqrt{3{,}6198575 \times 1{,}6198575}}$$

d'où : $\lambda = 28^\circ 54' 14''$ mesuré : $28^\circ 50'$

Détermination de f. — Cette face fait partie de la zone $e^{\frac{1}{2}}$ (101). s (211). e^2 (110) dont l'équation est :

$$[1\,\bar{1}\,\bar{1}]$$

et où nous connaissons les angles $e^{\frac{1}{2}}s = \lambda = 28^\circ 54' 14''$ (1), $e^{\frac{1}{2}}f = \nu = 35^\circ 6'$ (mesuré) et l'angle $e^{\frac{1}{2}}e^2 = \chi$ que nous calculons dans le triangle $e^{\frac{1}{2}}a^1\, e^2$:

$$\cos\chi = \sin\psi \cos 60^\circ \qquad \chi = 66^\circ 52' 4''$$

La relation (12) du n° **530** donne alors :

$$\frac{h}{k} - 1 = \frac{\sin\lambda \sin(\chi - \nu)}{\sin\nu \sin(\chi - \lambda)}$$

On trouve :

$$\frac{h}{k} - 1 = 0{,}71512$$

et

$$\frac{h}{k} = 1{,}71512$$

Développant cette valeur en fractions continues, on obtient comme premières réduites :

$$\frac{h}{k} = \frac{1}{1}, \frac{2}{1}, \frac{5}{3}, \frac{7}{4}, \frac{12}{7}, \ldots\ldots$$

(1) L'angle $e^{\frac{1}{2}}s$ est égal à l'angle ps, puisque $s = (211)$ se trouve sur la zone $a^1 d^1$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Prenons $\frac{h}{k} = \frac{12}{7}$, la notation de f sera :

$$(12.7.5)_{xyz} \equiv (\bar{4}\,1\,8)_{xyz} = b^{\frac{1}{4}}\, d^1\, d^{\frac{1}{8}}$$

Comme vérification, calculons l'angle ν de f (12.7.5) avec $e^{\frac{1}{2}}$ (101) :

$$\cos \nu = \frac{17 + 10\,\mathbf{s}}{2\sqrt{109 + 25\,\mathbf{s}}\sqrt{1 + \mathbf{s}}} = \frac{23{,}198575}{2\sqrt{129{,}4964375 \times 1{,}6198575}}$$

Cette formule donne :

$$\nu = 35°14'4'' \qquad \text{mesuré : } 35°6'.$$

Détermination de i. — Nous calculerons d'abord cette notation par la méthode trigonométrique, en partant des angles $pi = \tau$ et $e^{\frac{1}{2}}\, i = \rho$.

Le problème revient à calculer l'angle $a^1\, i = \mathbf{z}$ et l'angle $i\, a^1\, e^{\frac{1}{2}} = u$, car, alors, on aura :

(triangle $x\, a^1\, i$) $\cos \mathbf{x} = \cos i\; d^1{}_{\text{droite}} = \sin \mathbf{z} \cos (30° - u)$
(tr. $y\, a^1\, i$) $\cos \mathbf{y} = \cos i\, d^1{}_{\text{gauche}} = \sin \mathbf{z} \cos (90 - u) = \sin \mathbf{z} \sin u$.

Ces deux angles $\mathbf{z}$ et u pourront se calculer dans le triangle $a^1\; i\; e^{\frac{1}{2}}$ si nous calculons d'abord l'angle $\Omega = \omega + \omega'$, compris entre $a^1\, e^{\frac{1}{2}} = \psi$ et $e^{\frac{1}{2}}\, i = \rho$.

ω' se calcule dans le triangle $F\; a^1\; e^{\frac{1}{2}}$:

$$\cos \omega' = \frac{\operatorname{tg} \frac{\mu}{2}}{\operatorname{tg} \psi}$$

et ω dans le triangle $p\, e^{\frac{1}{2}}\, i$ dont on connaît les trois côtés :

$$\cos \frac{\omega}{2} = \sqrt{\frac{\sin \mathbf{p} \sin (\mathbf{p} - \tau)}{\sin \mu \sin \rho}}$$

On trouve :

$$\omega = 67°14'51'' \qquad \omega' = 70°20'45'',5$$

$$\Omega = \omega + \omega' = 137°35'36'',5$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On a ensuite :

$$\operatorname{cotg} \rho \sin \psi = \cos \psi \cos \Omega + \sin \Omega \operatorname{cotg} u$$

d'où :

$$\operatorname{cotg} u = \frac{\operatorname{cotg} \rho \sin \psi}{\sin \Omega} - \cos \psi \cos \Omega$$

formule qui donne :

$$u = 15°45'59'',5$$

Puis :

$$\sin \mathbf{z} = \frac{\sin \Omega \sin \rho}{\sin u}$$

$$\mathbf{z} = 69°14'40''$$

Enfin :

$$\frac{h}{k} = \frac{\cos \mathbf{x}}{\cos \mathbf{y}} = \frac{\cos (30 - u)}{\sin u}$$

$$\frac{l}{k} = \frac{\mathbf{c} \cos \mathbf{z}}{\cos \mathbf{y}} = \frac{\mathbf{c} \operatorname{cotg} \mathbf{z}}{\sin u}$$

On trouve :

$$\frac{h}{k} = 3{,}5673 \qquad \frac{l}{k} = 1{,}5342$$

Appliquons maintenant la seconde méthode en partant des trois angles $p\,(111)\,.\,i\,(h\,k\,l) = \tau$, $e^{\frac{1}{2}}\,(101)\,.\,i\,(h\,k\,l) = \rho$, $i\,.s(211) = \sigma$.

On a (**522**) en désignant par M le module $\sqrt{h^2 + k^2 - hk + \mathbf{s}\, l^2}$ de la face $i\,(h\,k\,l)$:

$$\cos \tau = \frac{h + k + 2\,\mathbf{s}\,l}{2\,M\sqrt{1 + \mathbf{s}}} \qquad (a)$$

$$\cos \rho = \frac{2h - k + 2\,\mathbf{s}\,l}{2\,M.\sqrt{1 + \mathbf{s}}} \qquad (b)$$

$$\cos \sigma = \frac{3\,h + 2\,\mathbf{s}\,l}{2\,M.\sqrt{3 + \mathbf{s}}} \qquad (c)$$

En posant :

$$q = \frac{\sqrt{1 + \mathbf{s}}}{\sqrt{3 + \mathbf{s}}} \cdot \frac{\cos \tau}{\cos \sigma} \qquad q' = \frac{\sqrt{1 + \mathbf{s}}}{\sqrt{3 + \mathbf{s}}} \cdot \frac{\cos \rho}{\cos \sigma}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et en divisant (*a*) et (*b*) par (*c*), on trouve :

$$h(1-3q)+k+2\,\mathbf{s}\,l(1-q)=0 \qquad (d)$$
$$h(2-3q')-k+2\,\mathbf{s}\,l(1-q')=0 \qquad (e)$$

En additionnant (*d*) et (*e*), on obtient :

$$\frac{h}{l}=2\,\mathbf{s}\,\frac{q+q'-2}{3(1-q-q')}$$

puis :

$$\frac{k}{l}=2\,\mathbf{s}\,\frac{2q'-q-1}{3(1-q-q')}$$

et finalement :

$$\frac{h}{k}=\frac{q+q'-2}{2q'-q-1}=\frac{0{,}850785}{0{,}239151}=3{,}5575$$

$$\frac{l}{k}=\frac{1}{2\,\mathbf{s}}\cdot\frac{3(1-q-q')}{2q'-q-1}=\frac{1}{2\,\mathbf{s}}\cdot\frac{0{,}437645}{0{,}239151}=1{,}4761$$

Prenons les moyennes obtenues dans les deux méthodes et développons en fractions continues :

$$\frac{h}{k}=3{,}5624=\frac{3}{1},\ \frac{4}{1},\ \frac{7}{2}\ .\ .\ .\ .\ .$$

$$\frac{l}{k}=1{,}5051=\frac{3}{2}$$

on adoptera la notation :

$$(723)_{xyz}\equiv(324)=b^{\frac{1}{3}}d^{\frac{1}{2}}d^{\frac{1}{4}}$$

qui donnera :

$$\cos\tau=\frac{9+6\,\mathbf{s}}{2\sqrt{1+\mathbf{s}}\sqrt{39+9\,\mathbf{s}}} \qquad \tau=41°32'54''\ \text{mes.}:41°47$$

$$\cos\rho=\frac{12+6\,\mathbf{s}}{2\sqrt{1+\mathbf{s}}\sqrt{39+9\,\mathbf{s}}} \qquad \rho=22°20'49''\ \text{mes.}:22°8''$$

$$\cos\sigma=\frac{21+6\,\mathbf{s}}{2\sqrt{3+\mathbf{s}}\sqrt{39+6\,\mathbf{s}}} \qquad \sigma=13°21'17''\ \text{mes.}:13°17'$$

Cette face (723) fait partie de la zone $e^{\frac{1}{2}}\ (101)\ .\ d^1\ (210)$.

La notation du cristal est :

$$p.e^{\frac{1}{2}}.e^2.s(b^{\frac{1}{2}}d^1\,d^{\frac{1}{4}}).f\,(b^{\frac{1}{4}}\,d^1\,d^{\frac{1}{3}})\,.\,i\,(b^{\frac{1}{3}}\,d^{\frac{1}{2}}\,d^{\frac{1}{4}}).$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

E. — Système quadratique

Un cristal de *cassitérite* (fig. 321) porte, en plus des faces m, b^1 et a^1, les faces d'un dioctaèdre u et celles d'un prisme octogonal.

La projection stéréographique (fig. 322) est faite sur le plan p. Les faces m et h^1 font entre elles des angles de 45°. La notation h^2 du prisme octogonal a été déterminée par l'angle $\omega = 26°34'$ que chacune d'elles fait avec la face m adjacente.

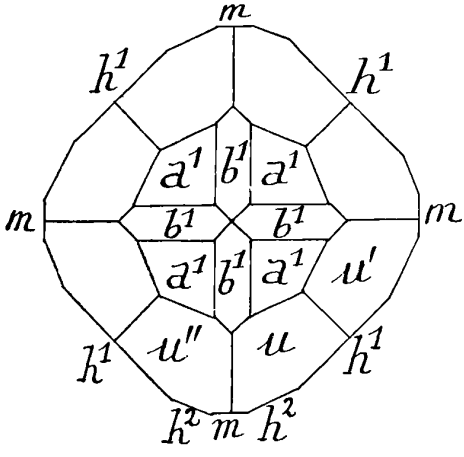


Fig. 321.

La forme primitive est déduite de l'angle $h^1a^1 = 46°26'40'' = \varphi$. On a donc (formule (13) du n° **540**) pour a^1 (111) :

$$\mathbf{a} \cos\varphi \cos 45° = \mathbf{c} \sin\varphi$$

$$\frac{\mathbf{c}}{\mathbf{a}} = \operatorname{cotg}\varphi \cos 45°$$

On trouve :

$$\frac{\mathbf{c}}{\mathbf{a}} = 0{,}67232$$

$$\mathbf{t}^2 = \frac{\mathbf{c}^2}{\mathbf{a}^2} = 2{,}212296$$

$$\log\frac{\mathbf{c}}{\mathbf{a}} = \bar{1}{,}8275783 \qquad \log \mathbf{t}^2 = 0{,}3448433$$

Détermination de u. — On a mesuré :

$$uu' = 2\gamma = 20°46' \qquad \gamma = 10°23'$$
$$uu'' = 2\alpha = 61°35' \qquad \alpha = 30°37'30''$$

Le grand cercle $h^1\,u\,u'$ étant perpendiculaire à $p\;T\;h^1$ et le grand cercle $m\,u''\,u$ à $p\;S\;m$, on a :

$$u\;T = \gamma \qquad u\;S = \alpha$$

Si l'on connaissait les angles λ et μ, on pourrait encore appliquer les relations (13) du n° **540** et l'on aurait :

$$\frac{l}{h} = \frac{\mathbf{c}}{\mathbf{a}}\frac{\cos\mathbf{z}}{\cos\mathbf{x}} = \frac{\mathbf{c}}{\mathbf{a}}\frac{\cos\alpha\sin\lambda}{\cos\alpha\cos\lambda} = \frac{\mathbf{c}}{\mathbf{a}}\operatorname{tg}\lambda$$

$$\frac{k}{h} = \frac{\cos y}{\cos x} = \frac{\sin\mathbf{z}\cos\mu}{\sin\mathbf{z}\sin\mu} = \operatorname{cotg}\mu$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

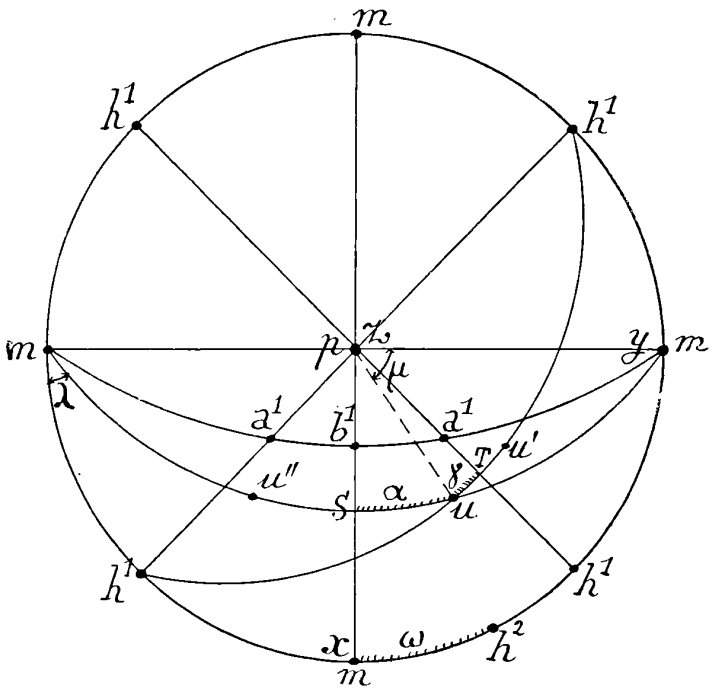


Fig. 322.

Or, λ peut se calculer dans le triangle $m\ u\ h^1$, où l'on connaît les trois côtés :

$$h^1 u = 90^\circ - \gamma \qquad m\ u = 90^\circ + \alpha \qquad m\ h^1 = 45^\circ$$

et μ dans le triangle pum, où l'on connaît :

$$p\ m = 90^\circ \qquad u\ m = 90^\circ - \alpha \qquad u\ m\ p = 90^\circ - \lambda$$

On trouve :

$$\lambda = 26^\circ 47' 36'' \qquad \mu = 56^\circ 16' 23''$$

et

$$\frac{l}{h} = 0{,}3395 = \frac{1}{3}$$

$$\frac{k}{h} = 0{,}6676 = \frac{2}{3}$$

La notation est : (321).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La formule (2) du n° **520** donne alors, appliquée aux face (321), (231) et $(32\bar{1})$:

$$\cos 2\gamma = \frac{12 + t^2}{13 + t^2} \qquad 2\gamma = 20°53'26'' \qquad (\text{mes} : 20°46')$$

$$\cos 2\alpha = \frac{5 + t^2}{13 + t^2} \qquad 2\alpha = 61°41'55'' \qquad (\text{mes} : 61°35')$$

La notation du cristal est :

$$m.h^2.h^1.b^1.a^1u\,(b^{\frac{1}{3}}\,b^{\frac{1}{2}}\,h^1)$$

F. — Système hexagonal

Nous étudions le cristal de *béryl* représenté par la figure 323 et formé du prisme m surmonté de la base p, d'un dihexaèdre auquel on assigne la notation b^1, d'un second dihexaèdre b^n, d'un dihexaèdre inverse a^q et d'un didodécaèdre u.

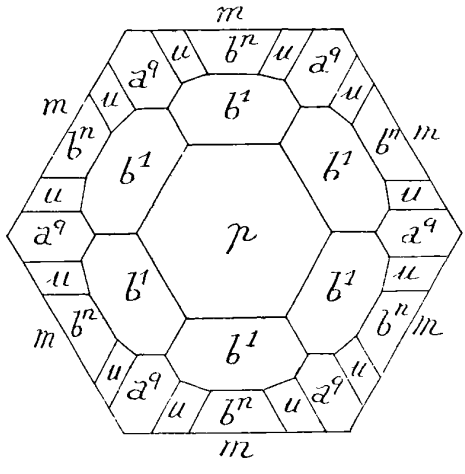


Fig. 323.

La forme primitive sera déduite de l'angle b^1 $b^1{}_{\text{adj.}} = 28°54'15'' = 2\alpha$.

La figure 324 est une projection stéréographique sur p. Les axes x et y font un angle de 120° (**523**). On trouve facilement les pôles m et h^1. Comme le plan pT est un plan de symétrie et que l'angle $b^1\,b^1 = 2\alpha$, l'angle des deux cercles $b^1\,b^1$ et pT est égal à 90° ; on a donc :

$$\sin\delta = \frac{\sin\alpha}{\sin 30°}$$

en appelant δ l'angle pb^1.

Ensuite, comme $b^1 = (101)$:

$$\mathbf{a}\cos\mathbf{x} = \mathbf{c}\cos\mathbf{z}$$

et

$$\frac{\mathbf{c}}{\mathbf{a}} = \frac{\cos\mathbf{x}}{\cos\mathbf{z}} = \frac{\sin\delta\cos 30°}{\cos\delta} = \text{tg}\,\cos 30°$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On trouve :

$$\delta = 29°56'35'' \qquad \frac{c}{a} = 0{,}49885$$

$$\log \frac{c}{a} = \bar{1}{,}6979742$$

$$s = \frac{3}{4}\frac{a^2}{c^2} = 3{,}0137885 \qquad \log s = 0{,}4791127$$

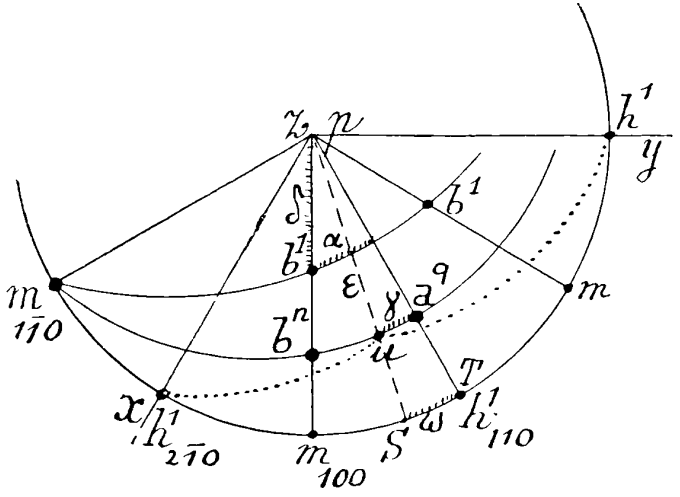


Fig. 324.

Détermination de b^n. — On a mesuré :

$b^1 b^n = 19°8'$, ce qui donne : $pb^n = 49°4'35'' = \delta'$

Comme $b^n = (10n)$, on a :

$$a \cos x = \frac{c}{n} \cos z$$

$$n = \frac{c}{a}\frac{\cos z}{\cos x} = \frac{a}{c}\frac{\cos \delta'}{\sin \delta' \cos 30°} = \frac{a}{c}\frac{\operatorname{cotg} \delta'}{\cos 30°}$$

On trouve : $n = 0{,}49939$

On prend $n = \frac{1}{2}$, d'où

$$\operatorname{tg} \delta' = \frac{2c}{a \cos 30°}$$

$$\delta' = 49°2'29''$$

et $b^1 b^{\frac{1}{2}} = 19°5'54''$ (mes : 19°8').

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Détermination de a^q. — On a mesuré $b^{\frac{1}{2}}a^q = 22°6' = t$. D'ailleurs cette face a^q est en zone entre deux faces $b^{\frac{1}{2}}$; ces deux faces ont pour notation (201) et (021) ; l'équation de la zone est

$$H + K = 2L .$$

Comme a^q appartient aussi à la zone p (001) . h^1 (110), dont l'équation est :

$$H = K$$

la notation de a^q est :

$$(111) = a^1$$

Effectivement, l'équation (7) du n° **523**, appliquée à $b^{\frac{1}{2}}$ (201) et a^1 (111) donne :

$$\cos t = \frac{3 + s}{\sqrt{4 + s}\sqrt{3 + s}} = \sqrt{\frac{3 + s}{4 + s}}$$

$$t = 22°11'5'' \qquad \text{(mes : } 22°6').$$

Détermination de u. — Une face se trouve en zone entre $b^{\frac{1}{2}}$ (201) et a^1 (111) ; à cette zone appartient aussi la face m ($1\bar{1}0$) parallèle au plan de symétrie pT.

On a mesuré :

$$pu = \varepsilon = 45°20' \qquad uu \text{ sur } a^1 = 2\gamma = 15°34'$$

L'angle ua^1 est donc égal à γ.

Dans le triangle $u\,p\,a^1$, qui est rectangle en a^1, calculons l'angle en p qui est mesuré par l'arc ST = ω ; on a :

$$\sin \omega = \frac{\sin \gamma}{\sin \varepsilon}$$

d'où,

$$\omega = 10°58'38''$$

La face S a pour notation ($hk0$) et elle donne :

$$\frac{a}{h} \sin (30° + \omega) = \frac{a}{k} \sin (30° - \omega)$$

d'où :

$$\frac{h}{k} = \frac{\sin (30° + \omega)}{\sin (30° - \omega)} = 2{,}0118 \qquad (\alpha)$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On peut prendre :

$$(hk0) = (210).$$

La face u appartient aux deux zones :

$$p\mathrm{S} \qquad H = 2K$$
$$b^{\frac{1}{2}}\, a^1 \qquad H + K = 2\mathrm{L}$$

Sa notation est donc :

$$(423) = b^{\frac{1}{4}}\, b^{\frac{1}{2}}\, h^{\frac{1}{3}}.$$

En effet, de l'équation (α) appliquée à cette face, on tire

$$\frac{\sin (30^\circ + \omega)}{\sin (30^\circ - \omega)} = 2$$

d'où :

$$\mathrm{tg}\ \omega = \frac{1}{3}\ \mathrm{tg}\ 30^\circ$$

$$\omega = 10^\circ 53' 30''$$

Ensuite :

$$\frac{\mathbf{a}}{4} \cos \mathbf{x} = \frac{\mathbf{c}}{3} \cos \mathbf{z}$$

or,
$$\cos \mathbf{x} = \sin \boldsymbol{\varepsilon} \cos (60^\circ - \omega)$$

$$\cos z = \cos \boldsymbol{\varepsilon}$$

d'où

$$\mathrm{tg}\ \boldsymbol{\varepsilon} = \frac{4\ \mathbf{c}}{3\ \mathbf{a} \cos (60^\circ - \omega)}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = 45^\circ 27' 19'' \qquad (\text{mes} : 45^\circ 20')$$

Ensuite, dans le triangle $p\, a^1\, u$:

$$\sin \gamma = \sin \omega \sin \boldsymbol{\varepsilon}$$
$$\gamma = 7^\circ 44' 26''$$
$$2\,\gamma = 15^\circ 28' 52'' \qquad (\text{mes} : 15^\circ 34')$$

La notation du cristal est

$$p\,.\,b^1\,.\,b^{\frac{1}{2}}\,.\,a^1\,.\,u\ (b^{\frac{1}{4}}\, b^{\frac{1}{2}}\, h^{\frac{1}{3}}).$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

G. — Système cubique

Rappelons d'abord que, dans ce système, les trois paramètres **a**, **b**, **c** sont égaux. Les trois axes *xyz*, parallèles aux arêtes, sont perpendiculaires aux faces du cube.

Nous étudierons le cristal de *fluorine* représenté par la figure 325.

Ce cristal porte, en plus des faces du cube (1), des modifications des arêtes *b* comportant trois facettes : la facette centrale appartient au rhombododécaèdre b^1, comme on l'a reconnu en mesurant l'angle $p\,b^1 = 45^\circ$ (**100**) ; les deux autres appartiennent à un hexatétraèdre b^m et l'on a mesuré $p\,b^m = 26^\circ 28' = \delta$; appliquée aux faces $p = (001)$ et $b^m = (10m)$, la formule (3) du n° **520** donne :

$$\cos\delta = \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}$$

d'où

$$m = \operatorname{cotg}\delta = 2{,}009.$$

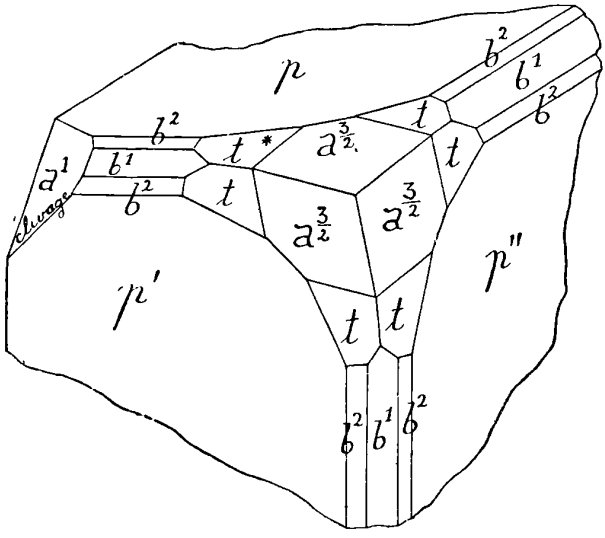


Fig. 325.

La notation est b^2 ; effectivement :

$$pb^2 = 26^\circ 33' 54''.$$

Le cristal porte également les faces d'un pointement à trois faces s'appuyant sur les faces du cube et qui conduit à un tra-

(1) Nous distinguons ces trois faces en les désignant par *p*, *p'*, *p''*, mais, bien entendu, elles sont de même espèce.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

pézoèdre de notation générale $a^n = (11n)$; également les faces t d'un dodécatétraèdre $(h1l)$.

Dessinons la projection stéréographique des faces du cristal sur la face p supérieure du cube. Le pôle p se trouvant au centre du cercle d'horizon (fig. 326), les pôles p' et p'' se trouveront sur ce cercle à 90° l'un de l'autre ; sur ce cercle, se trouvent aussi les pôles de quatre faces b^1 à 45° de p' et p''. D'autres pôles b^1 se trouveront aussi entre p et p' et entre p et p'' ; pour les obtenir, rabattons le cercle pp' autour de son diamètre : p vient en A et l'œil en y ; joignons B à y et nous obtiendrons en C la projection du pôle b^1 (101) ; les autres pôles se trouveront à même distance de p.

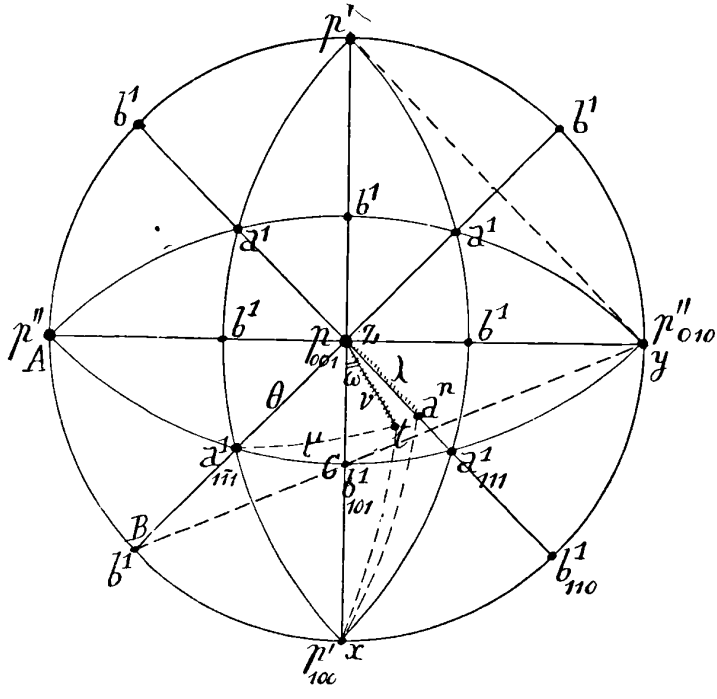


Fig. 326.

Si nous traçons les grands cercles $p''Cp''$, etc., nous obtiendrons à leurs intersections les pôles des faces a^1 car ces faces sont bien en zone entre une face du cube et la face b^1 perpendiculaire (1).

(1) On démontre aisément que le centre du cercle $p''Cp''$ se trouve en p'. En effet l'angle $p'Cp''$ a pour mesure $\frac{135^\circ}{2}$ et de même l'angle $p'p''C$; le triangle $p'Cp''$ est donc isocèle et $p'p'' = p'C$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les pôles des faces a^n se trouveront sur les mêmes grands cercles entre le pôle a^1 etles pôles des faces du cube. Considérons la face a^n supérieure ; on a mesuré $pa^n = 43°23' = \lambda$.

On a : $a^n = (11n)$ et

$$\cos \mathbf{x} = \frac{1}{n} \cos \mathbf{z}$$

Or,

$$\cos \mathbf{x} = \cos\, p'\, a^n = \sin \lambda \cos 45°$$

$$\cos \mathbf{z} = \cos \lambda$$

Donc :

$$n = \frac{\cos \mathbf{z}}{\cos \mathbf{x}} = \frac{\cos \lambda}{\operatorname{cotg} 45°} = 1{,}4964 = \frac{3}{2}$$

On calcule en effet :

$$\operatorname{cotg} \lambda = \frac{3}{2} \cos 45° \qquad \lambda = 43°18'50''$$

La notation du trapézoèdre est donc $a^{\frac{3}{2}}$.

Pour déterminer la notation du dodécatétraèdre t, on a mesuré les angles suivants relatifs à la face marquée d'un astérisque sur la figure 324 :

$$tp = \nu = 29°10'$$
$$ta^1_{\text{cl}} = \mu = 50°49'$$
$$ta^{3/2}_{\text{adj}} = \rho = 17°38'$$

Le clivage a^1 est relatif à la face de gauche de notation $(1\bar{1}1)$.

Partons des angles ν et μ. Dans le triangle pa^1t, on connaît les trois côtés (1) ; on peut donc calculer l'angle $a^1pt = 45° + \omega$; on trouve :

$$45° + \omega = 71°17'16'',8$$

$$\omega = 26°17'16'',8$$

On en a ensuite :

$$\cos \mathbf{x} = \sin \nu \cos \omega$$
$$\cos \mathbf{y} = \sin \nu \sin \omega$$
$$\cos \mathbf{z} = \cos \nu$$

(1) L'angle $pa^1 = \theta$ se trouve par la formule (3)

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{3}} \qquad \theta = 54°44'$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et $$\frac{1}{h}\sin\nu\cos\omega = \frac{1}{k}\sin\nu\sin\omega = \frac{1}{l}\cos\nu$$

$$h = \operatorname{cotg}\omega = 2{,}0244$$

$$k = 1$$

$$l = \frac{\sin\omega}{\operatorname{cotg}\nu} = 4{,}0456$$

On peut prendre

$$hkl = 214 = b^{\frac{1}{2}}\, b^1\, b^{\frac{1}{4}}$$

Nous avons précédemment (**526**) trouvé cette notation par une autre méthode.

La notation du cristal est donc :

$$p\ .\ b^1\ .\ b^2\ .\ a^{\frac{3}{2}}\ .\ t(b^1\ b^{\frac{1}{2}}\ b^{\frac{1}{4}})$$

La figure 327 représente la projection stéréographique des faces de ce cristal. On voit que deux des faces t se trouvent en zone entre une face du cube et une face b^2 perpendiculaire : effectivement, considérons les faces p'' (010) et b^2 (201) qui sont perpendiculaires entre elles : dans cette zone pb^2, d'équation $[1\,0\,\bar{2}]$, se trouvent les faces t (412) et t (241).

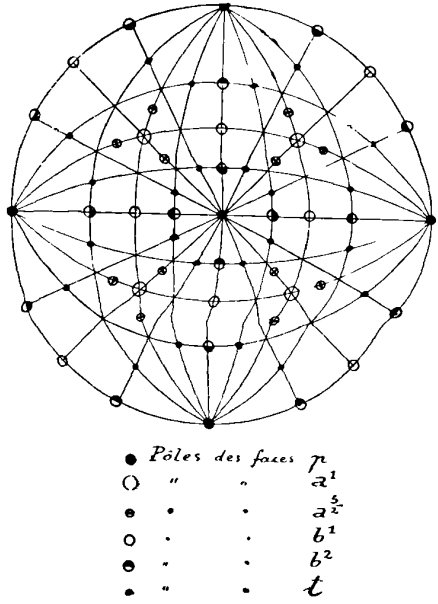


Fig. 327.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

CRISTALLOGRAPHIE OPTIQUE

Complément aux § 1 *et* § 2

544. — Soit S (fig. 328) une molécule d'éther vibrant dans un milieu homogène. Ce mouvement de vibration se propage dans toutes les directions autour de S et, au bout du temps 1, les molécules vibrantes se trouvent sur une certaine surface S_1. On admet que chaque point de la surface S_1 devient un centre d'ébranlement analogue à celui de S, de sorte que, au bout du temps 2,

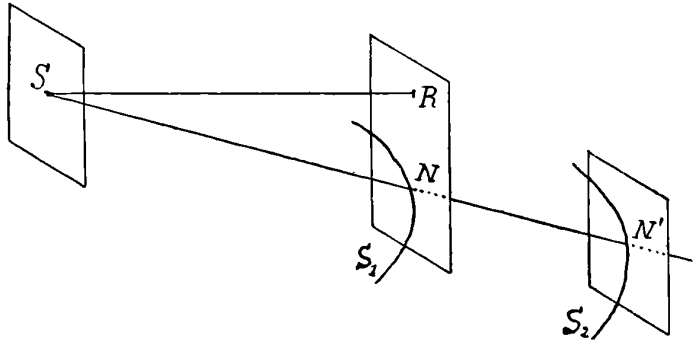


Fig. 328.

chaque point de S_1 a donné une surface vibratoire et l'enveloppe S_2 de toutes ces surfaces représente le mouvement, issu de S, au bout du temps 2.

Les surfaces S_1, S_2 ... sont les *surfaces d'onde* du milieu.

Si l'on considère une direction de propagation SNN', c'est-à-dire un rayon lumineux, la surface d'onde aux points N, N', ... peut être confondue avec les plans tangents en ces points aux surfaces d'onde ; on peut donc considérer le rayon lumineux SNN' comme correspondant à la propagation de S vers N' d'un plan appelé *plan d'onde*. Ce plan se transporte parallèlement à lui-même.

545. — Le rayon lumineux correspondant au plan d'onde N joint le centre de vibration S au point de contact N de ce plan avec la surface d'onde. La vitesse de propagation de la lumière

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

est SN mais la vitesse de propagation du plan d'onde est représentée par SR, si cette droite est normale au plan M.

Le lieu des points R est la *surface des vitesses normales.*

546. — Un milieu optiquement *isotrope* est un milieu dans lequel la vitesse de la lumière est constante, quelle que soit la direction de propagation. Un milieu *anisotrope* est un milieu dans lequel la vitesse de la lumière varie d'une direction à l'autre.

Dans la lumière naturelle, les trajectoires des molécules vibrant dans un plan d'onde sont quelconques. Mais il peut se faire que ces trajectoires soient rectilignes ; on dit alors que la lumière est *polarisée.* Le plan de polarisation est le plan mené suivant la direction de propagation perpendiculairement à la direction de vibration.

547. — *Hypothèses de Fresnel.* — Dans un milieu anisotrope, considérons (fig. 329) un plan d'onde M passant par une vibration rectiligne SA de direction (m,n,p). Cette vibration développe une force élastique SF qui se trouve dans le plan de SA et de la direction de propagation SR normale à SA. La force élastique SF est normale à la direction SN du rayon lumineux. Les quatre directions SA, SF, SR et SN se trouvent dans un même plan.

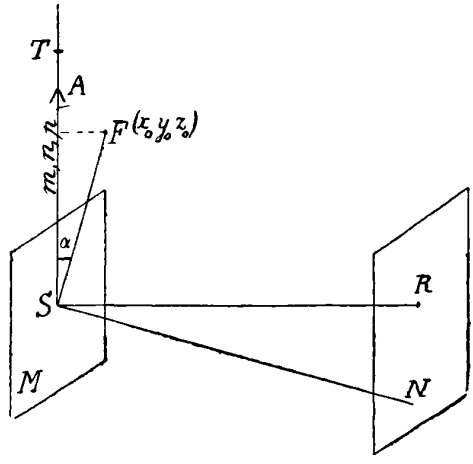


Fig. 329.

La force élastique peut se décomposer suivant les deux directions SR et SA. La composante suivant SR agit à la façon d'une pression sur l'éther qui l'annule par réaction. La seule composante efficace est $P = SF \cos \alpha$; on verra (**554**) que la vitesse de propagation est égale à $\sqrt{P}$.

548. — Soient (x_0, y_0, z_0) les coordonnées de F et (m, n, p) celles de A ; nous supposons SA = 1. Comme la force élastique doit s'annuler pour $m = n = p = 0$, et comme m, n, p sont très petits, on peut écrire :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

$$\begin{aligned} x_0 &= Am + B'n + C'p \\ y_0 &= A'm + Bn + C''p \\ z_0 &= A''m + B''n + Cp \end{aligned} \qquad (1)$$

La projection de SF sur SA est égale à la somme des projections des composantes x_0, y_0, z_0 sur cette même droite. La projection P s'obtiendra donc en multipliant les trois équations (1) respectivement par m, n et p et en additionnant ; l'expression sera de la forme :

$$\mathbf{P} = Am^2 + Bn^2 + Cp^2 + Dmn + Emp + Enp \qquad (2)$$

Prenons $\mathrm{ST} = \frac{1}{\sqrt{\mathbf{P}}}$, c'est-à-dire égal à l'inverse de la vitesse de propagation et voyons quelle est la surface décrite par le point T lorsque le point A décrit une sphère autour de S.

Si ρ est un rayon quelconque de la surface, comme

$$\mathrm{ST} = \frac{1}{\sqrt{\mathbf{P}}} = \rho$$

on a: $\quad Am^2 + Bn^2 + Cp^2 + Dmn + Emp + Fnp = \frac{1}{\rho^2}$

Si (x, y, z) sont les coordonnées de T, comme

$$m = \frac{x}{\rho} \qquad n = \frac{y}{\rho} \qquad p = \frac{z}{\rho}$$

l'équation de la surface est :

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz = 1.$$

La vitesse $\sqrt{\mathbf{P}}$ ne pouvant être nulle, aucun rayon ne peut être infini et la surface est un ellipsoïde. Rapportée à ses axes principaux, son équation sera de la forme

$$a^2x^2 + b^2y^2 + c^2z^2 = 1,$$

ces axes étant :

$$\frac{1}{a}, \qquad \frac{1}{b}, \qquad \frac{1}{c}.$$

Nous pouvons donc imaginer, dans tout milieu anisotrope, un ellipsoïde dont chaque rayon est inversement proportionnel à la vitesse de propagation d'une onde plane dont la vibration est dirigée suivant ce rayon. C'est *l'ellipsoïde inverse*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

549. — Les plans principaux d'un ellipsoïde sont des plans de symétrie.

A toute vibration $(m, n, p,)$ correspondra donc une vibration $(m, -n, p,)$ symétrique par rapport au plan des xz et une vibration $(-m, n, p,)$ symétrique par rapport au plan des yz ; de même, à toute force élastique (x_0, y_0, z_0) correspondront les forces symétriques $(x_0, -y_0, z_0)$ et $(-x_0, y_0, z_0)$. En appliquant les équations (1) à ces vibrations et forces symétriques, on verra que tous les coefficients, excepté A, B et C, doivent être nuls et que ces équations deviennent simplement :

$$x_0 = Am \qquad y_0 = Bn \qquad z_0 = Cp \qquad (2)$$

550. — Pour une vibration dirigée suivant l'axe des x, on aura :

$$m = 1, \quad n = 0, \quad p = 0 \quad \text{et} \quad \mathrm{ST} = \frac{1}{\sqrt{\mathrm{P}}} = \frac{1}{\sqrt{\mathrm{A}}} = \frac{1}{a}$$

d'où $$\mathrm{A} = a^2$$

De même, on trouverait

$$B = b^2 \quad \text{et} \quad C = c^2$$

de sorte que les équations (2) peuvent s'écrire :

$$x_0 = a^2 m \qquad y_0 = b^2 n \qquad z_0 = c^2 p \qquad (3)$$

551. — *Théorème.* — Le plan mené par S perpendiculairement à la force élastique SF a pour équation :

$$x\,x_0 + y\,y_0 + z\,z_0 = 0$$

ou $$a^2 mx + b^2 ny + c^2 pz = 0$$

Si (x', y', z') sont les coordonnées du point T, on a :

$$m = x'\sqrt{\mathrm{P}} \qquad n = y'\sqrt{\mathrm{P}} \qquad p = z'\sqrt{\mathrm{P}}$$

L'équation (4) devient donc :

$$a^2 xx' + b^2 yy' + c^2 zz' = 0 \qquad (4)$$

Donc, le plan tangent mené en T à l'ellipsoïde inverse est perpendiculaire à la force élastique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

552. — Soit MM′ un plan d'onde (fig. 330), OA la vibration, OF la force élastique, OR la direction de propagation. Le plan MM′, perpendiculaire au plan du dessin, découpe une ellipse dans l'ellipsoïde inverse et le rayon OT de cette ellipse est égal à l'inverse de la vitesse de propagation. Le plan TT′, tangent en T à l'ellipsoïde, est normal à la force élastique OF ; les plans MM′ et TT′ étant normaux au plan du dessin, leur intersection (qui se projette en T) est normale au même plan et, par conséquent, normale au rayon OT de l'ellipse de section. Il s'ensuit qu'au point T la tangente est normale au rayon et que ce rayon est un axe de l'ellipse. Donc, toute vibration se transmet suivant la normale au plan qui, passant par cette vibration, coupe l'ellipsoïde inverse suivant une ellipse ayant un axe dirigé suivant cette vibration.

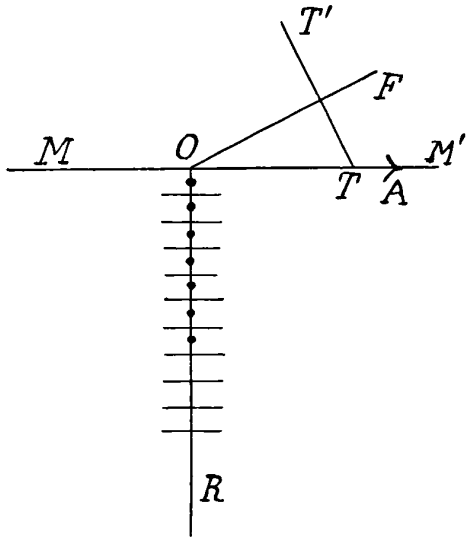


Fig. 330.

Or, cette ellipse a deux axes ; il s'ensuit que suivant OR se propagent deux vibrations, polarisées à angle droit, et ayant pour vitesses de propagation les inverses des deux axes de l'ellipse découpée dans l'ellipsoïde par le plan normal à la direction OR.

Dans tout milieu anisotrope, si l'on considère donc toutes les directions possibles autour d'un point, on peut dire que, suivant chacune d'elles, se propagent deux vibrations polarisées à angle droit.

Si, toutefois, la direction considérée est normale à une section cyclique de l'ellipsoïde, les deux ondes se propageant suivant cette droite ont même vitesse et rien ne permet de les distinguer l'une de l'autre. En d'autres termes, suivant cette direction, la lumière n'est pas polarisée et la vitesse de propagation est égale à b, inverse de l'axe moyen $\frac{1}{b}$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Complément au § 7, A

553. — On peut définir un mouvement vibratoire rectiligne (fig. 331) comme celui de la projection X d'un point K qui se meut sur un cercle de rayon a et avec une vitesse angulaire ω constante.

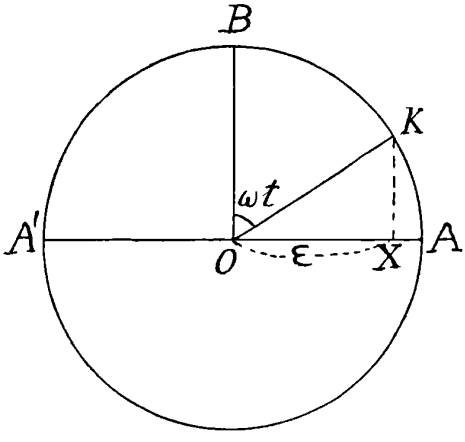


Fig. 331.

La quantité a est l'*amplitude* de l'oscillation ; c'est la distance maximum OA à laquelle la molécule s'écarte de sa position d'équilibre O.

Prenons l'origine des temps à un moment où la molécule occupe sa position d'équilibre O, c'est-à-dire au moment où le point K est en B.

Au bout d'un temps t, le point B sera transporté en K et l'on a :

$$\varepsilon = a \sin \omega t$$

Le point K, cheminant sur le cercle, revient à sa position initiale au bout d'un temps T, de sorte que :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Si c est la vitesse de la lumière dans l'air et λ la longueur d'onde, on a : $\lambda = cT$. En prenant $c = 1$, l'équation du mouvement vibratoire sera :

$$\varepsilon = a \sin \frac{\pi t}{\lambda} \qquad (5)$$

554. — Si m est la masse de la molécule d'éther et F la force élastique (fig. 329), on a :

$$F = m\gamma = m \frac{d^2\varepsilon}{dt^2}$$

or :
$$\frac{d\varepsilon}{dt} = a \frac{2\pi}{T} \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

et :
$$\frac{d^2\varepsilon}{dt^2} = -a \frac{4\pi^2}{T^2} \sin 2\pi \frac{t}{T} = -\frac{4\pi^2 \varepsilon}{T^2}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Comme $\lambda = v\,T$:

$$\frac{d^2\varepsilon}{dt^2} = -\frac{4\pi^2}{\lambda^2} v^2 \varepsilon$$

et $\quad F = -m\frac{4\pi^2}{\lambda^2} v^2 \varepsilon \qquad$ d'où $\quad v = \sqrt{\frac{F\lambda^2}{4\pi^2 m \varepsilon}} = -K\sqrt{F}$

La projection P de F sur ST est donc :

$$P = F\cos\alpha = kv^2$$

555. — L'intensité de la lumière pendant le temps $\frac{T}{4}$ est la force vive engendrée depuis le moment où la molécule vibrante passe par O (fig. 331) jusqu'au moment où elle passe par A ou, ce qui est proportionnel, le travail de la force élastique effectué depuis $\varepsilon = 0$ jusque $\varepsilon = a$. Or, la force élastique est proportionnelle au déplacement ε de la molécule (1) ; sa projection f' sur la direction de vibration est donc :

$$f' = F\cos\alpha\,.\,\varepsilon$$

Le travail développé est donc

$$\int_0^a f'\,d\varepsilon = F\cos\alpha\int_0^a \varepsilon\,d\varepsilon = \frac{1}{2}\,F\cos\alpha\,.\,a^2$$

Or, le coefficient de a^2 est constant pour une même direction de vibration. La force vive engendrée est donc proportionnelle au carré a^2 de l'amplitude. Comme, dans l'unité de temps, il existe un nombre extrêmement grand de vibrations, on peut admettre que l'unité de temps contient un nombre entier de fois T et que, par conséquent, l'intensité lumineuse est proportionnelle à a^2 pendant l'unité de temps.

Note. — Si l'équation du mouvement vibratoire est de la forme

$$\varepsilon = A\sin\frac{2\pi t}{\lambda} + B\cos\frac{2\pi t}{\lambda},$$

en posant, pour abréger $\frac{2\pi}{\lambda} = l$, on a :

$$\varepsilon = A\sin lt + B\cos lt = A\left(\sin lt + \frac{B}{A}\cos lt\right).$$

(1) Car, pour un déplacement égal à 1, les coordonnées de l'extrémité de la force élastique correspondante sont : a^3m, b^3n, c^3p. Si le déplacement devient ε, la force devient $f = \varepsilon\sqrt{a^4m^2 + b^4n^2 + c^4p^2} = F.\varepsilon$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On peut toujours écrire $\frac{B}{A} = \text{tang } l\varphi$, ce qui donne :

$$\varepsilon = A (\sin lt + \text{tang } l\varphi \cos lt) = \frac{A}{\cos l\varphi} \sin (t + \varphi)$$

Donc :

$$I = \frac{A^2}{\cos^2 l\varphi} = A^2 + B^2.$$

556. — Supposons (fig. 332) une lame cristalline placée dans un microscope polarisant, entre deux nicols dont les sections principales OP et OA sont croisées à angle droit.

Le faisceau lumineux, que nous supposons monochromatique, après avoir traversé le polariseur OP, arrive à la partie inférieure de la lame et son équation vibratoire est

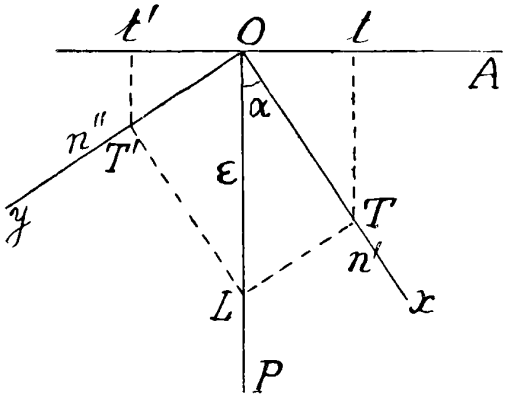


Fig. 332.

$$\varepsilon = a \sin \frac{2\pi t}{\lambda} = a \sin lt$$

Décomposons le mouvement, à son entrée dans la lame, suivant les axes n' et n'' de l'ellipse que la lame découpe dans l'ellipsoïde des indices. La vibration OL se décompose donc suivant OT et OT' et les distances x et y des deux molécules fictives à partir de O, au temps t, seront :

$$x = a \cos \alpha \sin lt$$

$$y = a \sin \alpha \sin lt$$

Les mouvements vont traverser la lame avec des vitesses différentes $\frac{1}{n'}$ et $\frac{1}{n''}$ et emploieront respectivement les temps θ' et θ'' pour parvenir à la face supérieure de la lame. Si l'on veut connaître quels sont, au temps t, les écarts x_1 et y_1 à partir de O des deux molécules fictives, il suffit de chercher ce que ces écarts étaient

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

dans l'air, à la partie inférieure, aux temps $(t - \theta')$ et $(t - \theta'')$: ainsi :

$$x_1 = a \cos \alpha \sin l\,(t - \theta')$$
$$y_1 = a \sin \alpha \sin l\,(t - \theta'')$$

Ces deux mouvements, arrivés sur l'analyseur OA, donneront respectivement les composantes :

$$x_1 \sin \alpha = a \sin \alpha \cos \alpha \sin l\,(t - \theta')$$
$$y_1 \cos \alpha = a \sin \alpha \cos \alpha \sin l\,(t - \theta'')$$

Ces composantes seules traversent l'analyseur et elles s'ajoutent algébriquement de sorte que l'ε du mouvement résultant suivant OA sera :

$$\begin{aligned}\varepsilon &= a \sin \alpha \cos a\,[\sin l\,(t - \theta') - \sin l\,(t - \theta'')] \\ &= a \sin \alpha \cos \alpha\,(\cos l\,\theta' - \cos l\,\theta'') \sin l\,t \\ &\quad - a \sin \alpha \cos \alpha\,(\sin l\,\theta' - \sin l\,\theta'') \cos l\,t\end{aligned}$$

L'intensité $(A^2 + B^2)$ du rayon transmis sera donc :

$$\begin{aligned}\mathrm{I} &= a^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha\,[(\cos l\,\theta' - \cos l\,\theta'')^2 + (\sin l\,\theta' - \sin l\,\theta'')^2] \\ &= a^2 \sin^2 2\,\alpha \sin^2 \frac{\pi\,(\theta' - \theta'')}{\lambda}\end{aligned}$$

et, comme $\theta' = en'$ et $\theta'' = en''$, e étant l'épaisseur de la lame et n' et n'' les indices de réfraction, on a finalement :

$$\mathrm{I} = a^2 \sin^2 2\,\alpha \sin^2 \frac{\pi\,e\,(n' - n'')}{\lambda} \qquad (6)$$

557. — Cherchons tous les cas pour lesquels $\mathrm{I} = 0$, c'est-à-dire pour lesquels la lame s'éteint :

1° Si $n' = n''$, la lame restera éteinte quelle que soit sa position pendant la rotation de la platine du microscope ; ceci se présente lorsque la section est circulaire au lieu d'être elliptique, c'est-à-dire :

a) pour tout plan perpendiculaire à un axe optique dans un cristal anisotrope ;

b) pour toute lame taillée dans un cristal cubique ou dans un corps amorphe homogène ;

2° en supposant le dernier facteur > 0, la lame s'éteindra lorsque $\sin 2\,\alpha = 0$, c'est-à-dire pour $\alpha = 0$ et pour $\alpha = 90°$,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

c'est-à-dire lorsque les axes de l'ellipse sont dirigés suivant les sections principales des nicols ;

3° on peut aussi avoir $\sin^2 \frac{\pi e (n' - n'')}{\lambda} = 0$, pour certaines valeurs de e données par

$$\frac{e (n' - n'')}{\lambda} = \text{K (nombre entier).}$$

En posant $e' = \frac{\lambda}{n' - n''}$ ces épaisseurs seront $e', 2e', 3e', \ldots\ldots$

Dans tout autre cas, I > O et devient maximum pour $\alpha = 45°$ ou 135°, c'est-à-dire lorsque les axes de l'ellipse de section bissèquent les angles formés par les sections principales des nicols.

Complément au § 7, D

558. — *Théorème.* — Pour avoir les directions des vibrations qui se propagent suivant une droite donnée, il faut projeter les axes optiques sur le plan normal à cette droite et tracer les bissectrices de ces projections.

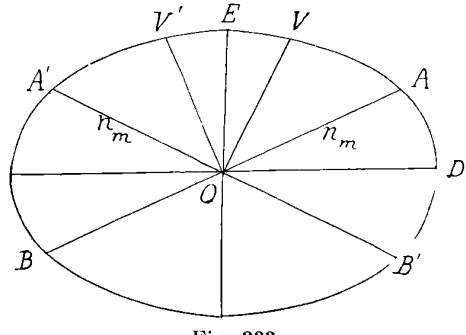


Fig. 333.

Prenons pour plan du dessin (fig. 333) un plan normal à la direction considérée O. Si ADB est la section faite dans l'ellipsoïde inverse par ce plan, ses axes OD et OE représentent les directions des vibrations qui se propagent suivant O. Or, si OA et OA′ sont les traces des sections cycliques sur le plan du dessin, on a OA = OA′ = n_m, de sorte que OD et OE sont les bissectrices des angles formés par les droites OA et OA′. Mais l'axe optique qui est perpendiculaire à la section cyclique AB a sa projection OV′ perpendiculaire à la trace AB de cette section ; de même l'autre axe optique se projettera suivant OV, normalement à la trace A′B′. Les vibrations OD et OE sont donc aussi les bissectrices des angles des projections OV et OV′.

559. — *Calcul de la biréfringence* $(n' - n'')$ *d'une lame en fonction de la biréfringence maximum* $B = n_g - n_p$ *et des angles* θ' et θ'' *que la normale à la lame fait avec les axes optiques.*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On peut admettre que :

$$n' - n'' = B \sin \theta' \sin \theta''$$

En effet, soient (fig. 334), sur une sphère, S′ et S″ les pôles des deux axes optiques, faisant entre eux un angle 2φ et dont n_p est la bissectrice (d'ailleurs aiguë ou obtuse). Soit N le pôle d'un rayon quelconque de l'ellipsoïde inverse, correspondant à un indice n et faisant des angles α et β avec les axes optiques. Les équations

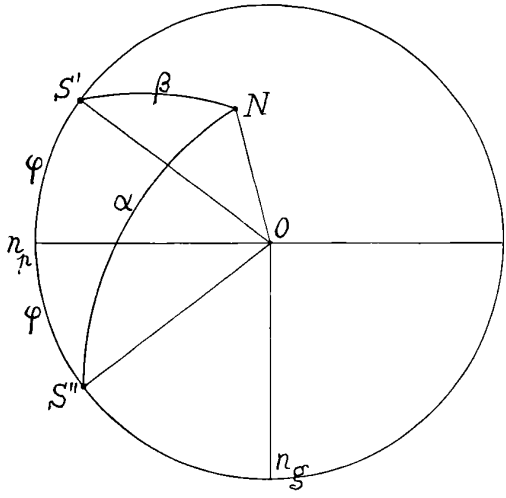


Fig. 334.

$$n^2 = n_m^2$$

$$\cos \alpha = 0$$

$$\cos \beta = 0$$

représentent respectivement une sphère de rayon n_m et les deux plans cycliques.

L'équation

$$n^2 - n_m^2 + k \cos \alpha \cos \beta = 0$$

représente une surface du second degré passant par l'intersection de la sphère et des deux plans cycliques. Pour que cette surface représente l'ellipsoïde inverse, elle doit passer par les extrémités des axes n_g et n_p.

Or, pour n_p, on a : $\alpha = \beta = \varphi$, et, pour n_g : $\alpha = 90^o + \varphi$, $\beta = 90^o - \varphi$; d'où :

$$n_p^2 - n_m^2 + k \cos^2 \varphi = 0 \qquad n_g^2 - n_m^2 - k \sin^2 \varphi = 0$$

$$\text{et } k = n_g^2 - n_p^2.$$

Prenons maintenant comme plan du dessin (fig. 335) le plan dont on veut calculer la biréfringence $b = n' - n''$. La normale au plan est en O ; sur une sphère de rayon quelconque, soient S′ et S″ les deux pôles des axes optiques adjacents à n_p. Les directions ON′ et ON″ des axes de l'ellipse du plan sont les bissectrices

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

des projections OA et OB des axes optiques (558) ; soit θ' et θ'' les angles de la normale au plan avec les axes optiques.

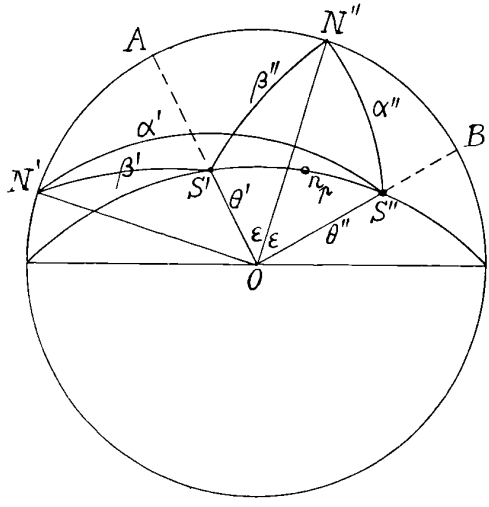


fig. 335.

Pour le rayon ON', on a :

$$n'^2 = n_m^2 - k \cos \alpha' \cos \beta' = n_m^2 + k \sin \theta' \sin \theta' \sin^2 \varepsilon$$

et pour ON'' :

$$n''^2 = n_m^2 - k \cos \alpha'' \cos \beta'' = n_m^2 - k \sin \theta' \sin \theta'' \cos^2 \varepsilon$$

d'où :

$$n'^2 - n''^2 = (n_g^2 - n_p^2) \sin \theta' \sin \theta'' \qquad (7)$$

On peut écrire :

$$n' = n_m + d' \qquad n'' = n_m - d''$$

et, en négligeant la différence très petite $(d' - d'')$:

$$n'^2 - n''^2 = (n' + n'')(n' - n'') = 2n_m (n' - n'')$$

On a de même :

$$n_g^2 - n_p^2 = 2n_m (n_g - n_p)$$

et l'équation (7) devient :

$$n' - n'' = b = B \sin \theta' \sin \theta'' \qquad (8)$$

Note 1. — Les équations précédentes montrent que $n''^2 < n'^2$ ou $n'' < n'$, de sorte que le plus petit indice de la section se trouve

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

à l'intérieur du dièdre BOA projetant les axes optiques et dans lequel se trouve l'indice minimum n_p.

Note 2. — Dans un uniaxe, la formule (2) devient :

$$b = \mathrm{B} \sin^2 \theta \qquad (9)$$

θ étant l'angle de la normale au plan avec l'axe optique.

Note 3. — L'approximation employée pour l'obtention des formules (8) et (9) montre qu'elles ne sont applicables que si les différences d'indices ne sont pas trop élevées ; c'est d'ailleurs le cas habituel chez les minéraux et rares sont ceux où ces formules ne donnent pas des valeurs suffisamment exactes.

Lorsque le plan dont on cherche le biréfringence contient l'un des indices principaux, il est aisé de calculer l'autre indice comme on le verra dans le premier exemple du n° **560** ; mais dans ce cas, on doit connaître les indices principaux du cristal, tandis que l'emploi de la formule (2) n'exige que la connaissance de la biréfringence $B = n_g - n_p$.

560. — Exercices :

I. — Dans un cristal de quartz, on taille une lame parallèle à p et on demande l'épaisseur qu'elle doit avoir pour donner entre nicols croisés la teinte du violet v_2.

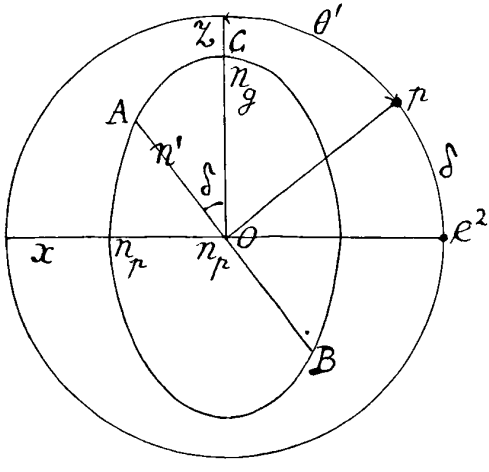


Fig. 336.

Le quartz est uniaxe positif. On a : $n_g = 1{,}553$ et $n_p = 1{,}544$. L'angle de p avec e^2 est $\delta = 38°13'$.

L'ellipsoïde étant de révolution, prenons pour plan du dessin (fig. 336) le plan normal à l'axe de zone pe^2.

Calculons d'abord la biréfringence b d'une lame p.

1re *méthode.* — L'ellipse AB, que découpe le plan p, a pour axes n_p et n'. Sa biréfringence est donc $b = n' - n_p$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

L'équation de l'ellipse ACB est :

$$\frac{x^2}{n_p^2} + \frac{z^2}{n_g^2} = 1$$

Ecrivons que le point A appartient à cette ellipse :

$$\frac{n'^2 \sin^2 \delta}{n_p^2} + \frac{n'^2 \cos^2 \delta}{n_g^2} = 1$$

d'où :

$$n'^2 = \frac{n_g^2 \, n_p^2}{n_g^2 \sin^2 \delta + n_p^2 \cos^2 \delta}$$

On trouve $n' = 1{,}550$ et $b = n' - n_p = 6$ (millièmes).

2e *méthode.* — Appliquons la formule (9) pour laquelle on a ici :

$$\sin \theta = \cos \delta.$$

On a :

$$b = B \cos^2 \delta = 5{,}6$$

On peut donc prendre $b = 6$.
Pour avoir le violet v_2 de retard $R = 112{,}8$, on doit avoir :

$$e = \frac{R}{b} = \frac{112{,}8}{6} = 18{,}8 \text{ (centièmes).}$$

II. — Dans un pyroxène, clinorhombique, on a les données optiques suivantes (fig. 337).

$$\text{PAO} = g^1, \quad \text{signe positif}, \quad \alpha = 31°23'$$

$$n_g = 1{,}710 \qquad n_m = 1{,}693 \qquad n^p = 1{,}688 \qquad 2V = 58°38'$$

On demande la teinte d'une lame h^1 d'épaisseur $e = 8$.

On a :

$$b = B \sin \theta' \sin \theta''$$

$$= B \cos (\alpha + V) \cos (\alpha - V) = 9$$

D'où :

$$R = eb = 72$$

C'est le bleu verdâtre du 2e ordre.

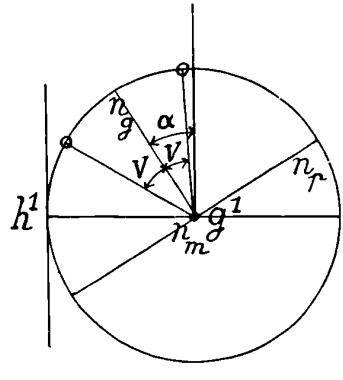


Fig. 337.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

III. — On demande la teinte d'une lame e^1 d'anglésite, d'épaisseur $e = 3$; une face e^1 fait avec p un angle $\delta = 52°12'$.

L'orientation optique du minéral est donnée dans le cours.

On trouve :

$$b = B\,(1 - \cos^2 \delta \sin^2 V) = 14{,}6$$

D'où : $R = 43{,}8$ (jaune du premier ordre).

Complément au § 8

561. — Si nous désignons (voir fig. 189) par l l'épaisseur traversée par un rayon OM' et par n' et n'' les axes de l'ellipse de section normale à OM', l'intensité en M' sera donnée par

$$I = a^2 \sin^2 2\alpha \sin^2 \pi \frac{R}{\lambda}$$

formule dans laquelle

$$R = l\,(n' - n'') = l\,(n_g - n_p) \sin \theta' \sin \theta'' \qquad (10)$$

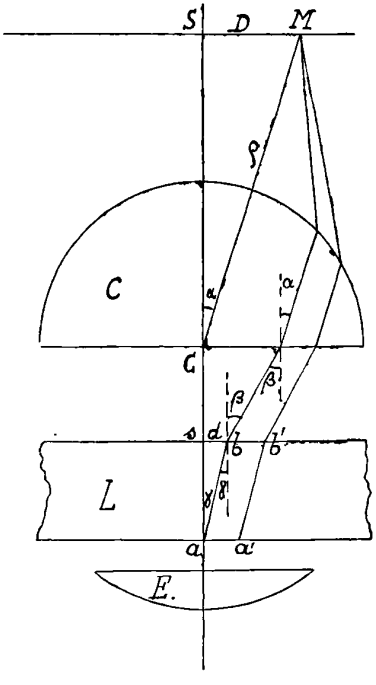


Fig. 338.

Les *courbes d'égal retard* correspondront à $R = K\lambda$, en lumière monochromatique. Elles seront obscures pour

$$K = 1,\ 2,\ 3\ \ldots.$$

En lumière blanche, elles seront colorées suivant l'échelle des teintes de Newton (**187**).

Les *lignes obscures* correspondent à $\sin 2\alpha = 0$.

562. — La convergence des rayons, en dessous de la lame L, est obtenue (fig. 338) à l'aide d'un éclaireur E. L'appareil est construit de façon que tous les rayons, tels que $a\ b$, $a'b'$, ... qui traversent la lame parallèlement à une même droite ab sont réunis à l'aide d'un condenseur C (lentille demi-boule) et viennent former image en un même point M.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En désignant par ρ le rayon CM de la sphère focale du condenseur, on a :

$$SM = D = \rho \sin \alpha$$

et

$$sb = d = e \operatorname{tg} \gamma$$

ou

$$d = e \sin \gamma$$

si l'on ne considère que des rayons *ab* très rapprochés de la normale à la lame.

Donc :

$$D = d \frac{\rho}{e} \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$$

Si n_v est l'indice du verre et n_m l'indice moyen du cristal, on a :

$$n_v = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \qquad n_m = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}$$

$$D = d \times \frac{\rho\, n_m}{e\, n_v} \tag{11}$$

Cette relation existe pour tout plan passant par l'axe ; la courbe, vue sur le réticule, est donc celle de la face supérieure de la lame, courbe dont les dimensions sont multipliées par le facteur $\frac{\rho\, n_m}{e n_v}$; ce facteur est constant pour une même lame et un même appareil optique.

CRISTAUX UNIAXES

563. — La formule (10) devient

$$R = l\,(n_g - n_p) \sin^2 \theta$$

Courbes d'égal retard. — Soit M (voir fig. 193) un point appartenant à une courbe de retard déterminé R. Désignons par e l'épaisseur OC de la lame, par l l'épaisseur OM traversée par le rayon, par d la distance CM. On a : $d = l \sin \theta$, d'où :

$$R = (n_g - n_p) \frac{d^2}{l}$$

et

$$d = \sqrt{\frac{\overline{Rl}}{n_g - n^p}} = \sqrt{\frac{K \lambda\, l}{B}}$$

Pour une même valeur de K, on voit que r est constant : le lieu des points M est un cercle.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les différents cercles d'égal retard seront d'autant plus rapprochés entre eux que B a une valeur élevée et que l'épaisseur e de la lame (qui est peu différente de l) est grande. On a, en effet, dans le réticule :

$$D = \frac{\rho\, n_m}{n_v}\sqrt{\frac{K\,\lambda}{e\,B}}$$

Lignes obscures. — L'angle α est l'angle que OM fait avec OP (**556**). Les lignes obscures sont donc données par les points situés sur OP ($\alpha = 0$) et OA ($\alpha = 90^o$) : ils dessinent une croix noire parallèle aux sections principales des nicols.

CRISTAUX BIAXES

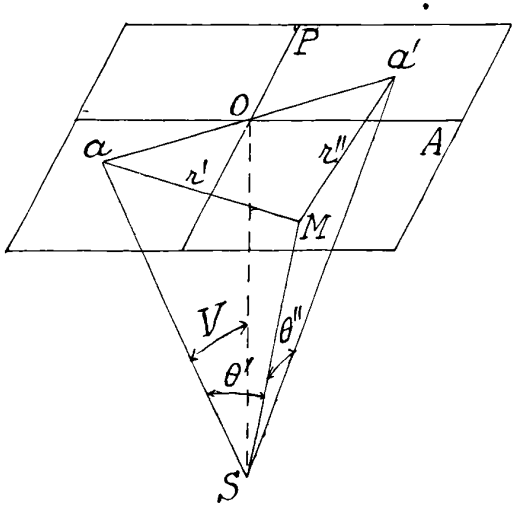


Fig. 339.

564. — *Courbes d'égal retard.* — Nous étudierons le cas d'une lame normale à la bissectrice aiguë.

Soient (figure 339) SO la bissectrice, Sa et Sa' les axes optiques faisant entre eux un angle 2V. Soit M un point appartenant à une courbe de retard déterminé R. On peut considérer les angles SMa et SMa' comme sensiblement droits, de sorte que :

$$r' = \mathrm{S}a \sin \theta' \qquad r'' = \mathrm{S}a' \sin \theta''$$

Or,

$$\mathrm{S}a = \frac{e}{\cos \mathrm{V}} = \mathrm{S}a'$$

On a donc :

$$r'\,r'' = \frac{e^2 \sin \theta' \sin \theta''}{\cos^2 \mathrm{V}} = \frac{e^2 R}{l\,(n_g - n_p)\cos^2 \mathrm{V}} = \frac{e\,\mathrm{K}\,\lambda}{\mathrm{B}\cos^2 \mathrm{V}}$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et, dans le réticule :

$$RR' = \frac{\rho^2 n_m^2}{n_v^2} \frac{K\lambda}{eB\cos^2 V} = \text{Const.}$$

Ces courbes sont des lemniscates ayant pour foyers les traces a et a' des axes optiques.

Lignes obscures. — Pour que le point M (fig. 339) appartienne à une ligne obscure, il faut que les axes de l'ellipse normale à SM soient parallèles aux sections OP et OA des nicols. En appliquant le théorème du n° **558**, et en considérant que les projections des axes optiques sur un plan normal à SM sont approximativement Ma et Ma', on voit que le lieu des points M est le lieu des points pour lesquels les bissectrices des angles formés par les droites Ma et Ma' sont parallèles aux sections des nicols.

Considérons le cas général, où la lame n'est pas exactement normale à la bissectrice. Il est facile de voir que le lieu des points peut s'énoncer de même façon. Prenons (fig. 340) pour axes des parallèles aux nicols menées par le point O, milieu de la distance des pôles a et a' des axes optiques; soit M un point du lieu. Si $(p\ q)$ sont les coordonnées du point a, celles du point a' seront $(-p, -q)$. Les droites Ma, Ma', également inclinées sur l'axe des x ont des coefficients angulaires égaux et de signes contraires, de sorte qu'elles ont respectivement pour équation

$$y - q = m(x - p)$$
$$y + q = -m(x + p)$$

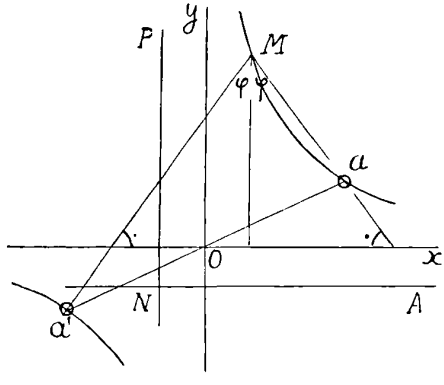


Fig. 340.

En éliminant m, on obtient l'équation du lieu :

$$xy = pq$$

C'est l'équation d'une *hyperbole équilatère, passant par les pôles a et a' des axes optiques et ayant pour asymptotes des parallèles aux sections principales des nicols menées par le pôle de la bissectrice.*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Lorsque le plan des axes optiques est parallèle à l'un des nicols, $p = 0$ ou $q = 0$ et $xy = 0$, ou

$$x = 0 \text{ et } y = 0$$

et l'hyperbole se transforme en une croix noire.

Observons que les branches de l'hyperbole se trouvent toujours dans les secteurs occupés par les pôles des axes optiques, ce qui permet de déterminer la direction de la trace du plan des axes optiques.

Complément au n° 219

565. — Dans une lame parallèle au plan des axes optiques et placée (fig. 341) de façon que la bissectrice aiguë x soit à 45° des nicols, désignons par V le demi-angle des axes optiques. Soient, sur les bissectrices, M et M′ deux points situés à même distance de O et auxquels aboutissent, par conséquent, des rayons ayant traversé la lame en faisant le même angle α avec la normale.

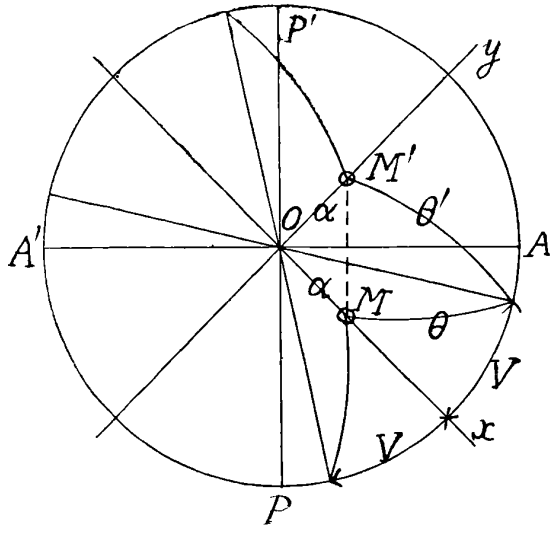


Fig. 341.

L'épaisseur traversée par chacun de ces rayons sera $\frac{e}{\cos \alpha}$, si e est l'épaisseur de la lame, et les retards en ces points seront respectivement :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

$$R_1 = \frac{Be}{\cos \alpha} \sin^2 \theta = \frac{Be}{\cos \alpha} (1 - \sin^2 \alpha \cos^2 V)$$

$$R_2 = \frac{Be}{\cos \alpha} \sin^2 \theta' = \frac{Be}{\cos \alpha} (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 V)$$

Or, $V < 45^o$ et par conséquent

$$R_1 < R_2$$

Donc, en deux points situés sur les bissectrices à égale distance du centre du champ, le retard est le plus petit sur la bissectrice aiguë.

Faisons donc avancer de A vers A', au-dessus de la lame, un biseau de quartz parallèle, son arête en avant et de façon qu'il y ait soustraction de retards (ce que l'on aura déterminé précédemment en lumière parallèle) ; comme les points M et M' se trouvent sur une parallèle à l'arête du biseau, le quartz y soustrait à chaque instant des retards égaux ; mais comme $R_1 < R_2$, les teintes qui apparaissent en M et M' ne sont pas les mêmes : les violets sensibles apparaîtront d'abord sur M, ensuite sur M', de sorte que la bissectrice aiguë est celle sur laquelle ils apparaissent en premier lieu.

Dans la même expérience, la direction de l'axe du biseau de quartz indique le signe des bissectrices : de sorte que le cristal sera positif ou négatif suivant que la teinte violette apparaîtra d'abord sur la bissectrice positive ou négative.

MINÉRAUX OPAQUES

Complément au § 15

566. — Le pouvoir réflecteur d'un corps dépend de l'indice n du corps et d'un coefficient d'absorption $\varkappa$. On admet la formule :

$$R = \frac{(n-1)^2 + n^2 \varkappa^2}{(n+1)^2 + n^2 \varkappa^2} \qquad (1)$$

qui, pour les corps transparents ou semi-transparents, devient :

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \qquad (2)$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Soit OP′ l'amplitude d'une vibration rectiligne (fig. 342) tombant à la surface d'un corps possédant deux indices n' et n'' ; cette vibration se décompose en deux vibrations R' et R'' qui, réfléchies, deviennent r' et r'' et donnent la vibration réfléchie P″. Comme les intensités sont proportionnelles aux carrés des amplitudes, on peut écrire :

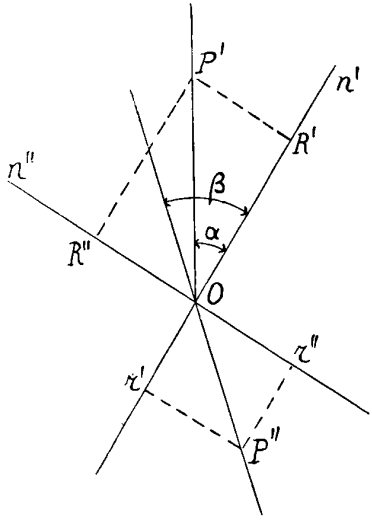


Fig. 342.

$$R = \left(\frac{OP''}{OP'}\right)^2$$

$$R_1 = \left(\frac{r'}{R'}\right)^2 \qquad R_2 = \left(\frac{r''}{R''}\right)^2$$

D'ailleurs :

$$\text{tang } \alpha = \frac{R''}{R'} \qquad \text{tang } \beta = \frac{r''}{r'}$$

d'où :

$$\text{tang } \beta = \text{tang } \alpha . \frac{r''\,R'}{r'\,R''} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}\,\text{tang } \alpha = \sqrt{\rho}\,\text{tg } \alpha$$

Il en résulte qu'une vibration rectiligne tombant sur une section anisotrope est déviée, à la réflexion, d'un angle $\omega = \beta - \alpha$.

Mais on voit que, pour $\alpha = 0$ ou $\frac{\pi}{2}$, on a également $\beta = 0$ ou $\frac{\pi}{2}$; par conséquent, un analyseur placé sur la lumière réfléchie, normalement à OP′, ne produira l'extinction que si l'un des deux indices n' ou n'' coïncide avec la direction du polariseur. On pourra ainsi constater si la section est anisotrope ou non et fixer, relativement à des directions cristallographiques, les positions de n' et n''.

567. — On peut aussi écrire :

$$R = \left(\frac{OP''}{OP'}\right)^2 = \frac{r'^2 + r''^2}{\overline{OP'}^2}$$

comme $\qquad R'' = OP' \sin \alpha \qquad R' = OP' \cos \alpha$

$$R = \frac{r'^2 \cos^2 \alpha}{R'^2} + \frac{r''^2 \sin^2 \alpha}{R''^2} = R_1 \cos^2 \alpha + R_2 \sin^2 \alpha$$

$$= (R_1 - R_2) \cos^2 \alpha + R_2$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le maximum R_1 correspond à $\alpha = 0$ et le minimum R_2 à $\alpha = \frac{\pi}{2}$.

La mesure du pouvoir réflecteur (**252**) permettra de fixer également les positions de n' et n'' et de déterminer les R correspondants.

568. — Si l'on doit faire intervenir le coefficient $\varkappa$, les formules se compliquent. Mais si l'on peut mesurer le R_l d'une section immergée dans un liquide d'indice N connu et son R sans immersion, les formules :

$$R = \frac{(n-1)^2 + n^2\varkappa^2}{(n+1)^2 + n^2\varkappa^2} \qquad R_l = \frac{(n-N)^2 + n^2\varkappa^2}{(n+N)^2 + n^2\varkappa^2}$$

si l'on pose :

$$r = \frac{1+R}{1-R} \qquad r' = \frac{1+R_l}{1-R_l}$$

permettront de calculer l'indice n et le coefficient $\varkappa$. On trouve :

$$n = \frac{N^2 - 1}{2(Nr' - n)} \qquad \varkappa^2 = \frac{2r}{n} - \frac{1}{n^2} - 1.$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

MÉTHODE GÉNÉRALE DU CALCUL DES PARAMÈTRES MAGMATIQUES

Annexe au n° 372

569. — Les minéraux étalons entre lesquels doivent être réparties les molécules résultant de l'analyse chimique sont donnés ci-dessous, avec leurs formules adoptées et leurs poids moléculaires :

GROUPE SALIC

Q	Quartz	SiO^2	60
	Feldspaths	orthose : $Al^2O^3.K^2O.6SiO^2$	556
		albite : $Al^2O^3.Na^2O.6SiO^2$	524
		anorthite : $Al^2O^3.CaO.2SiO^2$	278
f	Feldspathoïdes	leucite : $Al^2O^3.K^2O.4SiO^2$	436
		néphéline : $Al^2O^3.Na^2O.2SiO^2$	284
		kaliophyllite : $Al^2O^3.K^2O.2SiO^2$	316
Z	Zircon : $ZrO^2.SiO^2$		150
C	Corindon : Al^2O^3		102
Cs	Chlorure sodique : NaCl		58
Ss	Sulfate sodique : $Na^2O.SO^3$		142

GROUPE FEMIC

P	Pyroxènes	D. Diopside — wollastonite : $CaO.SiO^2$	116
		D. hyperstène — $FeO.SiO^2$	132
		D. hyperstène — $MgO.SiO^2$	100
		Ac. Acmite : $Na^2O.Fe^2O^3.4SiO^2$	462
		Ns. silicate sodique : $Na^2O.SiO^2$	122
		Ks. silicate potassique : $K^2O.SiO^2$	154
O	Olivine	Peridot — $2FeO.SiO^2$	204
		Peridot — $2MgO.SiO^2$	140
		Akermanite : $4CaO.3SiO^2$	398
m	Minerais	magnétite : $FeO.Fe^2O^3$	232
		ilménite : $FeO.TiO^2$	152
		hématite : Fe^2O^3	160
		chromite : $FeO.Cr^2O^3$	224
		titanite : $CaO.TiO^2.SiO^2$	196
		pérovskite : $CaO.TiO^2$	136
		rutile : TiO^2	80
A		apatite : $3CaO.P^2O^5$	310
		fluorine : $CaFl^2$	78
		calcite : $CaO.CO^3$	100
		pyrite : FeS^2	118

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On recherche d'abord les proportions moléculaires en divisant le pourcentage de chaque composé binaire par son poids moléculaire. La répartition des molécules se fait ensuite, tout d'abord par celle des bases, puis par celle de la silice.

La méthode à suivre dans cette répartition doit être la suivante :

1. Les petites quantités pouvant exister de MnO et de NiO sont jointes à FeO.

2. Joindre Cr^2O^3 à FeO dans la proportion 1 : 1 pour *chromite*. Si Cr^2O^3 est en très faible quantité, on peut simplement ajouter ses molécules à celles de Fe^2O^3.

3. Joindre TiO^2 à FeO pour *ilménite*. Un excès de TiO^2 sera éventuellement, après **11**, joint à CaO pour *pérovskite*.

4. Joindre CaO à P^2O^5 dans la proportion 3 : 1 pour *apatite*. Y ajouter éventuellement Fl dans la proportion Fl : P^2O^5 = 1 : 3.

5. Le chlore est joint à Na^2O dans la proportion Cl : $Na^2(O)$ = 2 : 1.

6. SO^3 est joint à Na^2O dans la proportion 1 : 1.

7. Le soufre est joint à FeO dans la proportion S : Fe(O) = 2 : 1 pour *pyrite*.

8. CO^2 est joint à CaO pour *calcite*.

9. Joindre K^2O à Al^2O^3 = 1 : 1 pour *leucite*.

10. Joindre Na^2O à Al^2O^3 = 1 : 1 pour *néphéline*.

11. Joindre CaO à l'excès de Al^2O^3 pour *anorthite*.
L'excès éventuel de Al^2O^3 est calculé comme *corindon*.

12. S'il y a un déficit de Al^2O^3 pour 9 et 10 : *a*) joindre d'abord Al^2O^3 à K^2O, le reste de Al^2O^3 à Na^2O et le résidu de Na^2O est joint à Fe^2O^3 pour *acmite* ; *b*) s'il y a encore un excès de Na^2O, le joindre à SiO^2 ; *c*) s'il n'y a pas assez de Al^2O^3 pour saturer K^2O, l'excès de K^2O est joint à SiO^2.

13. *a*) Joindre éventuellement Fe^2O^3 à Na^2O suivant 12*a* ; *b*) Joindre Fe^2O^3 à FeO pour *magnétite*. *c*) l'excès de Fe^2O^3 est calculé comme *hématite*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

14. Le résidu de CaO, après **11**, est joint à (MgO + FeO) dans le rapport 1 : 1 pour *diopside* ; les quantités de MgO et FeO sont prises dans un rapport égal à celui qui subsiste entre ces bases après les opérations précédentes.

15. L'excès de CaO sera joint à SiO^2 pour *akermanite.*

16. Si, après 14, il reste MgO ou FeO, ces bases seront réservées pour *péridot.*

17. Toutes les bases étant ainsi distribuées, la répartition de la silice se fait comme suit : *a*) joindre SiO^2 à ZrO^2 pour *zircon* ; *b*) joindre $2SiO^2$ à $CaO.Al^2O^3$ (voir **11**), pour *anorthite* ; *c*) joindre $2SiO^2$ à CaO. (MgO + FeO) (voir **14**), pour *diopside* ; *d*) joindre $3SiO^2$ à 4CaO (voir **15**), pour *akermanite* ; *e*) joindre $4SiO^2$ à $Na^2O.Fe^2O^3$ (voir **13***a*), pour *acmite* ; *f*) joindre SiO^2 à 2(MgO + FeO) (voir **16**), pour *péridot* ; *g*) joindre $2SiO^2$ à $Na^2O.Al^2O^3$ (voir **10**), pour *néphéline* ; *h*) joindre $4SiO^2$ à $K^2O.Al^2O^3$ (voir **9**), pour *leucite.*

18. S'il y a déficit de silice, on transforme le diopside en *olivine.*

19. S'il y a encore déficit de silice, on transforme la leucite en *kaliophyllite.*

20. S'il y a un résidu de silice après **17***h*, on transforme l'akermanite en *wollastonite.*

21. Si, après **18**, il y a un résidu de silice, on transforme la leucite en *orthose.*

22. Si, après **19**, il y a un résidu de silice, on transforme la néphéline en *albite.*

23. Si, après **20**, il y a un résidu de silice, on transforme le péridot en *hyperstène.*

24. Si, après **21**, il y a un résidu de silice, on transforme (voir **3**) la pérovskite en *titanite.*

25. Le résidu de silice est indiqué comme *quartz.*

Note. — Il pourrait se faire que, pour l'une des opérations 18 à 25, il n'y ait pas assez de silice pour opérer une transformation complète ; on procède alors à une répartition entre les deux minéraux considérés en se basant sur les quantités de bases et de

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

silice disponibles. Par exemple, prenons le cas 22 et soit x le nombre de molécules d'albite et y le nombre de molécules de néphéline qui doivent correspondre à une quantité n de Na^2O et à une quantité s de silice. Les deux équations :

$$x + y = n \qquad 6x + 2y = s$$

permettront de trouver x et y.

Dans le cas (23), on aurait les deux équations :

$$x + y = (MgO + FeO) \quad x + \frac{y}{2} = (SiO^2)$$

Dans le cas (21) on aurait :

$$x + y = (K^2O) \qquad 4x + 2y = (SiO^2)$$

570. — On détermine ensuite la composition centésimale des minéraux trouvés en multipliant le poids moléculaire de chacun d'eux par le nombre de molécules de l'une de ses bases convenablement choisie et l'on procède alors à l'établissement des paramètres magmatiques (**374** à **376**) ; nous donnons dans la figure **343** le diagramme généralement admis pour cette détermination des paramètres et qui permet de préciser les rapports intéressants mieux qu'en se basant seulement sur le diagramme de la figure **260**.

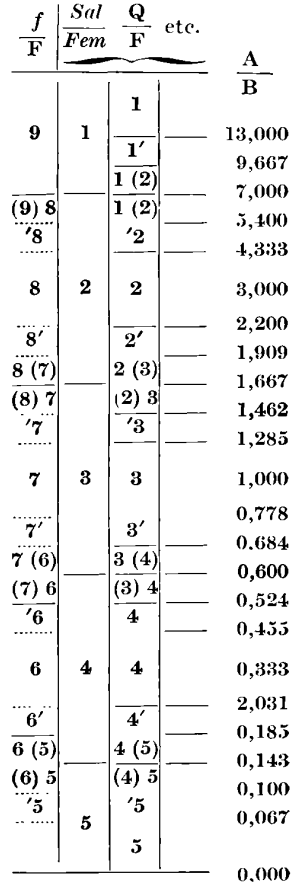


Fig. 343.

571. — L'application de ces règles a été faite dans les trois exemples suivants :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

GRANITE DE MADAGASCAR

	%	mol.	Ap	Im	Or	Ab	An	C	Mt	Hy	Q
SiO^2	77,94	1299			276	222	32			14,5	754,5
Al^2O^3	11,52	113			46	37	16	14			
Fe^2O^3	1,28	8							8		
FeO	1,11	15		1,5					8	5,5	
MgO	0,35	9								9	
CaO	1,08	19	3				16				
Na^2O	2,32	37				37					
K^2O	4,33	46			46						
TiO^2	0,12	1,5		1,5							
P^2O^5	0,10	1	1								
H^2O	0,18										
	100,33										

Comp. virtuelle.

Sal	Q	quartz	754,5 × 60 =	45,27
	F	orthose	556 × 46 =	25,58
		albite	524 × 37 =	19,39
		anorthite	278 × 16 =	4,45
	C	corindon	102 × 14 =	1,43
Fem	P	Hyperstène	132 × 5,5 =	0,73
			100 × 9 =	0,90
	m	magnétite	232 × 8 =	1,86
		ilménite	152 × 1,5 =	0,23
	A	apatite	310 × 1 =	0,31
			eau	0,18
				100,33

Param. magm.

$$\frac{Sal}{Fem} = \frac{95,12}{4,03} = 23$$

$$\frac{Q}{F} = \frac{45,27}{49,32} = 0.92$$

$$\frac{K^2O + Na^2O}{CaO} - \frac{83}{16} - 5,5$$

$$\frac{K^2O}{Na^2O} = \frac{46}{37} = 1,24$$

1. 3. '2. 3

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

GABBRO DU WISCONSIN

	%	mol.	Ap	Im	(Lc)	(Ne)	An	Di	Mt	Ol	Or	Ab	Ne
SiO^2	47,34	789			(92)	(88)	92	212		136	138	186	26
Al^2O^3	11,56	113.			(23)	(44)	46				23	31	13
Fe^2O^3	3,52	22							22				
FeO	5,71	81		11				13	22	35			
MnO	0,13												
MgO	13,20	330						93		237			
CaO	9,20	164	12				46	106					
Na^2O	2,73	44				(44)						31	13
K^2O	2,17	23			(23)						23		
TiO^2	0,88	11		11									
P^2O^5	0,59	4	4										
H^2O	2,74												
	99,77												

Comp. virtuelle.

Sal	F	orthose	23 × 556 =	12,79
		albite	31 × 524 =	16,24
		anorthite	46 × 278 =	12,79
	f	néphéline	13 × 284 =	3,69
Fem	P	Diopside	106 × 106	23,31
			93 × 100	
			13 × 132	
	O	olivine	237 × 70	20,16
			35 × 102	
	m	magnétite	22 × 232 =	5,10
		ilménite	11 × 152 =	1,67
	A	apatite	4 × 310 =	1,24
			eau	2,74
				99,73

Param. magm.

$$\frac{\text{Sal}}{\text{Fem}} = \frac{45,51}{51,48} = 0,88$$

$$\frac{f}{F} = \frac{3,69}{41,82} = 0,09$$

$$\frac{K^2O + Na^2O}{(CaO)} = \frac{67}{46} = 1,456$$

$$\frac{K^2O}{Na^2O} \quad \frac{23}{31} = 0,74$$

$$\frac{P + O}{m} = \frac{43,47}{6,77} = 6,42$$

$$\frac{P}{O} = \frac{23,31}{20,16} - 1,15$$

$$\frac{MgO+FeO}{(CaO)} = \frac{411}{106} - 3,88$$

$$\frac{MgO}{FeO} \quad \frac{330}{81} - 4,07$$

III. '5. '3. 3' [(1) 2.3.2.2.]

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

PHONOLITE DE MADAGASCAR

	%	mol.	Im	(Lc)	(Ne)	Ac	Ns	Di	Ak	Or	Ab	Ne
SiO^2	54,6	910				144	2	78	12	360	135	179
Al^2O^3	17,5	172		(60)	(112)					60	22,5	8,95
Fe^2O^3	5,7	36				36						
FeO	1,0	14	10					4				
MgO	1,4	35						35				
CaO	3,1	55						39	16		22,5	89,5
Na^2O	9,3	150			(112)	36	2					
K^2O	5,6	60		(60)						60		
TiO^2	0,8	10	10									
H^2O	1,6											
	100,6											

Comp. virtuelle.

Sal	F	orthose	556 × 60	= 33,36
		albite	524 × 22,5	= 11,79
	f	néphéline	278 × 89,5	= 25,42
Fem	D	Diopside	116 × 39 132 × 4 100 × 35	8,55
	Ac	Acmite	462 × 36	= 16,63
	Ns	Sil. sod.	122 × 2	= 0,24
	Ak	akermanite	398 × 4	= 1,59
	Im	ilménite	152 × 10	= 1,52
			eau	1,60
				100,70

Param. magm.

$$\frac{\text{Sal}}{\text{Fem}} = \frac{70,57}{28,53} = 2,47$$

$$\frac{f}{F} = \frac{25,42}{45,15} = 0,56$$

$$\frac{K^2O + Na^2O}{CaO} = \frac{172}{0} = \infty$$

$$\frac{K^2O}{Na^2O} = \frac{60}{112} = 0,54$$

II. 6(7). 1. (3) 4

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

MINÉRALOGIE DESCRIPTIVE

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

QUATRIÈME PARTIE

MINÉRALOGIE DESCRIPTIVE

La classification adoptée dans la description des minéraux est celle de Dana ; elle est surtout basée sur la composition chimique mais réunit les minéraux de caractères cristallographiques analogues ; on en trouvera l'exposé dans la première partie de l'ouvrage, n° **16.**

L'ordre suivi dans la description de chaque espèce est celui qui a été indiqué au chapitre X (nos **306** à **333**) auquel nous renvoyons le lecteur, notamment pour ce qui concerne les notations adoptées dans l'orientation et les constantes optiques.

Les faces cristallines sont notées d'après le système de Lévy (nos **52** à **58**) qui est, sans aucun doute, le plus descriptif.

Les espèces décrites sont, tout d'abord, celles qui offrent un intérêt primordial soit au point de vue cristallographique, soit comme éléments de roches, soit par suite de leur utilisation dans les industries diverses ; mais je n'ai pas négligé celles qui accompagnent ordinairement les minéraux précédents dans leurs gisements et j'ai cité également celles qui ont été trouvées dans les gîtes de Belgique et de la colonie belge du Congo.

DESCRIPTION DES MINÉRAUX

I. — CORPS SIMPLES

Diamant

Le diamant (1) est du carbone pur. Chauffé dans l'oxygène, il brûle en donnant de l'anhydride carbonique CO^2 et un résidu de cendres qui varie de 0,24 à 2,03%.

(1) Du mot grec *adamas* : indomptable.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le diamant cristallise dans le système cubique. On ne le connaît guère qu'en cristaux, presque toujours complets. Leurs formes sont le plus souvent celles de l'octaèdre (fig. 6), du rhombododécaèdre (fig. 107), de l'octotrièdre (fig. 112), du dodécatétraèdre (fig. 114). Ce qui caractérise presque toujours ces cristaux, c'est que leurs arêtes et leurs faces sont courbes, ce qui leur donne fréquemment un aspect sphérique ; le diamant prend parfois un facies tétraédrique. La macle des spinelles (fig. 131) est fréquente et ces groupements sont aplatis parallèlement au plan de macle. Il n'est pas rare de trouver des cristaux octaédriques dont les arêtes (fig. 344) sont remplacées par des sillons, ce qui peut s'expliquer par un groupement de complément de deux cristaux, formés chacun des deux tétraèdres a^1 et A^1.

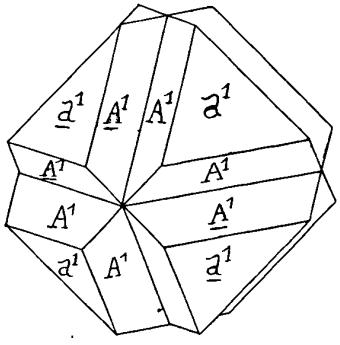


Fig. 344.

Le *bort* est en grains arrondis à surface rugueuse ; le *carbonado* est un diamant noir formé par l'agrégat de petits cristaux.

Le diamant possède un clivage très net, parallèle aux faces de l'octaèdre ; cette propriété est utilisée dans la taille.

Le diamant est la plus dure de toutes les pierres ; la dureté est plus grande sur a^1 que sur p. Le diamant ne peut être rayé et poli que par lui-même sous forme de poudre ; le bort et le carbonado sont un peu plus durs que le diamant en cristaux. La densité, qui est égale à 3,514 dans les cristaux, descend à 3,503 dans le bort et à 3,293 dans le carbonado.

Le diamant est isotrope, mais beaucoup de pierres montrent des phénomènes de double réfraction, accidentels et irréguliers, que l'on attribue à des tensions internes ; parfois les teintes de polarisation se répartissent suivant des bandes ou dans un ensemble de plages triangulaires qui paraissent liées à la structure cristalline. L'indice de réfraction est supérieur à celui de tous les corps transparents connus : il varie de 2,4255 à 2,4084 d'après la longueur d'onde ; son pouvoir dispersif est donc très grand, ce qui produit les *feux* dont on s'efforce, par une taille appropriée, d'obtenir le maximum d'effets.

Les beaux diamants sont blancs, avec des reflets bleutés comme l'acier ; la teinte est souvent jaunâtre ; on trouve aussi des pierres

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de couleurs vives : bleues, rouges, vertes, jaunes ; elles acquièrent parfois de grandes valeurs. L'éclat est adamantin, un peu gras.

Le diamant devient phosphorescent après exposition au soleil (1) ou après avoir été soumis à une décharge électrique dans le vide ; on a observé que la lumière émise par les faces du cube était différente de celle émise par les faces de l'octaèdre. Ce minéral est complètement transparent aux rayons X ; soumis aux rayons cathodiques, il se transforme en graphite.

Le principal usage du diamant est la bijouterie ; on s'en sert également pour dresser des pivots d'instruments de précision, pour le sciage mécanique des pierres dures, pour la vitrerie. Le diamant noir est employé dans les appareils de sondage.

Les diamants, comme toutes les pierres précieuses, sont évalués d'après leurs poids, mais la valeur du carat (6) varie aussi suivant la couleur et la transparence ; la taille, qui en diminue fortement le poids, en augmente considérablement la valeur. Les pierres de 5 carats sont déjà rares ; l'Afrique du Sud a produit quelques diamants exceptionnels : le *Cullinam*, pesant *3032 k.* a été trouvé en 1904. Un carbonado pesant *3100 k.* a été trouvé en 1895 au Brésil.

La perte et l'usure de cette gemme sont insignifiantes et, par conséquent, son stock mondial ne cesse de s'accroître chaque année ; cependant la production totale annuelle est très variable : en 1928, elle avait atteint plus de 7.500.000 de carats mais en 1932, elle était tombée à 6.000.000 ; la participation du Congo belge dans cette production qui était de 20% en 1926 dépassait 60% en 1932.

On trouve le diamant :

a) dans les roches éruptives ; dans la Colonie du Cap et au Transvaal, il est exploité dans des cheminées de brèches volcaniques à kimberlite. Au Katanga, on a également trouvé de ces brèches qui ont donné quelques pierres. Le diamant existe aussi dans un dyke de dolérite à hornblende traversant du granite à Inverall (New South Wales).

b) dans les alluvions.

---

(1) Les diamants du Brésil sont beaucoup plus phosphorescents que les diamants du Cap, lorsqu'ils ont été soumis à l'illumination produite par un ruban de magnésium de 15 cc., opération qui doit être faite par un aide pendant que l'observateur reste dans l'obscurité. La différence d'intensité de phosphorescence suffirait, d'après Le Bon, pour distinguer les diamants du Brésil de ceux du Cap, dont la valeur est moindre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dans l'Afrique Orientale Allemande, on l'exploite le long de la côte dans un cailloutis qui est considéré comme un grès d'âge triasique.

Des alluvions de vallées, anciennes et récentes, sont exploitées au Brésil, où le diamant est accompagné de quartz, or, platine, zircon, anatase, rutile, ilménite, ainsi que d'andalousite, topaze, chrysobéryl, monazite, grenats, etc. Egalement, aux Indes Anglaises, à Bornéo, en Australie, dans l'Oural ; enfin dans le district du Kasaï (Congo Belge), où il est accompagné de chrysobéryl. Quelques diamants ont aussi été trouvés au Congo dans les régions de l'Aruwimi, de l'Ituri et dans les régions orientales.

On a décelé le diamant dans quelques météorites.

Car. dist. — L'éclat, la forme cristalline et la dureté ne permettent pas de confondre le diamant avec d'autres minéraux. La détermination de l'indice de réfraction, le clivage, au besoin l'action des rayons X, le caractérisent sans aucun doute.

Graphite

Le graphite (1), comme le diamant, est constitué par du carbone, mais les graphites naturels contiennent des proportions d'impuretés qui varient de 0,2 à plus de 50% ; ces impuretés sont dues principalement à des mélanges de matières schisteuses et de roches dans lesquelles gît le minéral.

Le graphite est rhomboédrique et sa forme primitive résulte de l'angle $a^1p = 58^o$, qui donne $pp = 94^o31'$. Il possède un clivage très facile parallèle à a^1 ; les lames de clivage sont flexibles, non élastiques.

Les cristaux sont extrêmement rares ; on trouve parfois des lamelles hexagonales qui portent des stries faisant 60° entre elles et qui sont parallèles aux arêtes de a^1 avec p. Le graphite constitue le plus souvent des masses foliacées, fibreuses, compactes ou terreuses.

Dureté : 1. Densité : 2,09 à 2,23.

Il est noir avec reflet métallique, opaque, mais vert par transparence en lamelles très minces ; il laisse une trace noire sur le papier ; il est gras au toucher.

Le graphite est la forme du carbone la plus stable à haute température et à la pression atmosphérique. Il brûle très difficilement

(1) Du mot grec : *graphein*, écrire.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et est insoluble dans les acides. Un fragment, pris avec une pince en zinc et plongé dans une solution de sulfate de cuivre, se recouvre immédiatement de cuivre métallique. Chauffés à 180° avec de l'acide nitrique fumant, certains graphites foisonnent en produisant une augmentation de volume qui atteint cinq fois le volume primitif ; les graphites non foisonnants (et les graphites artificiels appartiennent à cette classe) sont dits *graphitites*. Ce minéral est transparent aux rayons X et bon conducteur de l'électricité.

Le graphite est un produit très commun dans la métallurgie du fer.

Ce minéral sert à la fabrication des crayons, à la confection des creusets réfractaires, au noircissement de la tôle et de la fonte ; on l'utilise aussi dans les lubrifiants.

Le graphite se trouve :

a) dans les roches éruptives basiques et dans les météorites ;

b) dans les roches acides : on l'exploite en filons dans de la leptinyte à Ceylan ; en concrétions dans des granites de l'Oural ;

c) dans les gneiss, les schistes micacés et les cipolins, où il est dû souvent à une transformation métamorphique de l'anthracite : en Bavière, en Bohême, aux Etats-Unis, à Madagascar.

d) dans les houillères embrasées.

Car. dist. — Voir molybdénite.

Soufre

Le soufre est souvent très pur ; il peut contenir des traces de sélénium et il est fréquemment mélangé de bitume, argile, calcaire, etc.

Le soufre cristallise dans le système orthorhombique ; on a :

$$b^{\frac{1}{2}}\ b^{\frac{1}{2}}\ \text{ant.} = 73°34,$$

$$b^{\frac{1}{2}}\ b^{\frac{1}{2}}\ \text{lat.} = 94°52,$$

$$pb^{\frac{1}{2}} = 71°40'$$

$$pe^{1} = 62°17'.$$

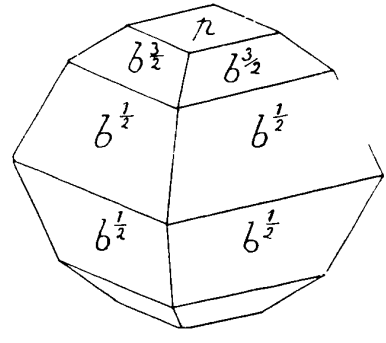


Fig. 345.

Les cristaux les plus communs ont pour combinaisons $pb^{\frac{1}{2}}\ b^{\frac{3}{2}}$ (fig. 345) ; les faces $b^{\frac{1}{2}}$ sont fréquemment irrégulièrement déve-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

loppées (fig. 70), ce qui fait rapporter les cristaux au groupe sphénoïdique. Les petits cristaux, surtout ceux qui sont formés aux dépens de la pyrite et de la blende, sont souvent surchargés de faces b^m avec développement très irrégulier. Se trouve aussi en masses granuleuses ou compactes.

Le soufre n'a pas de clivage net ; sa cassure est conchoïdale Dureté : 1,5 à 2,5. Densité : 2,074.

Son orientation optique est la suivante (fig. 346) :

PAO = g^1. — Bissectrice *positive* perpendiculaire à p.

$$\gamma = 2{,}245 \qquad \beta = 2{,}037 \qquad \alpha = 1{,}957.$$

$$2V = 74°37' \qquad 2H = 110°3'\tfrac{1}{2} \qquad 2v = 69°5'$$

$$2h = 103° \text{ à } 106° \qquad B = 290.$$

Le soufre a une couleur jaune caractéristique qui tend cependant parfois vers le brun, le rouge, le gris ; le sélénium lui donne une teinte orangée. Son éclat est résineux. Il est presque opaque aux rayons X ; très mauvais conducteur pour l'électricité, il se charge, par friction, d'électricité négative. Sa conductibilité pour la chaleur est très faible et elle est aussi très différente d'un de ses axes à l'autre ; aussi ses cristaux se brisent-ils facilement avec craquements caractéristiques lorsqu'on les échauffe, même seulement entre les doigts.

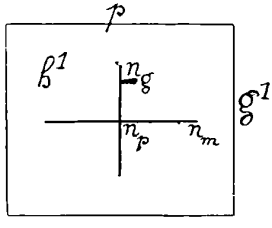


Fig. 346.

Le soufre brûle facilement avec une flamme bleue et production de vapeurs acides à odeur piquante ; il est très soluble dans le sulfure de carbone, d'où il se dépose en donnant des cristaux orthorhombiques ; le soufre refroidi après fusion donne des cristaux clinorhombiques.

Le soufre est employé pour la fabrication de l'acide sulfurique, pour celle des allumettes, de la poudre, du sulfure de carbone, etc. ; on l'utilise pour le soufrage des vignes, le blanchiment de la laine et de la paille et il sert également en pharmacie.

On trouve le soufre :

a) dans les *solfatares,* qui sont des gîtes spéciaux dus à des dégagements d'hydrogène sulfuré (H^2S) et d'acide carbonique (CO^2) se produisant à la fin des éruptions volcaniques : il se dépose

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

alors, en même temps que du soufre en efflorescence, du gypse et des aluns ;

b) aux points d'émergence des sources thermales ; la précipitation du soufre se fait, soit par suite de réactions chimiques, soit par un travail physiologique dû à des algues microscopiques ;

c) dans les terrains sédimentaires, notamment en Sicile, où il existe en bancs plus ou moins mélangés à du calcaire et associé au gypse et à la célestine ;

d) dans les filons métallifères, où il provient de la décomposition de sulfures : pyrite, blende, galène.

En Belgique, on l'a trouvé en enduits dans le marbre noir de Denée, dans des argiles tertiaires et dans des gîtes de plomb et de zinc.

Car. dist. — La couleur, la forme cristalline et la combustibilité.

Arsenic

L'arsenic est souvent mélangé à l'antimoine, au fer, à l'argent.

Il cristallise en rhomboèdres, mais ses cristaux naturels sont extrêmement rares. On le trouve le plus souvent en masses granulaires ou botryoïdes. Sa cassure est grenue.

Il est opaque, blanc d'étain, mais se ternit rapidement à l'air en devenant, à la surface, noir grisâtre.

Dureté : 3,5. Densité : 5,7.

Sur le charbon, il se volatilise sans fondre et dégage une odeur d'ail caractéristique en déposant un enduit blanc. Dans le tube fermé, il donne un enduit noir ; dans le tube ouvert, il donne de petits cristaux blancs octaédriques de As^2O^3. Il est soluble dans l'acide nitrique.

L'arsenic est employé dans l'industrie chimique.

On le trouve dans les filons d'argent, de plomb et de cuivre.

Car. dist. — Les essais pyrognostiques et l'altération à l'air.

Antimoine

L'antimoine natif contient de petites quantités d'arsenic, de fer et d'argent.

Cristallisant dans le système rhomboédrique, il se présente généralement en masses lamellaires avec clivage a^1 parfait, b^1 et e^1 distincts.

Dureté : 3 à 3,5. Densité : 6,7.

Blanc d'étain. Eclat métallique. Opaque.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Au chalumeau, fond facilement en donnant des fumées blanches, puis brûle et se couvre d'aiguilles blanches de valentinite. L'antimoine fondu cristallise par refroidissement. Attaqué par l'acide nitrique avec vapeurs nitreuses et dépôt d'acide antimonique blanc.

Se trouve dans les filons métallifères et dans diverses roches métamorphiques.

Car. dist. — La couleur, l'éclat et les caractères chimiques.

Bismuth

Le bismuth natif renferme des traces d'argent, d'antimoine, de soufre, de tellure, etc.

Système rhomboédrique ; cristaux très rares ; le plus souvent en masses réticulées ou arborescentes, feuilletées ou granulaires.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 9,75.

Blanc d'argent avec teintes rougeâtres. Se ternit à l'air. Opaque.

Entièrement volatilisable sur le charbon avec enduit jaune orangé à chaud et jaune citron à froid. Soluble dans l'acide nitrique ; la solution, étendue de beaucoup d'eau, donne un précipité blanc.

Se trouve dans les veines traversant les roches cristallines et accompagne les minerais d'argent et de cobalt dans les filons métallifères.

Car. dist. — La structure, la couleur, les irisations superficielles et les caractères chimiques.

Fer

Le fer natif renferme souvent du nickel, du cobalt, du cuivre, du soufre, du carbone, etc.

Il cristallise dans le système cubique, avec un clivage *p* parfait.

Dureté : 4,5. Densité : 7,5.

Le fer est gris ou noir, avec éclat métallique, opaque ; il est très magnétique.

Il est soluble dans l'acide chlorhydrique en donnant une liqueur jaune.

Il s'altère facilement à l'air en donnant une croûte de limonite scoriacée.

On a trouvé le fer dans des basaltes et dans des couches sédimentaires, en masses plus ou moins volumineuses, pesant, au Grœnland, jusqu'à 20 tonnes. On a attribué à ces masses une

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

origine cosmique, mais leur origine tellurique a été démontrée pour de nombreux gisements. Il est fréquent dans les météorites.

Cuivre

Le cuivre natif contient souvent de l'argent et d'autres métaux.

Il cristallise dans le système cubique. Ses cristaux sont rarement distincts ; ils se groupent entre eux en donnant des filaments allongés suivant un axe ternaire ou un axe quaternaire. On trouve aussi des grains et des masses compactes.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 8,62 à 8,80.

Le cuivre est malléable et ductile. Il est rouge et opaque, très bon conducteur de l'électricité. Il s'altère aisément en donnant de la cuprite et de la malachite.

Il est soluble en vert dans l'acide nitrique, avec vapeurs nitreuses ; la solution se colore en bleu par l'ammoniaque.

Il est exploité comme minerai. On le trouve dans les filons métallifères : au lac Supérieur, ces filons sont remplis de minéraux divers avec masses de cuivre pesant jusqu'à 420 tonnes. Au Corocoro (Brésil), il existe en plaques, fils, arborescences. Au Katanga, on le trouve accidentellement en grains et petites masses dans les minerais carbonatés de cuivre.

Car. dist. — La couleur et la densité.

Argent

L'argent natif peut contenir de l'or, du platine, du cuivre et d'autres minéraux.

Il cristallise dans le système cubique ; les cristaux sont rarement distincts. Il présente fréquemment des fibres contournées et mousseuses, plus fines et plus flexibles que celles du cuivre.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 8,33 à 9,83.

Il est ductile et malléable, blanc, mais noircissant à l'air.

L'argent est soluble dans l'acide nitrique ; la solution précipite en blanc lorsqu'on ajoute de l'acide chlorhydrique.

On le trouve dans les filons métallifères.

Car. dist. — La couleur, l'altération à l'air, la forme et la densité.

Mercure

Ce métal, qui, seul, est liquide à la température ordinaire, se trouve en gouttelettes dans les gisements de cinabre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Or

L'or est presque toujours allié à l'argent ; quant la proportion d'argent atteint 20%, c'est l'*électrum* ; la *porpézite* contient 4% d'argent et 10% de palladium ; la *rhodite* 20 à 43% de rhodium.

Il cristallise dans le système cubique, en octaèdres ou en trapézoèdres ; on le trouve aussi en lamelles parallèles à une face a^1, comme le prouvent les stries et triangles qui les parsèment. Il existe des macles répétées dont les plans de jonction, perpendiculaires entre eux, sont a^2 et a^3.

L'or se trouve le plus souvent en grains plus ou moins spongieux, en lames et en dendrites sur le quartz et autres roches de filons ; également en fibres et en pépites (*nuggets*) qui peuvent atteindre plusieurs kilogrammes.

La dureté de l'or est de 2,5 à 3 ; sa densité qui peut atteindre 19,33, descend jusque 15,6 suivant la proportion de métaux étrangers. La couleur est jaune, plus ou moins claire suivant la proportion d'argent.

Il fond aisément au chalumeau et n'est soluble que dans l'eau régale. Il est très malléable et ductile.

On exploite l'or dans des gisements en place et dans des alluvions. La production mondiale, qui était, en 1930, de 644 tonnes, a atteint 853 tonnes en 1934.

On l'a rencontré, mais toujours en traces, dans des granulites, diorites ; il est plus concentré dans les filons de quartz traversant ces roches.

Une des grandes sources d'or se trouve dans des filons quartzeux d'âges très différents (1) ; l'or y est allié, microscopiquement inclus, à la pyrite de fer et, plus rarement, à la pyrrhotine, au mispickel et à la chalcopyrite ; aux affleurements de ces roches, il s'isole par suite de l'oxydation de la pyrite et se montre alors à l'état natif.

Au Transvaal, l'or est exploité dans des conglomérats quartzeux et pyriteux d'âge primaire.

Dans les alluvions provenant de la destruction de roches aurifères, on retrouve l'or en paillettes et en pépites ; ces pépites se sont peut-être formées et accrues au cours de la destruction des

(1) L'or est parfois visible, dans ces quartz, à l'état de lamelles, de grains, de paillettes, mais le plus souvent il se trouve en particules qui atteignent à peine $\frac{1}{500^e}$ de millimètre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

roches primitives. C'est l'or d'alluvions qui a toujours été exploité tout d'abord dans les pays neufs, en Californie, en Australie, au Klondyke, au Congo belge.

Car. dist. — La couleur, la densité, la malléabilité et l'insolubilité dans les acides autres que l'eau régale.

Platine

Le platine est allié à un peu de fer, d'osmium, iridium, etc.

Il est cubique, mais se trouve en paillettes et pépites.

Dureté : 4 à 4,5. Densité : 16 à 19 (chimiquement pur : 22).

Il est gris d'acier, avec éclat métallique très brillant. Il est ductile et malléable, parfois magnétique.

Infusible au chalumeau ; il est soluble à chaud dans l'eau régale.

On l'exploite dans les alluvions, où il accompagne souvent l'or.

C'est également dans les alluvions que l'on trouve les métaux dits de la **mine de platine** (palladium, iridium, osmium, ruthénium) qui se trouvent groupés sous forme d'alliages auxquels on donne parfois les noms d'**iridosmine** (iridium, osmium, platine), **platiniridium** (platine, iridium, rhodium) etc... Ces derniers alliages sont rhomboédriques et se présentent en lamelles aplaties, à couleur grise ou blanche, opaques, souvent arrondies, parfois caverneuses.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

II. — COMPOSÉS BINAIRES

A. — SULFURES, TELLURURES, ARSÉNIURES SULFOSELS

Ces minéraux sont dus à l'action de fumerolles ou d'eaux thermales ; ils se trouvent généralement dans les fissures traversant les roches et forment souvent le principal remplissage des filons. Comme beaucoup renferment des métaux recherchés, ils constituent, pour une très grande part, les minerais exploités.

Presque tous sont opaques ou isotropes. Leur densité est élevée, s'abaissant rarement en dessous de 4. Leur dureté est souvent faible.

Tous les *sulfures* donnent l'*hépar* (p. 217). En tube fermé, ils dégagent de l'acide sulfureux à odeur piquante et laissent un enduit de soufre ; mélangés préalablement avec du bisulfate de potassium ils donnent de l'acide sulfhydrique dont l'odeur est caractéristique et qui noircit le papier à l'acétate de plomb. Un grand nombre de sulfures sont attaquables par l'acide nitrique, avec dépôt de soufre et souvent aussi avec dépôt blanc de composés oxygénés que l'on peut ensuite dissoudre par ébullition avec de l'acide chlorhydrique. Les *sulfosels* sont généralement inattaquables par les acides, mais plusieurs d'entre eux sont attaqués par une solution bouillante de potasse qui dissout l'arsenic et l'antimoine, tandis qu'il reste un résidu composé des sulfures des termes RS et R^2S.

Les *tellurures*, fondus en tube fermé avec du bisulfate de potassium et du charbon, donnent une masse qui, après refroidissement et addition de quelques gouttes d'eau, prend une coloration rouge pourpre. Chauffés progressivement dans un tube d'essai avec de l'acide sulfurique concentré, et à une température ne dépassant pas 70°, ils donnent une belle solution violette.

Tous les composés d'*arsenic*, chauffés en tube fermé avec du cyanure de potassium, donnent un anneau brillant d'arsenic. Sur le charbon, ils dégagent des vapeurs blanches avec odeur aliacée.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

a) Sulfures des métalloïdes

Réalgar

C'est le sulfure d'arsenic de formule AsS ; il contient, à l'état pur, 70,1% d'arsenic.

Il est clinorhombique et ses cristaux sont caractérisés par les angles suivants :

$$ph^1 = 66°5', \qquad mm = 105°34', \qquad pe^2 = 23°58'30''$$

Clivage parfait parallèle à h^1. — Clivages p, m, h^1, h^3, faciles.

Ses cristaux sont prismatiques et leur forme est analogue à celle de la figure 347 ; les faces verticales sont striées parallèlement à leur axe de zone. On le trouve souvent à l'état granulaire, compact ou en incrustations.

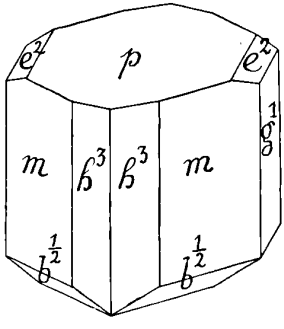


Fig. 347.

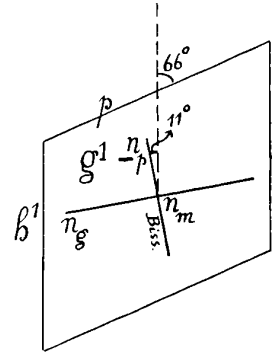


Fig. 348.

Dureté : 1,5 à 2. Densité : 3,556.

Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 ; la bissectrice, *négative*, fait un angle $\alpha = +\ 11°$ avec la verticale (fig. 348).

$$\gamma = 2{,}704 \qquad \beta = 2{,}684 \qquad \alpha = 2{,}538$$

$$B = 166 \qquad 2\,V = 38°53'$$

Le réalgar (1) est rouge vif ; sa poussière est rouge orangée. Le dichroïsme est intense :

β et γ : rouge vermillon. — α : orangé.

L'éclat est résineux, vitreux dans la cassure.

(1) Mot arabe.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Il fond dans le tube fermé, se volatilise ensuite en donnant un sublimé rouge transparent. Dans le tube ouvert, il donne des vapeurs arsénicales et un sublimé blanc octaédrique de As^2O^3. Il est attaquable par la potasse, en laissant un résidu blanc ; la solution précipite en jaune par l'acide chlorhydrique.

Il s'altère à la lumière et se transforme en orpiment.

C'est un minerai d'arsenic. Il est également employé dans la peinture.

Ses gisements sont les mêmes que ceux d'orpiment. De beaux cristaux se rencontrent dans les cavités de la dolomie blanche de Binnen (Suisse).

Car. dist. — Voir cinabre, crocoïse et zincite.

Orpiment

L'orpiment [1] est le sulfure d'arsenic As^2S^3, à 61 % d'arsenic. Il est orthorhombique, mais ses cristaux sont très rares. On le trouve surtout en masses lamellaires et en enduits.

Il existe un clivage extrêmement facile, pris pour g^1, et donnant des lames flexibles non élastiques. Il existe aussi un clivage net, mais plus irrégulier, pris pour h^1 et des plans de séparation parallèles à p, de sorte que les lames g^1, vues au microscope, présentent l'aspect de la figure 349.

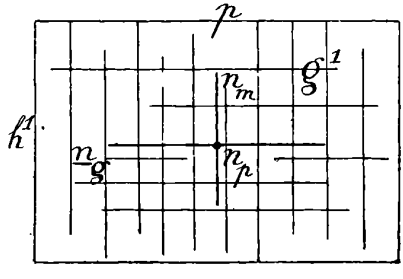


Fig. 349.

Dureté : 1,5 à 2. Densité : 3,49.

Le plan des axes optiques est parallèle à p ; le minéral est *positif* ; la bissectrice obtuse est perpendiculaire à g^1 (fig. 349).

$\gamma = 3{,}02$	$\beta = 2{,}81$	$\alpha = 2{,}40$
$B = 620$	$2V = 62°$	$2v = 76°$

L'orpiment est jaune citron ; son éclat est résineux, mais nacré sur g^1. La dispersion est intense.

---

[1] De *auripigmentum* : couleur d'or.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les caractères chimiques sont ceux du réalgar.

Mêmes usages que le réalgar. On le trouve dans des filons où il résulte de l'altération de mispickel situé à de plus grandes profondeurs. Il accompagne fréquemment le mercure.

Car. dist. — La couleur, le clivage, l'apparence optique de g^1 et les caractères chimiques.

Stibine

C'est le sulfure d'antimoine Sb^2S^3, contenant 71,3% d'antimoine, mais fréquemment ferrifère, argentifère ou aurifère.

Orthorhombique ; les angles principaux sont :

$mm = 89°34'$ $\quad b^{\frac{1}{2}}\, b^{\frac{1}{2}}$ lat. $= 71°24'$ $\quad b^{\frac{1}{2}}\, b^{\frac{1}{2}}$ ant. $= 110°38'$

Clivage g^1 parfait.

Les cristaux sont toujours allongés verticalement, un peu aplatis suivant g^1 ; ils sont terminés fréquemment par $b^{\frac{1}{2}}$ et des biseaux sur e tels que $\eta = b^{\frac{1}{8}}\, b^{\frac{1}{2}}\, g^{\frac{1}{3}}$ (fig. 350) ; on les trouve aussi en aiguilles enchevêtrées, en masses lamellaires, fibreuses, compactes. Il existe, au Japon, des groupements ternaires autour de l'axe vertical, dus à ce que l'angle $h^4\, h^4$ est voisin de 60°.

La rayure verticale sur g^1 produit des triangles (**290**) à bases horizontales ; c'est suivant ces droites horizontales que se plient les lamelles de stibine, ce qui explique les cristaux souvent tordus et courbés.

Dureté : 2. Densité : 4,65.

Gris de plomb et gris d'acier. Eclat métallique brillant, un peu terne sur g^1, opaque.

Fusible à la flamme d'une bougie avec une couleur bleu verdâtre. Dans le tube ouvert, dégage des vapeurs sulfureuses et donne un sublimé blanc. Soluble dans l'acide chlorhydrique. Décomposée dans l'acide nitrique avec résidu blanc. Soluble dans la potasse en donnant une solution jaune ; l'addition d'acide chlorhydrique précipite le sulfure d'antimoine en flocons rouge orangé.

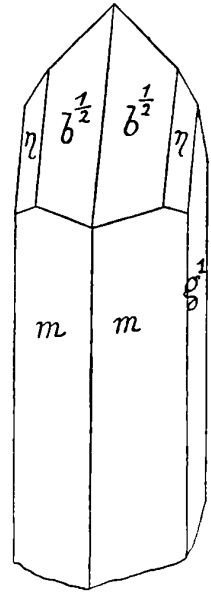


Fig. 350.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

S'altère facilement en donnant de la valentinite blanche et de la **stibiconise** jaune ($Sb^2S^3.Sb^2O^3 + 2aq$).

C'est le principal minerai d'antimoine. On le trouve dans les gîtes filoniens avec des minerais de plomb, d'argent, de cuivre et d'arsenic ; aussi en imprégnations dans des roches sédimentaires.

Car. dist. — La fusibilité, la forme des cristaux, le clivage facile et les caractères chimiques sont les meilleurs caractères du minéral. On peut le confondre avec la **bismuthine** (Bi^2S^3) qui lui ressemble par ses caractères extérieurs, mais qui est soluble sans résidu dans l'acide nitrique : l'addition d'eau amène seule pour ce minéral le précipité blanc. Voir zinckénite.

Molybdénite

La molybdénite, de formule MoS^2, contient, à l'état pur, 60% de molybdène.

Elle est hexagonale, le plus souvent en lames ou écailles, avec un clivage parfait.

Dureté : 1 à 1,5. Densité : 4,62.

Toucher gras. Gris de plomb, elle laisse une trace bleuâtre sur la porcelaine et verdâtre sur le papier.

Dans le tube ouvert, elle donne des vapeurs sulfureuses et un sublimé d'acide molybdique jaune pâle. Infusible ; colore la flamme en vert. Décomposée par l'acide nitrique, avec résidu d'acide molybdique aisément soluble dans l'ammoniaque ; la solution ammoniacale, acidifiée à nouveau par l'acide nitrique, donne un précipité jaune par addition d'un fragment de phosphate de soude.

Recherché pour la métallurgie de l'acier et comme minerai de molybdène, ce minéral se trouve dans des roches cristallines et plus rarement dans des filons métallifères.

Car. dist. — La molybdénite et le graphite se ressemblent beaucoup par les caractères extérieurs. La trace sur le papier ou la porcelaine permet de les distinguer, en même temps que l'action de l'acide nitrique et surtout la différence de densité qui peut se vérifier par le bromoforme ou l'iodure de méthylène. Voir wulfénite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

b) Sulfures des métaux

Dyscrasite

La composition de ce minéral varie entre celles indiquées par les formules Ag^3 Sb et Ag^6 Sb ; la proportion d'argent est de 15 à 28% (1).

Système orthorhombique mais le plus souvent en masses compactes, dendritiques, lamellaires ou grenues.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 9,44 à 9,86.

Blanc d'argent à blanc d'étain mais jaunit ou noircit à l'air.

Sur le charbon donne un globule d'argent et une auréole blanche. Insoluble dans l'acide chlorhydrique. Soluble dans l'acide nitrique avec résidu blanc.

Ce minéral se trouve dans les filons métallifères.

Car. dist. — La densité, la sectilité, la couleur et l'action des acides.

Argyrose

La formule Ag^2S de ce minéral correspond à la composition : Ag : 87,1 — S : 12,9.

Cubique. En octaèdres ou rhombododécaèdres.

Clivages a^1 ou b^1 par traces.

Dureté : 2 à 2,5. Très sectile. Densité : 7,28 à 7,4.

Couleur gris de plomb. Rayure brillante.

Fusible au chalumeau en se gonflant et en donnant finalement un globule d'argent.

Soluble dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre ; l'addition d'acide chlorhydrique donne un précipité cailleboté blanc soluble dans l'ammoniaque. Sur le charbon, avec le cyanure de potassium, donne un globule d'argent.

Ce minéral, exploité pour argent, se trouve en cristaux rugueux et déformés, ou en dendrites, masses capillaires ou compactes, dans des filons métallifères.

Car. dist. — Sa sectilité et l'action des acides. Voir chalcosine.

Galène

La galène (2) a la composition suivante : Pb : 86,61 ; S : 13,39 qui répond à la formule PbS. Ce minéral renferme presque toujours

(1) Le nom vient des mots grecs *dys* (double) et *crasis* (mélange).
(2) D'un nom latin qui était donné aux minerais de plomb.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de l'argent en proportion variable qui peut atteindre 1% ; les galènes argentifères sont souvent à grains très fins. Les galènes pauvres en argent et très pures sont dites *alquifoux* (1) ; elles peuvent renfermer du sélénium, du zinc, du cadmium, de l'antimoine, du bismuth, du cuivre et, en traces, des métaux rares comme le germanium.

La galène est cubique avec clivage p parfait. Ses formes prédominantes sont le cube ou l'octaèdre, parfois chargés de faces en troncatures de leurs angles et arêtes (fig. 351 et 352). Elle est aussi en masses compactes, clivables, grenues. La galène tricotée est un assemblage de petits cubes assemblés suivant les axes quaternaires et formant des ramifications à angles de 90°, parfois dans de la blende jaune compacte.

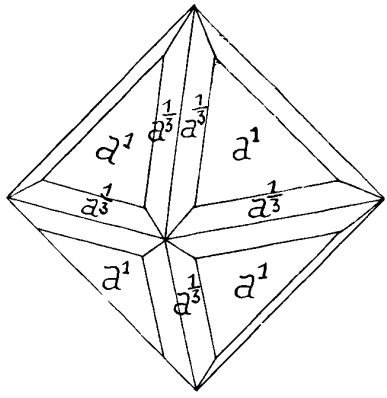


Fig. 351.

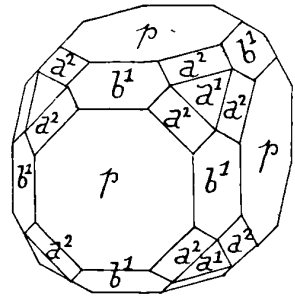


Fig. 352.

Certaines galènes possèdent, avec ou sans le clivage p, un clivage conduisant à l'octaèdre a^1.

Dureté : 2,5 à 2,75. Densité : 7,3 à 7,55.

Couleur gris de plomb. — Poussière gris noir. — Opaque. Eclat métallique.

Décrépite quand on la chauffe. Dans le tube ouvert, donne des vapeurs sulfureuses. Broyée avec du sulfate de potassium, dégage abondamment de l'hydrogène sulfuré à odeur caractéristique. Au chalumeau, sur le charbon, fond et donne un globule de plomb avec un enduit jaune suivi d'un enduit blanc. Décomposée par l'acide nitrique avec dépôt de soufre et précipité blanc de

(1) Ces galènes sont souvent employées pour faire des vernis de poteries. On ignore à quel état l'argent se trouve dans le minerai.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

sulfate de plomb ; l'addition d'acide chlorhydrique donne un précipité blanc de chlorure de plomb soluble dans l'eau bouillante. L'argent se reconnaît par coupellation ; on peut aussi dissoudre à chaud la galène dans de l'acide nitrique étendu et après refroidissement ajouter quelques gouttes d'iodure d'amidon qui se décolore immédiatement s'il y a de l'argent.

La galène s'altère très aisément en donnant naissance à de la cérusite, de l'anglésite, de la pyromorphite, etc. ; ces minéraux, en général bien cristallisés, se trouvent dans les parties hautes des gisements de galène, souvent mélangés à de la limonite. Dans les galènes argentifères, l'argent s'isole parfois, comme aussi le soufre.

La galène est le principal minerai de plomb. On la trouve surtout dans les filons, mais accidentellement aussi dans des roches sédimentaires, dans des fentes de roches éruptives et dans des roches métamorphisées au contact des roches éruptives.

Car. dist. — Le clivage cubique, l'éclat, la couleur de la poussière, la dureté et la densité.

Clausthalite

C'est le séléniure PbSe, cubique, mais généralement en masses finement granulaires, rarement feuilletées.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 8,2.

Couleur gris de plomb, bleuâtre. Opaque.

En tube ouvert, donne des fumées de sélénium et un sublimé rouge.

Zorgite

C'est un séléniure de plomb et de cuivre, en masses granulaires, gris de plomb, souvent irisées.

Dureté : 2,5. Densité : 7,25.

Mêmes caractères que la clausthalite mais sur le charbon, avec la soude, donne un globule de cuivre.

C'est comme le précédent, un minerai de sélénium exploité en Argentine.

Bornite (*Erubescite*)

Ce minéral présente de grandes variations de composition dues à des mélanges mécaniques de chalcopyrite et de chalcosine. La formule $3Cu^2S.FeS^2.FeS$ répond à la composition :

S : 28,1 Cu : 55,5 Fe : 16,4

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La bornite (1) est parfois argentifère.

Cubique. En cubes ou en rhombododécaèdres à faces rugueuses et ternes. Le plus souvent en masses compactes ou grenues.

Dureté : 3. Densité : 5.

Couleur rouge de cuivre dans la cassure fraîche, parfois brun tombac. Belles irisations bleues et rouges (couleur gorge de pigeon). Poussière gris noir. Opaque.

Les caractères chimiques sont ceux de la chalcopyrite.

On trouve la bornite dans les filons cuprifères et dans les roches éruptives. En Belgique, on l'a rencontrée à Vielsalm dans un filon.

Car. dist. — Voir chalcopyrite.

Linnéite

C'est un sulfure de cobalt, de nickel, de fer et souvent de cuivre.

Système cubique. En octaèdres.

Clivage cubique imparfait.

Dureté : 5,5. Densité : 4,9.

Couleur gris d'acier avec reflets rouge bleuâtre. Eclat métallique. Opaque.

Soluble dans l'acide nitrique. Une perle de borax produite avec le minéral grillé est bleue.

Se trouve dans les filons métallifères.

Car. dist. — La forme est distinctive de la cobaltine qui est hexadiédrique.

Blende

La composition théorique de la blende (2) correspond à la formule ZnS, qui donne 67% de zinc. Mais la plupart des blendes contiennent du fer, du manganèse, du cadmium, même de l'argent et de l'or et, en traces, des métaux rares comme le thallium, le gallium, le germanium.

La blende est cubique tétraédrique avec clivage b^1 parfait. Les deux tétraèdres a^1 et A^1 sont physiquement différents: on prend pour tétraèdre de gauche A^1 (fig. 353) celui dont les faces portent des stries parallèles à p et sont fréquemment arrondies ; les faces

(1) Dédiée à von Born qui l'a découverte.

(2) Le mot blende vient du mot allemand *blind* (aveugle) ; on emploie aussi le mot *sphalérite*, provenant du grec (trompeur), par suite de la confusion qui peut se faire a première vue entre certaines blendes et certaines galènes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

du tétraèdre de droite a^1 sont miroitantes, portant parfois de petits triangles équilatéraux. Les formes de gauche sont plus

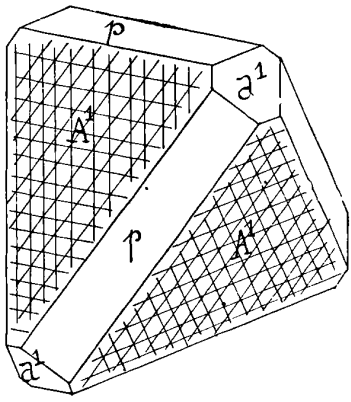


Fig. 353.

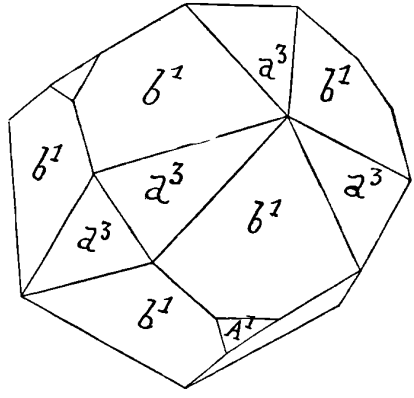


Fig. 354

fréquentes que les formes de droite. Les cristaux de blende peuvent être rapportés à deux types :

1) *Type tétraédrique.* — La combinaison pa^1A^1 (fig. 353) est fréquente ; il s'y ajoute des facettes b^1 et a^m ou $\underline{a}^m$ ($m > 1$).

2) *Type rhombododécaédrique.* — Le rhombododécaèdre b^1 est fréquemment modifié par les quatre faces d'un des tétraèdres et sur les autres angles a, par les faces d'un tétratrièdre : le cristal prend alors l'aspect de la figure 354. Les faces a^m sont aussi remplacées par des faces courbes conduisant à des trapézododécaèdres.

La macle avec plan de jonction a^1 ou A^1 (fig. 355) est fréquente et elle se manifeste souvent par des lamelles mimétiques qui rendent parfois difficile l'orientation des cristaux.

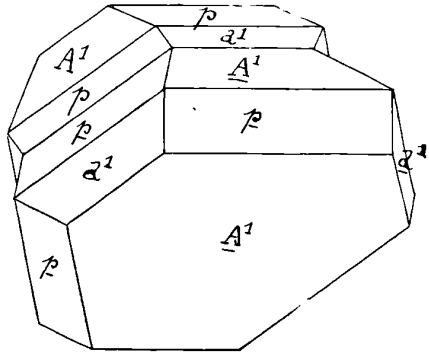


Fig. 355.

La blende se trouve aussi en masses clivables ou grenues et à l'état fibreux, concrétionné, botryoïdal, stalactitique. La *schalblende* est une variété

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

concrétionnée jaune grisâtre, en lits plus ou moins contournés alternant avec des lits de galène et de marcasite (1).

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 4.

Isotrope, la blende présente par percussion des phénomènes de double réfraction. Réfringence : N = 2,428 à 2,47.

La blende est jaune de diverses nuances, grise, rouge, brune, noire ; transparente ou translucide en lames minces, parfois opaque en masse. La poussière est de couleur claire. L'éclat est résineux ou adamantin.

Pyroélectrique. Parfois phosphorescente sous le choc, par friction ou par insolation.

Décrépite quand on la chauffe. Sur le charbon, fond difficilement mais donne un enduit jaune clair à chaud et blanc à froid ; lorsqu'il y a du cadmium, il se forme aussi un enduit brun rouge au delà de l'enduit blanc. Soluble dans l'acide chlorhydrique avec dégagement d'hydrogène sulfuré.

La blende, qui est un des principaux minerais de zinc, est essentiellement un minéral de filon, mais on la trouve parfois disséminée en mouches dans des roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives. De nombreux gîtes de blende ont été exploités en Belgique, notamment à Engis, à Moresnet, à Welkrenraedt ; elle y est généralement mélangée à de la galène et de la pyrite.

Car. dist. — La forme des cristaux, le clivage qui donne des faces faisant entre elles des angles de 60° et de 90°, l'éclat, la dureté et la couleur de la poussière.

Chalcosine

La formule Cu^2S donne :

Cu : 79,87 S : 20,13.

Il y a peu de fer et d'argent.

Orthorhombique :

$$mm = 60°25'. \qquad pe^{\frac{1}{2}} = 62°44'. \qquad pb^{\frac{1}{2}} = 62°15'30''$$

Les cristaux sont fréquemment aplatis parallèlement à p et la figure 356 représente un de leurs facies habituels. L'angle des

(1) La schalblende est constituée en partie par une variété hexagonale dite *wurtzite*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

faces m étant proche de 60°, il se produit souvent des groupements de trois cristaux, reconnaissables aux stries de p, autour de l'axe vertical. La figure 357 représente un groupement de deux cristaux autour de la normale à h^1 et dû à ce que l'angle des deux faces e^1 (qui sont des plans d'assemblages) est égal à 88°15′ (proche de 90°). Masses compactes ou terreuses.

Le clivage m est peu distinct. La cassure est conchoïdale.

Dureté : 2,5 à 3. Fragile et sectile. Densité : 5,65.

Gris de plomb noir, devenant bleuâtre par exposition à l'air. Poussière gris de plomb. Opaque.

Au chalumeau, fond tumultueusement et donne un globule noir. Sur le charbon, avec la soude, donne un globule de cuivre. Soluble dans l'acide nitrique avec dépôt de soufre ; la solution se colore en bleu par l'ammoniaque. Dans le tube fermé, reste inaltérée.

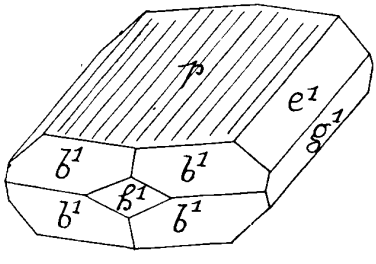


Fig. 356.

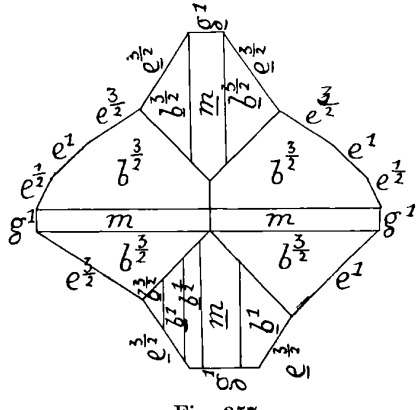


Fig. 357.

La chalcosine [1] est un excellent minerai de cuivre ; on la trouve dans les filons métallifères. De beaux cristaux ont été trouvés à Bamanga (Congo Belge) dans des filons de chalcosine compacte traversant un porphyre granitique.

Car. dist. — Les cristaux sont caractéristiques ; en masse, se distingue de l'argyrose par les essais chimiques.

Cinabre

Ce minéral répond à la formule HgS et à la composition

Hg : 86,2 S : 13,8.

[1] Du mot grec : *chalcos* : cuivre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Il est fréquemment mélangé à des argiles, des oxydes de fer et des matières bitumineuses.

Rhomboédrique holoaxe, comme le quartz : $pp = 87°23'$, $a^1p = 52°54'$. Clivage e^2 parfait. Les cristaux souvent surchargés de faces rhomboédriques, ont une forme prismatique (fig. 358) ou, plus souvent, sont terminés par la base a^1 (fig. 359). La macle par pénétration de deux rhomboèdres autour de l'axe ternaire n'est pas rare.

Masses grenues, compactes ou terreuses.

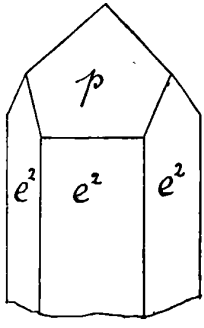


Fig. 358.

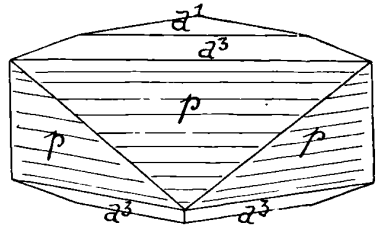


Fig. 359.

Dureté : 2 à 2,5. Un peu sectile. Densité : 8,1.

Uniaxe et *positif*. Polarisation rotatoire plus souvent gauche que droite, quinze fois plus grande que celle du quartz. Les indices sont :

$$\varepsilon = 3{,}201 \qquad \omega = 2{,}854 \qquad B = 347$$

Rouge cochenille ou rouge brun, gris. Poussière rouge écarlate. Eclat adamantin.

Dans le tube fermé, donne un sublimé noir et, avec le carbonate de soude, des gouttelettes de mercure ; dans le tube ouvert, vapeurs sulfureuses et dépôt de mercure métallique. Se volatilise sur le charbon. Soluble dans l'acide nitrique. Frotté sur une lame de cuivre bien décapée, laisse un enduit blanc argentin.

Le cinabre [1], qui est le seul minerai de mercure, se trouve en filons ; ces filons sont, ou bien seulement mercureux, ou antimonieux, plombeux, etc. — On le trouve aussi parfois dans des fentes de roches sédimentaires : en Belgique, on l'a signalé à Dave et au Rocheux (Oneux).

[1] Mot indien se rapportant à une résine rouge.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Car. dist. — La couleur de la poussière est différente de celles du réalgar et des argents rouges. Les caractères pyrognostiques sont caractéristiques. Voir crocoïse et oligiste.

Millérite

La formule NiS correspond à 64,6% de nickel, mais il existe souvent un peu de cobalt, de cuivre, de fer.

La millérite (1) est rhomboédrique : $pp = 81°17'$. Toujours en aiguilles allongées suivant l'axe ternaire, parfois extrêmement fines ; elles sont clivables suivant plusieurs faces rhomboédriques.

Dureté : 3 à 3.5. Densité : 5,3 à 5,65.

Couleur jaune de diverses nuances passant au gris ; poussière gris noir. Eclat métallique.

Dans le tube ouvert, donne des vapeurs sulfureuses. Fusible en un globule magnétique ; attaquable par l'eau régale en donnant une solution verte qui précipite en vert par addition de soude caustique ; cette solution, rendue légèrement alcaline, précipite en rouge cramoisi par le dyméthylglyoxime.

C'est un minéral de filon. On l'a trouvé en Belgique, en houppes très fines, sur de la dolomie d'une schiste houiller du charbonnage du Hasard.

Car. dist. — La forme capillaire et la couleur.

Pyrrhotine

Les analyses faites sur ce minéral (2) ne donnent pas de résultats concordants, mais la formule que l'on en déduit est toujours de la forme Fe^nS^{n+1}, variant entre Fe^5S^6 et $Fe^{16}S^{17}$; il y a souvent un peu de nickel et de cobalt, ainsi que de l'argent et de l'or.

La pyrrhotine est hexagonale, avec a^1a^1 adj. $= 53°11'$. Les cristaux, rares, ont la forme du prisme *mp*, le plus souvent aplati parallèlement à *p*. Masses lamellaires ou compactes. Clivage parallèle à *p*.

Dureté : 4. Fragile. Densité : 4,6.

La couleur varie du jaune de bronze au jaune de cuivre. Poussière noire. Opaque. Eclat métallique. Magnétique.

Dans le tube ouvert, donne des vapeurs sulfureuses ; sur le charbon, fond au feu réducteur en une masse noire magnétique,

(1) Dédiée au minéralogiste anglais Miller.
(2) Du grec *purrotès* : rougeâtre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

qui, au feu oxydant, se transforme en oxyde de fer rouge. Décomposée par l'acide chlorhydrique avec dégagement d'hydrogène sulfuré.

La pyrrhotine, que l'on trouve dans les filons de minéraux complexes, a été exploitée comme minerai de nickel, de cobalt, d'argent ou d'or. Se rencontre dans les météorites.

Car. dist. — Se distingue de la pyrite par sa couleur, sa forme, sa densité, sa dureté, son magnétisme et sa solubilité dans l'acide chlorhydrique. Voir breithauptite.

Covelline

Sa composition correspond à la formule CuS :

Cu : 66,4 S : 33,6

Il y a souvent du fer et de l'argent.

Hexagonale. Un clivage donnant des lames flexibles. — Masses compactes, ou parfois terreuses.

Dureté : 1,5 à 2. Densité : 4,67.

Bleu indigo ou noir. Reflets irisés. Eclat métalloïde un peu nacré sur le clivage, résineux dans la cassure. Poussière noire opaque.

Au chalumeau, brûle avec une flamme bleue, donne une odeur sulfureuse, puis fond avec bouillonnement en un globule de cuivre. Soluble dans l'acide nitrique. Dans le tube fermé, donne un sublimé de soufre.

La covelline (1) se trouve dans des filons de plomb et de cuivre et résulte souvent de l'altération de la chalcosine.

Car. dist. — Se distingue de la chalcosine par l'action de la chaleur en tube fermé.

Nickéline

La composition théorique correspond à la formule NiAs, contenant 43,9% de nickel ; mais, généralement, il y a du soufre, du fer, du cobalt et aussi de l'antimoine, le minéral passant alors à la breithauptite.

Masses finement cristallines, compactes, réniformes. Cassure inégale. Fragile.

Dureté : 5,25. Densité : 7,49.

(1) Dédiée à Covelli qui l'a trouvée dans les laves du Vésuve.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Couleur rouge de cuivre pâle, se ternissant à l'air. Opaque. Poussière noire bleuâtre.

Dans le tube, réactions de l'arsenic. Insoluble dans l'acide chlorhydrique, soluble dans l'eau régale. Réactions du nickel, comme la millérite.

Car. dist. — Voir breithauptite.

Breithauptite

La formule théorique NiSb correspond à 32,8 % de nickel mais le minéral renferme souvent de l'arsenic. Masses compactes, rouge de cuivre passant au violet. Eclat métallique. Opaque. Poussière brun rouge.

Dureté : 5,5. Densité : 7,54 à 7,19.

Insoluble dans l'acide chlorhydrique. Soluble dans l'acide nitrique avec résidu blanc. Réactions du nickel (voir millérite).

Car. dist. — La pyrrhotine est plus jaune que la nickéline et la breithauptite [1] ; ces deux minéraux se distinguent aussi entre eux par leurs couleurs.

Pyrite

Certaines pyrites [2] ont des compositions qui répondent exactement à la formule FeS^2, mais ce minéral contient en général de l'arsenic, de l'antimoine, du cuivre, des traces de nickel, de cobalt, de thallium, et aussi de l'argent ou de l'or.

Cubique hexadiédrique. Les cristaux, très fréquents, peuvent être rapportés à trois types :

1) *Type cubique.* — Les cubes présentent souvent des stries (fig. 120) indiquant l'hémiédrie (*pyrite trigliphe*). On les trouve fréquemment aussi avec les faces de l'octaèdre (fig. 2), qui peuvent être remplacées par les faces d'un trapézoèdre tel que a^3 (fig. 360) ; enfin les cubes portent (fig. 361) sur chaque arête une seule des deux faces b^2, conformément à l'hémiédrie du groupe, et qui conduisent (**104**) à l'un des deux hexadièdres $\frac{1}{2}\ b^2$.

2) *Type hexadiédrique.* — Les hexadièdres (fig. 121) sont d'ailleurs très fréquents dans la pyrite, spécialement l'hexadièdre $\frac{1}{2}\ b^2$;

---

(1) Dédié au minéralogiste saxon Breithaupt.

(2) Du mot grec : *pur*, feu, à cause des étincelles que ce minéral donne par le choc du marteau.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

on les trouve, soit (fig. 361) avec les faces du cube, soit avec celles de l'octaèdre (fig. 362) auxquelles peuvent s'ajouter celles d'un trapézoèdre tel que a^3 (fig. 363). Si l'on observe que, dans la combinaison $\frac{1}{2}\, b^2.a^1$ (fig. 362), l'arête ii' d'intersection d'une face a^1 avec la face b^2 adjacente est parallèle à la droite ss', on comprend qu'un développement plus étendu des faces a^1 puisse conduire à

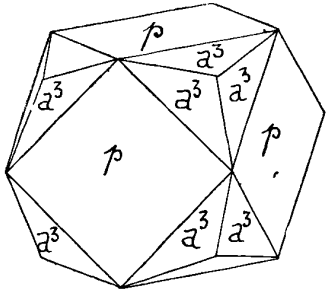


Fig. 360.

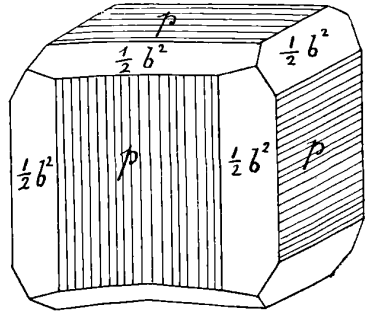


Fig. 361.

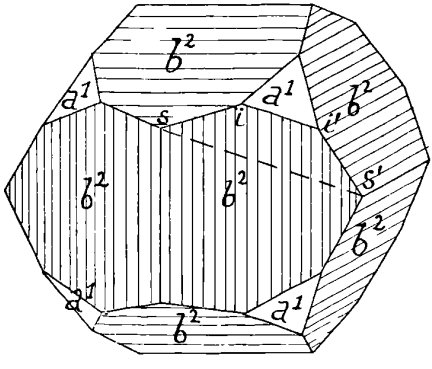


Fig. 362.

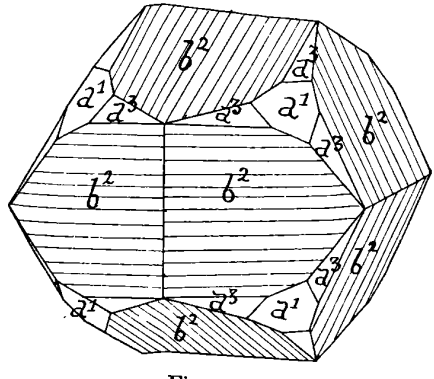


Fig. 363.

un solide (fig. 364) formé de huit faces triangulaires équilatérales a^1 et de douze faces isocèles b^2 ; c'est l'*icosaèdre*, fréquent dans la pyrite.

3) *Type octaédrique.* — De l'icosaèdre, on peut passer à un cristal de ce type (fig. 365) ; l'octaèdre n'est d'ailleurs pas rare.

On a signalé les stries portées par les faces p. Les hexadièdres $\frac{1}{2}\, b^2$ sont striés, ou bien parallèlement à leurs arêtes horizontales (fig. 362), ou bien normalement à ces arêtes (fig. 363) ; ce sont là

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

les deux formes conjuguées dont l'une devrait être notée $\frac{1}{2}\ b^2$ et l'autre $\frac{1}{2}\ b'^2$.

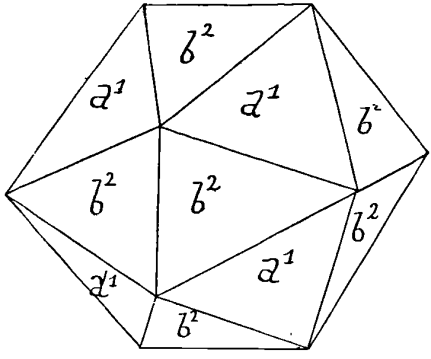


Fig. 364.

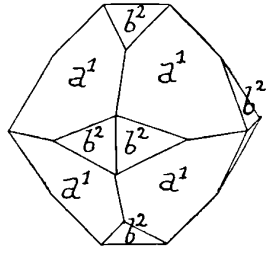


Fig. 365.

Deux hexadièdres de pyrite se groupent souvent ensemble, par pénétration, l'un occupant la position que prendrait l'autre après rotation de 90° autour de l'axe vertical (fig. 366) : c'est un groupement de complément (**119**) qui possède la symétrie cubique holoédrique ; ce groupement est connu sous le nom de *croix de fer*.

Les cubes de pyrite des roches cristallophylliennes ou métamorphiques sont souvent complètement déformés, prenant la forme de prismes orthorhombiques, clinorhombiques ou de rhomboèdres.

La pyrite se trouve aussi en masses à grains cristallins ou compactes, grenues, réniformes, stalactitiques.

Dureté : 6 à 6,5. Fragile.
Densité : 4,97 à 5,17.

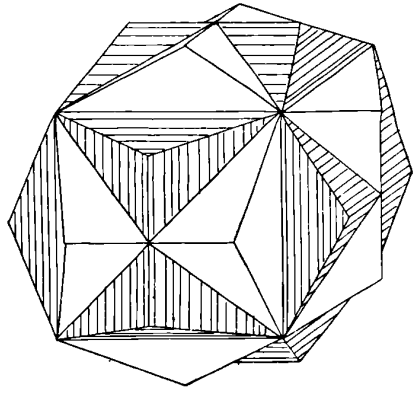


Fig. 366.

Couleur jaune laiton. Eclat métallique très brillant. Poussière noire brunâtre. Opaque. Thermoélectrique. Paramagnétique.

Dans le tube fermé, donne un sublimé de soufre. Au chalumeau, dégage du soufre, qui brûle avec une flamme bleue et laisse une masse magnétique qui, au feu oxydant, se transforme en oxyde rouge de fer (Fe^2O^3). Insoluble dans l'acide chlorhydrique. Décomposée par l'acide nitrique avec résidu de soufre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La pyrite s'altère en se transformant en limonite ou en goethite ; le minéral conserve sa forme mais devient brun de la surface vers le centre. Quand elle est aurifère, l'or apparaît dans les produits d'altération et reste souvent dans les cavités laissées dans la roche par la limonite disparue (cristaux négatifs).

La pyrite est extrêmement répandue dans la nature. On la trouve comme élément accessoire dans les roches éruptives, surtout dans les roches basiques. Elle forme l'un des minéraux habituels des filons et des amas métallifères où on l'exploite pour l'extraction de soufre. Dans les schistes métamorphiques, comme les ardoises de l'Ardenne, elle se présente fréquemment en cubes ou en hexadièdres déformés. On la trouve aussi dans les roches sédimentaires et elle abonde notamment dans les schistes houillers, où sa décomposition a une influence sur les inflammations spontanées du charbon. Enfin la pyrite se produit fréquemment dans les sources thermales et dans les milieux renfermant à la fois des oxydes de fer et des sulfates.

Car. dist. — La forme, la couleur, la densité, l'éclat.

Voir pyrrhotine, cobaltine, marcasite et chalcopyrite.

Cobaltine

Ce minéral répond à la formule $CoS^2.CoAs^2$, qui donne 35,5% de cobalt et 45,2% d'arsenic, mais il contient fréquemment du fer.

Cubique hexadiédrique, il présente les mêmes formes que la pyrite, notamment le cube, l'icosaèdre, l'hexadièdre $\frac{1}{2}\ b^2$. Le clivage p est parfait.

Dureté : 5,5. Densité : 6 à 6,3.

Blanc d'argent ou gris d'acier. Opaque. Thermoélectrique.

Dans le tube ouvert, vapeurs sulfureuses et sublimé d'acide arsénieux. La perle de borax préparée avec le minéral grillé est bleue. Soluble en solution rouge dans l'acide nitrique avec dépôt de As^2O^3.

Car. dist. — La couleur et le clivage distinguent la cobaltine de la pyrite (voir smaltine).

Smaltine

Ce minéral, de formule $CoAs^2$, contient très souvent du nickel, parfois du soufre et de l'argent.

Cubique hexadiédrique avec clivage a^1. Massive.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dureté : 5,5 à 6. Densité : 6, 5.

Blanc d'étain. Opaque. Poussière grise.

Dans le tube fermé, anneau noir d'arsenic. Fond sur le charbon en un bouton métallique attirable à l'aimant. L'acide nitrique le dissout avec dépôt de As^2O^3 ; la solution est rose.

Ce minéral se trouve dans les gîtes métallifères.

Car. dist. — La forme, la couleur et le clivage. Se distingue de la cobaltine par le clivage et l'absence de soufre.

Chalcopyrite

Formule : $Cu^2S.FeS^2.FeS$ ou $CuFeS^2$:

Cu : 34,5 Fe : 30,5 S : 35.

Il y a souvent excès de fer dû à un mélange de pyrite. Parfois aurifère ou argentifère.

Quadratique sphénoédrique. La forme primitive, définie par $pa^1 = 54°20'$, est un prisme dont la hauteur de l'arête verticale est égale à 0,985 ; il est donc très voisin du cube. Les cristaux présentent nettement l'hémiédrie caractérisée par le sphénoèdre (fig. 80) et le disphénoèdre (fig. 81). Les sphénoèdres conjugués

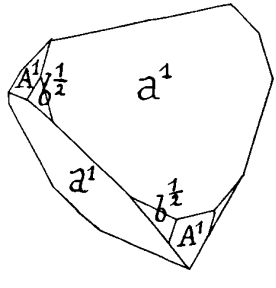


Fig. 367.

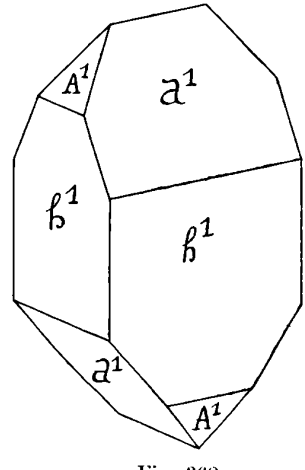


Fig. 368.

a^1 et A^1 sont fréquents ; on prend comme forme droite a^1 celle dont les faces sont striées ou ternes, tandis que les faces de la forme gauche A^1 (souvent moins développées) sont nettes et miroitantes. L'aspect sphénoédrique (fig. 367) est le plus fréquent dans les cris-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

taux, qui sont cependant parfois à facies prismatique (fig. 368). Les deux sphénoèdres peuvent être à peu près également développés comme dans les cristaux de Visé (fig. 81).

Les macles sont fréquentes, avec a^1 ou h^1 pour plan de jonction. Parfois les cristaux maclés se pénètrent (fig. 136). Des lamelles maclées rendent parfois difficile l'orientation des cristaux.

Clivages $b^{\frac{1}{2}}$ et p peu nets.

Cassure inégale. Fragile.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 4,12.

Jaune de laiton se ternissant à l'air et donnant des surfaces irisées rouges et bleues. Eclat métallique. Poussière noir verdâtre. Opaque.

Dans le tube fermé, décrépite et donne un sublimé de soufre ; dans le tube ouvert, dégage des vapeurs sulfureuses. Sur le charbon fond en un globule magnétique qui, avec la soude, donne un bouton de cuivre ferrifère ; attaquable par l'acide nitrique avec dépôt de soufre ; la solution colore en bleu par l'ammoniaque en donnant un précipité brun d'hydrate ferrique.

La chalcopyrite se transforme en covelline, bornite, chalcosine, malachite. Ce minéral, recherché comme minerai de cuivre, est exploité principalement dans des filons et des amas ; il imprègne parfois des roches sédimentaires et il se trouve aussi dans des roches éruptives.

Car. dist. — La dureté, la forme des cristaux, la couleur, la présence de cuivre sont les caractères distinctifs de la pyrite. La couleur la différencie nettement de la bornite qui a une composition analogue.

Stannine

C'est un sulfure d'étain contenant du cuivre, du fer, parfois du zinc.

Système cubique. Massive, granulaire. Opaque.

Dureté : 4. Densité : 4,4.

Gris d'acier à noir de fer ; parfois bleuâtre.

Dans le tube fermé, décrépite et donne un faible sublimé. Traitée, après grillage, sur le charbon, avec la soude, donne un globule d'étain. Soluble dans l'acide nitrique avec séparation de soufre et d'oxyde d'étain et en colorant la liqueur en bleu.

Se trouve dans les filons stannifères.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Marcasite

Ce minéral est une variété dimorphe de la pyrite FeS^2.
Orthorhombique :

$$mm = 74°55' \qquad pa^1 = 58°10' \qquad pe^1 = 50°59'$$

Le clivage m est distinct.
Les cristaux présentent les deux facies suivants :

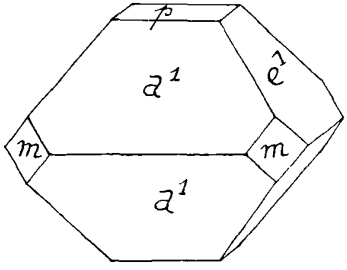


Fig. 369.

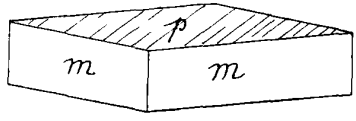


Fig. 370.

1) Facies octaédrique (fig. 369) constitué par les faces a^1 et e^1, avec m et p et parfois $b^{\frac{1}{2}}$. Ces cristaux ressemblent à des cuboctaèdres (fig. 2) dont ils se différencient par les valeurs des angles.

2) Facies orthorhombique mp (fig. 370) qui peut d'ailleurs être aplati parallèlement à p ou allongé verticalement (fig. 3 et 4).

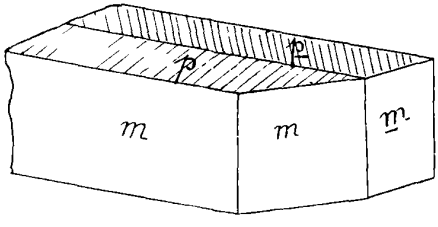


Fig. 371.

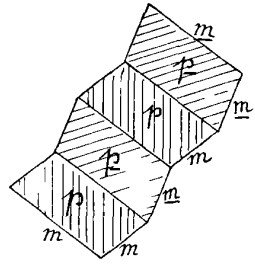


Fig. 372.

Les macles sont très fréquentes. Le plan de macle est le plus souvent une face m (fig. 371) et cette macle se répète parallèlement (fig. 372), donnant alors les cristaux dits en *crête de coq*. Il arrive aussi que les cristaux se joignent par quatre ou cinq individus autour de l'axe vertical (fig. 373) donnant la *macle de la sperkise*. Enfin ces deux macles peuvent se combiner entre elles.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Une macle de deux cristaux prismatiques avec a^1 pour plan de macle n'est pas rare.

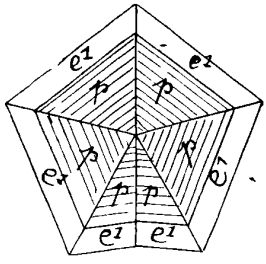


Fig. 373.

Les faces p sont striées suivant la petite diagonale ; ces stries sont souvent dues à une alternance de petites facettes e^m et, surtout vers les extrémités aiguës, on a une succession de e^m divers (e^2, e^1, $e^{\frac{1}{2}}$) qui donnent un aspect courbe à la base.

La marcasite est aussi massive ou fibreuse ; les fibres peuvent diverger d'un centre en donnant des masses globulaires, ou d'une droite en donnant des masses stalactitiques.

Dureté : 6 à 6,5. Densité : 4,61 à 4,89.

Jaune de bronze. Parfois blanche, grise ou brunâtre. Eclat métallique dans les cristaux non altérés. Opaque.

Les caractères chimiques sont les mêmes que ceux de la pyrite, mais l'altération est différente et plus rapide ; dans l'air humide, la marcasite donne du sulfate ferreux (à goût d'encre) qui se forme en aiguilles blanches dans les fissures et transforme bientôt complètement le minéral. Certaines pyrites donnent la même altération, mais elles doivent être considérées comme un mélange microscopique de pyrite et de marcasite.

La marcasite accompagne la pyrite dans ses gisements filoniens. On la trouve aussi dans les roches sédimentaires non métamorphiques, surtout dans la craie où elle présente de beaux cristaux de sperkise et des nodules fibreux.

Car. dist. — Il est souvent difficile de distinguer la pyrite de la marcasite lorsqu'elles sont en masses grenues ; la couleur est plus claire dans la marcasite. La forme cristalline constitue le seul mode bien certain de diagnostic ; l'altération saline de la marcasite diffère complètement de l'altération limonitique (ou hépatique) de la pyrite. Voir mispickel.

Mispickel (*Arsénopyrite*)

La composition du mispickel (1) répond à la formule : FeS^2. $FeAs^2$ ou FeSAs, mais une partie de l'arsenic peut être remplacée par l'antimoine ou le bismuth et le fer par du cobalt. Beaucoup de mispickels sont argentifères ou aurifères.

(1) Vieux mot allemand.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Orthorhombique : $mm = 68°15'$; $pa^1 = 60°30'$; $pe^1 = 50°8'30''$; $e^1a^1 = 71°36'30''$.

Les formes habituelles du mispickel sont indiquées par les figures 374 et 375. On le trouve aussi en masses grenues ou compactes. Le clivage m est assez net. La cassure est inégale. Les macles sont les mêmes, mais plus rares, que celles de la marcasite.

Dureté : 5,5 à 6. Fragile. Densité : 6.

Blanc d'argent à gris d'acier. Le minéral se ternit à l'air ; les variétés cobaltifères deviennent roses. Opaque. Thermoélectrique.

Dans le tube fermé donne un sublimé rouge de réalgar, puis un anneau noir d'arsenic. Dans le tube ouvert, vapeurs sulfureuses et sublimé blanc. Sur le charbon, fond en un globule magnétique et donne une odeur aliacée. Décomposé par l'acide nitrique avec dépôt de soufre.

Le mispickel s'altère en donnant de la scorodite et de la pharmacosidérite.

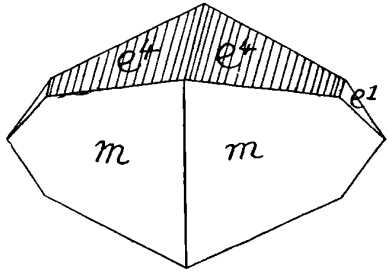


Fig. 374.

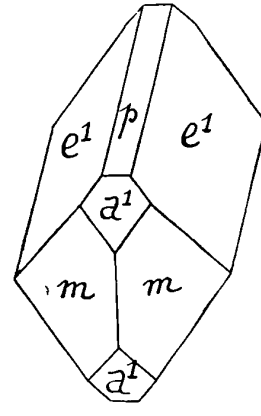


Fig. 375.

Ce minéral est exploité comme minerai d'arsenic, ou comme minerai aurifère, dans des gisements filoniens ; on le trouve aussi dans des roches éruptives et dans des roches cristallophylliennes ou métamorphiques. En Belgique, on en a trouvé de beaux cristaux dans des filons quartzeux du cambrien à Court-St-Etienne et dans des quartzites de Nil-St-Vincent.

Car. dist. — La couleur et la présence de l'arsenic sont les deux caractères distinctifs de la marcasite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Glaucodot

C'est un mispickel cobaltifère, de formule (Fe,Co)SAs.

Orthorhombique, isomorphe du mispickel :

$$mm = 69°32' \qquad pe^1 = 50°1'$$

Les formes des cristaux et les macles sont les mêmes.

Le clivage p est parfait, m est moins net.

Dureté : 5. Densité : 5,95.

Couleur blanc d'étain. Poussière noire. Opaque. Thermoélectrique.

Traitée au feu réducteur, une perle de borax donne, avec le glaucodot, un globule à surface métallique qui, au feu oxydant, devient bleu.

Le glaucodot (1), exploité comme minerai de cobalt, se trouve dans des filons métallifères.

Car. dist. — La couleur, les clivages, la forme.

Hessite

C'est le tellurure d'argent Ag^2Te, contenant 63% d'argent dont une partie (jusqu'à 13%) est remplacée par de l'or.

Système cubique ; en cristaux souvent très chargés de facettes mais distordus ; massive et granulaire.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 8,3 à 8,9. Un peu sectile.

Couleur gris de plomb ou d'acier. Opaque.

En tube ouvert, donne un sublimé blanc ; sur le charbon, un globule noir qui, traité au feu réducteur, présente en refroidissant des points dendritiques d'argent ; avec la soude, globule d'argent. Soluble dans l'acide nitrique.

La hessite (2) accompagne le quartz dans les filons d'or et d'argent.

Car. dist. — Voir sylvanite.

Petzite

C'est un tellurure d'or et d'argent contenant de 40 à 47% d'argent et 18 à 25% d'or.

Système orthorhombique, mais ordinairement en petites masses arrondies.

---

(1) Du mot grec *glaucos*, bleu, parce qu'il peut donner le bleu de cobalt.

(2) Dédié à Hess, de Pétrograd.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 8,7 à 9.
Faiblement sectile. Fragile.
Couleur gris d'acier ou noir de fer ; se ternit à l'air.
Mêmes réactions que la sylvanite.
Se trouve aussi dans les filons aurifères et argentifères.
Car. dist. — Voir sylvanite.

Sylvanite

La composition théorique de ce minéral correspond à la formule $AuAgTe^4$ qui donne :

Au : 24,5 Ag : 13,4 Te : 62,1

L'or et l'argent peuvent se remplacer réciproquement et le minéral renferme souvent du plomb, de l'antimoine et du cuivre.
Clinorhombique :

$mm = 117°4'$ $ph^1 = 89°35'$ $pa^{\frac{1}{2}} = 53°47'$.

Les cristaux, extrêmement rares, ont un facies orthorhombique ; dendrites arborescentes ; rarement en masses granulaires.
Dureté : 1,5 à 2. Densité : 8.
Couleur gris d'acier. Sectile. Eclat métallique. Opaque.
Sur le charbon, fond facilement en colorant la flamme en bleu verdâtre et en donnant un enduit blanc. Soluble dans l'acide nitrique avec résidu d'or. Attaquable par l'eau régale avec résidu de chlorure d'argent. Chauffé doucement avec l'acide sulfurique, donne une liqueur pourpre qui, additionnée d'eau, se décolore en abandonnant un précipité noir.
La sylvanite se trouve, notamment en Transylvanie, dans des filons métallifères d'où elle est retirée comme minerai d'or et d'argent.
Car. dist. — La hessite diffère de la petzite et de la sylvanite par l'absence ou la moindre proportion d'or. La sylvanite est caractérisée par sa structure.

Nagyagite

On a adopté, pour ce minéral, dont la composition est variable, la formule $Au^2Pb^{14}Sb^3Te^7S^{17}$.
Orthorhombique : $g^1g^3 = 60°40'$ $g^1e^1 = 74°34'$
Clivage g^1 parfait. Se présente ordinairement en lamelles de clivages flexibles.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dureté : 1. Densité : 7.

Couleur gris de plomb. Eclat métallique. Opaque.

Très fusible sur le charbon en colorant la flamme en bleu, répandant des fumées et donnant un enduit jaune. Attaquable par l'acide nitrique avec résidu d'or. L'acide sulfurique donne la réaction des tellurures, comme avec la sylvanite.

Ce minéral est exploité pour or et se trouve dans des filons complexes, notamment à Nagyag (Transylvanie).

c) Sulfosels

Zinkénite

La formule $PbS.Sb^2S^3$ correspond à 42% d'antimoine et 36% de plomb (1).

Système orthorhombique. Le plus souvent en masses fibreuses.

Dureté : 3 à 3,5. Densité : 5,3.

Gris d'acier. Eclat métallique. Opaque.

Très facilement fusible en décrépitant. En tube fermé donne un sublimé de soufre et de kermès rouge. Soluble à chaud dans l'acide chlorhydrique en laissant déposer du chlorure de plomb à froid.

Se trouve dans les filons métallifères.

Car. dist. — Se distingue de la stibine par le résidu de $PbCl^2$ dans l'acide chlorhydrique à froid, ainsi que par les autres réactions du plomb au chalumeau. Voir jamesonite et boulangérite.

Binnite

La formule est probablement : $3Cu^2S.2As^2S^3$; contient souvent du plomb et de l'argent.

Système cubique. Ordinairement en cristaux cubiques mais surchargés de facettes : b^1, a^1, $a^{\frac{2}{3}}$, a^4, etc.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 4,477.

Couleur gris d'acier à noir de fer. Rayure brun rouge. Eclat métallique brillant. Opaque.

Dans les tubes fermé et ouvert, réactions de l'arsenic ; sur le charbon, fumées arsénicales et enduit blanc ; avec la soude, globule de cuivre.

Dans la dolomie grenue de Binnen (Valais).

Car. dist. — La forme, l'éclat, les essais au chalumeau.

(1) Dédié à l'allemand Zinken.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Jamesonite

La formule paraît être : $2PbS.Sb^2S^3$ avec fer, argent, cuivre ou zinc.

Système orthorhombique. En aiguilles souvent capillaires, masses fibreuses ou compactes.

Clivages : p, m, g^1 : $mg^1 = 50°40'$.

Dureté : 2 à 3. Densité : 5,5 à 6. Fragile.

Gris d'acier à gris de plomb. Poussière gris noir. Opaque.

Mêmes réactions que la zinkénite, dont elle se distingue par une densité plus grande et par une teneur en plomb plus élevée (44 à 50% pour la jamesonite [1], 30 à 33% pour la zinkénite). Voir boulangérite.

Bournonite

Formule : $2PbS.Cu^2S.Sb^2S^3$.

Pb : 42,5 Sb : 24,7 Cu : 13,0 S : 19,8

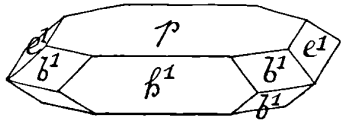


Fig. 376.

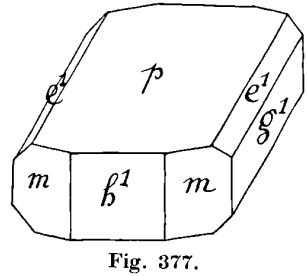


Fig. 377.

Orthorhombique : $mm = 86°20''$ $pb^1 = 33°15''$ $pe^1 = 41°53'$. Les cristaux [2] sont souvent très aplatis suivant p (fig. 376), ou ont un facies prismatique (fig. 377). La macle m est fréquente et il se produit des groupements en croix de cristaux prismatiques (fig. 378) appelés *roues dentées*.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 5,8. Cassure inégale.

Gris d'acier à gris de plomb. Eclat métallique brillant. Opaque.

Dans le tube fermé, décrépite et donne un enduit rouge foncé ; dans le tube ouvert, vapeurs sulfureuses et sublimé

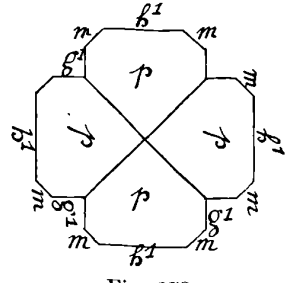


Fig. 378.

(1) Dédiée au minéralogiste Jameson d'Edimbourgh.
(2) Découverts au Cornwall par le comte de Bournon.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

blanc ; sur le charbon, fond aisément en donnant un enduit blanc, puis jaune, puis un globule de cuivre. Décomposée par l'acide nitrique ; la solution colore en bleu par l'ammoniaque en laissant un résidu blanc.

Ce minerai de cuivre et plomb accompagne souvent la galène dans ses filons.

Car. dist. — La forme et les macles, Voir tétraédrite.

Boulangérite

Formule : $3PbS.Sb^2S^3$.

Système orthorhombique. Masses fibreuses et compactes.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 5,75 à 6.

Gris de plomb bleuâtre se ternissant à l'air. Opaque.

Mêmes réactions que la zinkénite et la jamesonite : la teneur en plomb varie de 54 à 59% (1).

Argents Rouges

On comprend sous ce nom divers minerais d'argent, de couleur rouge, parmi lesquels nous distinguons :

la **pyrargyrite** (2) : $3Ag^2S.Sb^2S^3$.

la **proustite** (3) : $3Ag^2S.As^2S^3$.

La composition de ces deux minerais est :

pyrargyrite :	Ag : 59,9	Sb : 22,3	S : 17,8
proustite :	Ag : 65,4	As : 15,2	S : 19,4

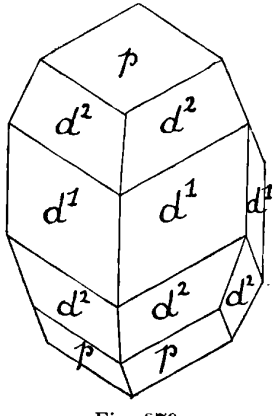


Fig. 379.

L'arsenic et l'antimoine se remplacent en partie dans les deux minéraux.

PYRARGYRITE ; (*argyrythrose*)

Rhomboédrique : $pp = 71°22'$

Les cristaux sont souvent prismatiques ; la combinaison pd^2d^1 est fréquente (fig. 379).

Clivage p distinct, b^1 imparfait. Cassure inégale.

Dureté : 2,5. Densité : 5,77 à 5,86.

Uniaxe et *négatif* : $\omega = 3,084$

$\varepsilon = 2,881$ $B = 203$.

(1) Dédiée au chimiste français Boulanger.
(2) Des mots grecs : *pur* feu et *argyron* argent, à cause de sa couleur.
(3) Dédiée à Proust qui l'a caractérisée.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Rouge de différentes nuances ; rouge pourpre foncé par transparence et dans la poussière. Transparente en lame mince. Eclat métalloïde. Noircit à la lumière.

Fusible en tube fermé en donnant un enduit rouge de Sb^2S^3 ; en tube ouvert donne des vapeurs sulfureuses et un sublimé non volatil. Sur le charbon, fond en jaillissant, dégage une odeur sulfureuse et donne un enduit blanc avec globule d'argent. Décomposée par l'acide nitrique avec dépôt de soufre et d'acide antimonique. Une lessive de potasse en extrait du sulfure d'antimoine et laisse une poudre noire de sulfure d'argent.

PROUSTITE

Rhomboédrique : $pp = 71°12'$. Clivage p distinct.
Dureté : 2 à 2,25. Densité : 5,57 à 5,64.
Uniaxe et *négatif* :

$$\omega = 2{,}979 \qquad \varepsilon = 2{,}711 \qquad B = 268$$

Couleur vermillon ou écarlate ; couleur rouge brique en lame mince, rouge vermillon dans la poussière. Eclat adamantin. Noircit à la lumière.

Fusible en tube fermé en donnant un sublimé brun rouge de As^2S^2. En tube ouvert, donne des vapeurs sulfureuses et un sublimé volatil. Sur le charbon, fond et dégage une odeur sulfureuse et arsénicale. Décomposée par l'acide nitrique avec dépôt de soufre. Une lessive de potasse en extrait le sulfure d'arsenic et laisse une poudre noire de sulfure d'argent.

La pyrargyrite et la proustite se trouvent souvent réunies dans des filons argentifères.

Car. dist. — La forme, la couleur, les essais pyrognostiques. Voir cinabre. La couleur de la poussière suffit à distinguer la proustite de la pyrargyrite. Voir cuprite.

Tétraédrite (*Cuivre gris*, *Panabase*)

Formule : $4Cu^2S.Sb^2S^3$.

Cu : 52,1 Sb : 24,8 S : 23.1

Il y a souvent de l'arsenic, du zinc, du plomb, de l'argent, du nickel, de l'or.

Cubique tétraédrique. Les cristaux sont caractérisés par leur

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

forme tétraédrique, surchargée souvent d'autres faces dont les figures 380 et 381 donnent des exemples. Masses compactes ou grenues.

Dureté : 3 à 4,5. Densité : 4,77 à 5,10. Cassure inégale. Fragile.

Gris d'acier à noir de fer. Translucide et rouge en lame extrêmement mince. Eclat métallique. Opaque.

Par altération, donne de la malachite.

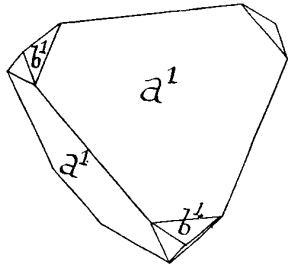


Fig. 380.

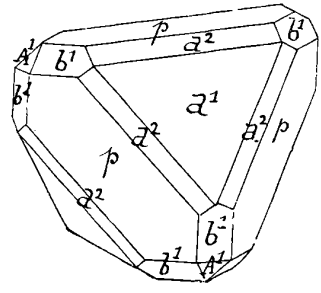


Fig. 381.

Décomposée par l'acide nitrique avec séparation de soufre et d'oxyde d'antimoine. En tube fermé, sublimé rouge d'oxysulfure d'antimoine.

Exploitée comme minerai de cuivre, aussi comme minerai d'argent (elle en contient jusque 19%), la tétraédrite se trouve dans les filons métallifères.

Car. dist. — La forme est caractéristique. L'absence de plomb en quantité notable différencie la bournonite des masses grenues de tétraédrite.

Stéphanite (*Psaturose, argent noir*)

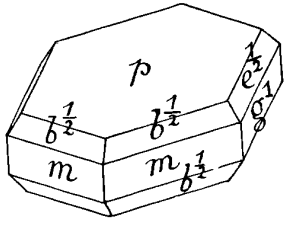


Fig. 382.

$5Ag^2S.Sb^2S^3$.

Ag : 68,5 Sb : 15,2 S : 16,3

Elle contient souvent du cuivre.

Orthorhombique :

$mm = 64°21'$ $pb^{\frac{1}{2}} = 51°8'40''$

$p'e^{\frac{1}{2}} = 53°52'30''$

Les cristaux ont une apparence hexagonale (fig. 382); ils sont souvent allongés verticalement.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dureté : 2,5. Densité : 6,25.

Noir de fer. Opaque. Eclat métallique.

Sur le charbon, fond facilement en dégageant des vapeurs antimoniales et en donnant, avec la soude, un globule d'argent. Attaquable par l'acide nitrique.

La stéphanite (1) est un minerai d'argent que l'on trouve dans des filons métallifères.

d) Oxysulfure

Kermésite

Formule : $Sb^2O^3.2Sb^2S^3$, avec 75% d'antimoine.

Système clinorhombique. En aiguilles allongées suivant l'axe binaire.

Clivage h^1 parfait. Sectile. Flexible.

Dureté : 1 à 1,5. Densité : 4,55.

Rouge cerise. Poussière brun rouge. Eclat adamantin. Transparente en lame mince ; $n = 2{,}7$.

Mêmes réactions chimiques que la stibine, dont la kermésite (2) est une altération et qu'elle accompagne dans ses gisements. Voir érithryte.

B. — ANHYDRIDES

Le nombre de ces espèces est peu nombreux mais le quartz et ses variétés se rencontrent en très grande abondance.

Quartz

La composition du quartz correspond à la formule SiO^2, mais le minéral peut renfermer de nombreuses impuretés ainsi que des inclusions solides, liquides ou gazeuses ; les *quartz aérohydres* contiennent, dans de petites cavités, des liquides avec bulles gazeuses ; le liquide est le plus souvent de l'eau ; le gaz peut être de la vapeur d'eau, de l'anhydride carbonique, de l'azote, de l'acide sulfhydrique, de l'ammoniaque, du fluor, etc. ; les inclusions solides sont souvent du sel commun.

Le quartz cristallise dans le système rhomboédrique, groupe holoaxe (97). Les angles principaux de ses cristaux sont :

$$pp = e^{\frac{1}{2}}\,e^{\frac{1}{2}} = 85°45' \qquad pe^{\frac{1}{2}} = 46°16' \qquad pe^2 = e^{\frac{1}{2}}\,e^2 = 38°13'.$$

(1) Dédiée à l'archiduc Etienne, directeur des mines de Hongrie.

(2) Du mot Persan *qurmizq* donné à des sulfures d'antimoine.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le quartz n'a pas de clivage (1).

La forme caractéristique des cristaux est celle du prisme hexagonal e^2 surmonté de la pyramide $pe^{\frac{1}{2}}$ (fig. 150). Le développement de ces faces est très variable : tantôt les faces p sont plus développées que les faces $e^{\frac{1}{2}}$ (fig. 383) ; tantôt le cristal, aplati parallèle-

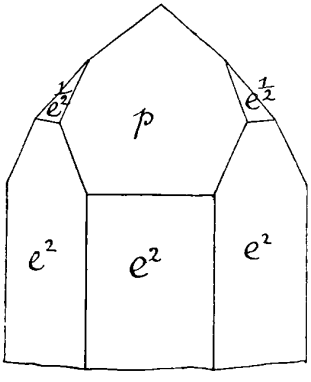


Fig. 383.

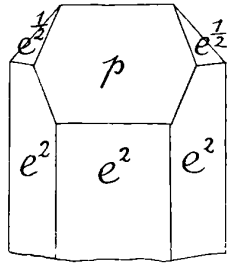


Fig. 384.

ment à une face e^2, prend un développement orthorhombique (fig. 384) ; le développement peut prendre aussi des formes telles que l'on ne reconnaît plus immédiatement la symétrie hexagonale de l'ensemble $pe^{\frac{1}{2}}$: la figure 151 en donne un exemple. Parfois le prisme e^2 manque (fig. 385). — Les cristaux portent très fré-

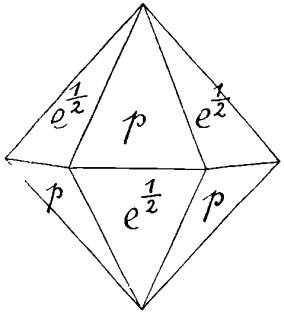


Fig. 385.

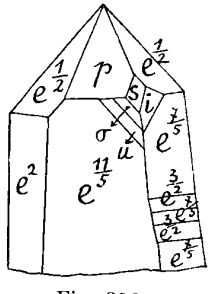


Fig. 386.

quemment sur leurs angles et arêtes des faces de notations diverses comme le cristal d'Opprebais représenté par la figure 386,

(1) Un clivage parallèle à p peut parfois s'obtenir lorsque le quartz, fortement chauffé, est refroidi brusquement.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

où $s = b^{\frac{1}{2}} d^1 d^{\frac{1}{4}}$, $\sigma = b^{\frac{1}{4}} d^1 d^{\frac{1}{8}}$, $u = b^{\frac{1}{8}} d^1 d^{\frac{1}{4}}$, $i = b^{\frac{1}{3}} d^1 d^{\frac{1}{4}}$; les faces s sont les plus fréquentes : nous avons vu (fig. 103) qu'elles se trouvent dans les deux zones $p_{\text{ant}} e^2{}_{\text{lat}}$ et $e^{\frac{1}{2}}{}_{\text{dr}} e^2{}_{\text{ant}}$; elles peuvent aussi se trouver sur les sommets s' de la figure 103. — Les faces e^2 sont fréquemment remplacées par des faces rhomboédriques presque verticales, comme dans les figures 386 et 387.

Les faces e^2 sont toujours striées horizontalement. Les faces s portent souvent des stries parallèles à l'arête sp, ce qui permet alors de distinguer les faces p des faces $e^{\frac{1}{2}}$ dont l'aspect physique n'est guère différent et qui font le même angle avec la verticale. Lorsque les stries de s n'existent pas, il n'est guère possible de distinguer p de $e^{\frac{1}{2}}$ qu'à l'aide des figures de corrosion (**138**).

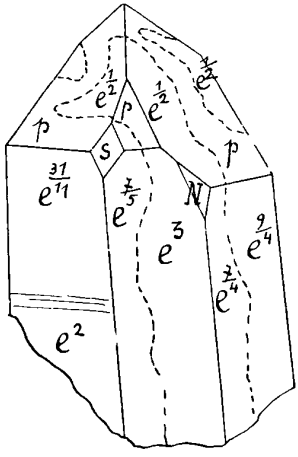


Fig. 387.

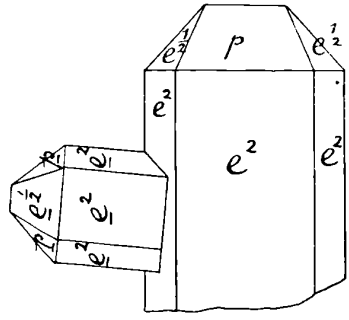


Fig. 388.

Les cristaux de quartz sont presque toujours maclés à axes parallèles par interpénétration complète des cristaux ; il y a plusieurs sortes de macles parallèles, et, dans ces cas, les faces de la pyramide sont en réalité formées de plages p et de plages $e^{\frac{1}{2}}$, comme dans la figure 387 qui représente un cristal de Nil-St-Vincent dans lequel $\mathbf{N} = b^{\frac{1}{10}} d^{\frac{1}{5}} d^{\frac{1}{17}}$; la discordance des stries sur e^2, l'entremêlement sur les faces pyramidales de plages dépolies et de plages brillantes, sont des indices extérieurs de ces groupements. Ces groupements expliquent pourquoi les troncatures des angles

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et des arêtes de la combinaison $pe^{\frac{1}{2}}e^2$ ne se montrent pas généralement partout où l'exigerait la symétrie du réseau.

Une autre macle assez fréquente se fait avec $\xi = b^1 d^{\frac{1}{2}} d^{\frac{1}{5}}$ pour plan de jonction : cette face est précisément une troncature de l'arête $pe^{\frac{1}{2}}$; les deux cristaux (fig. 388) font entre eux un angle de 84°34′.

La cristallisation du quartz a parfois été intermittente, de sorte que des cristaux se recouvrent parallèlement, séparés par des intercalations argileuses ou limoniteuses : ce sont les *quartz encapuchonnés.*

Les figures de corrosion par l'acide fluorhydrique, ont été décrites précédemment (**138**) ; l'action des carbonates alcalins produit des figures un peu différentes des précédentes et semblables aux figures de corrosion naturelles. La corrosion donne également lieu à une attaque des arêtes et des angles qui explique les notations compliquées de certaines de ces troncatures dans les cristaux naturels ; ce sont des plans de corrosion plutôt que des plans réticulaires.

Dureté : 7. Densité : 2,65. Cassure conchoïdale montrant souvent des stries concentriques.

Le quartz est uniaxe et *positif.* Ses indices sont (**163**) (pour le jaune) :

$$\varepsilon = 1{,}55328 \qquad \omega = 1{,}54418$$

La biréfringence maximum B égale à 9.

Le quartz jouit de la polarisation rotatoire, comme il a été exposé antérieurement et le sens de la rotation peut être prévu par l'examen de la position des faces *s* relativement aux faces *p* (**240**).

L'éclat du quartz est vitreux ; sa poussière est blanche. Il est transparent ou opaque ; en lame mince, il est toujours transparent. Sa couleur est des plus variées et lui fait attribuer différents noms, comme aussi la présence de matières étrangères qui lui donnent des aspects spéciaux : complètement incolore et transparent, c'est le *cristal de roche* ; un peu opalescent, c'est le *caillou du Rhin* ou le *diamant de Fleurus* ; violet (par présence de manganèse et devenant alors vert par chauffage), c'est l'*améthyste* ; jaune, c'est la *citrine* ; des composés carburés ou des sels de titane donnent le *quartz enfumé* que l'on a obtenu artificiellement en soumettant le cristal de roche à l'action du radium ; le quartz

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

laiteux est blanc opaque ; l'*hyacinthe* est rouge opaque ; l'*aventurine* est un quartz à reflets miroitants dus à des lamelles de mica ; l'*œil de tigre* est une variété fibreuse jaune ; des fibres d'amphibole parallèles donnent au quartz l'aspect dit *œil de chat.* Le *girasol* est un quartz *hyalin* à reflets bleus ou rouges.

Le quartz est pyro- et piézoélectrique (**257**) ; il est mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. Deux fragments, frottés dans l'obscurité, montrent de la phosphorescence.

Il présente des pseudomorphoses de fluorine, de calcite, de barytine.

Infusible au chalumeau ordinaire mais se transforme en tridymite à 870° et en cristobalite à 1470° ; fond à 1750° ; insoluble dans les acides, excepté dans l'acide fluorhydrique ; fondu avec des carbonates alcalins, il donne un verre *entièrement* soluble.

Le quartz est l'un des minéraux les plus répandus. Il forme l'élément essentiel d'un très grand nombre de roches éruptives et cristallophylliennes et il s'isole fréquemment en cristaux dans les fentes qui les traversent. On le trouve comme remplissage de filons. Il constitue également l'élément principal de nombreuses roches sédimentaires et se présente aussi comme produit secondaire de cristallisation. Il est employé comme objet d'ornement, comme gemme (améthyste, œil de chat) ; on l'utilise pour la confection de verres optiques ; enfin le sable quartzeux est employé en verrerie, dans les constructions, dans les fonderies, etc.

En Belgique, de beaux cristaux de quartz ont été trouvés en filons dans des quartzites cambriens à Blanmont, à Nil-St-Vincent, à Opprebais, à Tubize ; dans les roches éruptives de Lembecq, de Lessines et de Quenast ; dans des poches du calcaire carbonifère à Maffles, à Cheratte, à Visé, à Hozémont ; en cristaux cubiques pseudomorphes de fluorine à la Rochette.

Car. dist. — La dureté et l'éclat, l'absence de clivage ainsi que la forme cristalline, suffisent à caractériser le quartz. Voir phénacite, béryl, néphéline et apatite.

En *lame mince* de roche, les plages de quartz se reconnaissent aisément aux caractères suivants : incolores ; relief dans le baume presque nul ; absence de clivage ; la faible biréfringence, l'apparence uniaxe des plages grises ou noires entre nicols croisés et le signe positif confirment la détermination ; dans les plages parallèles à l'axe optique (et qui donnent donc des teintes hautes) on peut aisément déterminer le signe par la méthode exposée au n° **226.** On peut les confondre avec des plages de néphéline, dont la biré-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

fringence est encore moindre ; mais celles-ci ont des clivages parallèles à un prisme hexagonal et leur signe est négatif.

Calcédoines

On désigne sous ce nom des produits siliceux anhydres formés par concrétion, translucides sur les bords, à cassure conchoïdale et à structure fibreuse dont la cristallinité n'est décelable qu'au microscope. Les agrégats minéraux qui les constituent ont été décrits sous les noms de *quartzine*, *lutécite*, *calcédonite* et *pseudocalcédonite* ; ce sont des substances de même composition chimique que le quartz, mais biaxes et se distinguant l'une de l'autre par leur signe optique, par le signe de leur allongement, par leur angle d'extinction.

La densité des calcédoines est un peu plus faible que celle du quartz.

Les calcédoines, dont beaucoup sont utilisées en bijouterie et dans l'ornementation, sont de structures très variées : mamelonnées, botryoïdes, stalactiformes, etc. On leur a donné souvent des noms spéciaux : la *cornaline* est rouge ; la *sardoine* est brun rouge par transparence ; la *chrysoprase* est vert pomme ; l'*héliotrope* est vert tacheté de rouge.

Les *agates* [1] sont des calcédoines en zones diversement colorées s'emboîtant les unes dans les autres et reproduisant toutes les irrégularités des parois sur lesquelles elles se sont formées, en laissant souvent au centre une cavité hérissée de cristaux de quartz. Lorsque les zones successives sont planes et de couleurs bien tranchées, ce sont les *onyx*, souvent employés à la confection des camées.

On trouve les calcédoines dans les fentes de roches éruptives, dans les filons quartzeux, dans les roches sédimentaires ; elles sont des produits secondaires et résultant de la déshydratation d'opales.

Jaspes

Nous rassemblons sous ce nom les concrétions quartzeuses, opaques même sur les bords des esquilles, sans structure régulière. Leur cassure est terne. On les emploie en bijouterie et dans l'orne-

[1] Nom d'une rivière de Sicile d'où provenaient des agates décrites par Théophraste.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

mentation. On les trouve principalement dans les roches sédimentaires et dans les filons quartzeux. Les *lydites*, *phtanites*, *cherts*, décrits en pétrographie, sont des jaspes.

Les *jaspes xyloïdes* sont des épigénies de bois en produits siliceux : la silicification a conservé le plus souvent la structure des tiges et même des graines, des fruits, des inflorescences.

La *meulière* est un jaspe caverneux.

Silex

Le silex est une roche dure, rayant le verre, faisant feu au briquet, à cassure conchoïdale, translucide sur les bords, de couleur jaune, blanche ou noire, se trouvant en rognons de formes bizarres dans de nombreuses roches sédimentaires, principalement du crétacé. Le silex est dû à la déshydratation d'opale, formée elle-même par concentration de la silice soluble existant dans les sédiments sous forme de restes organiques (éponges, diatomées, etc.).

Tridymite

Ce minéral est une des variétés polymorphes du quartz, dont il possède la composition chimique SiO^2.

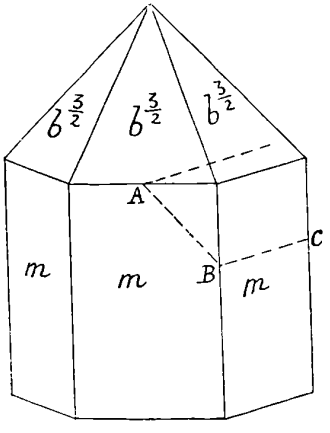


Fig. 389.

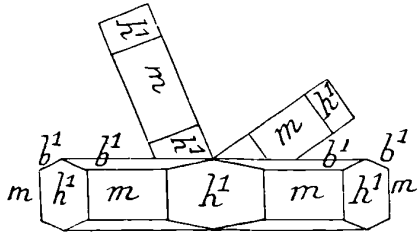


Fig. 390.

Il cristallise en lamelles hexagonales mais on peut observer que son réseau cristallin est presque identique à celui du quartz : on admet en effet que, avec $mm = 60^0$, on a $mb^1 = 27^0 39'$; or, si (fig. 389) l'on dessine sur le prisme hexagonal la troncature ABC

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de notation $b^{\frac{3}{2}}$, on constate que l'ensemble $mb^{\frac{3}{2}}$ est, à très peu près, de forme identique à l'ensemble $e^2pe^{\frac{1}{2}}$ du quartz ; on a :

	tridymite.		*quartz.*
$mb^{\frac{3}{2}}$	38°25′	e^2p	38°13′
$b^{\frac{3}{2}}b^{\frac{3}{2}}_{\text{adj.}}$	46°18′	$pe^{\frac{1}{2}}_{\text{adj.}}$	46°16′

La tridymite se présente en lamelles hexagonales imbriquées les unes sur les autres ; ces lamelles offrent presque toujours des groupements internes analogues à ceux de l'aragonite ; il existe de plus des macles avec b^6 et $b^{\frac{3}{4}}$ pour plans de macles et les deux groupements peuvent être réunis sur le même échantillon (fig. 390), ce qui a fait donner son nom au minéral.

Il existe des plans de séparation parallèles à p.

Dureté : 6,5. Densité : 2,27.

La tridymite est optiquement orthorhombique. Dans une orientation orthorhombique, le cristal hexagonal prend les notations indiquées dans la figure 391, et l'on a : n_g perpendiculaire à p ; plan des axes parallèle à h^1 ; bissectrice *positive* : 2E = 66°. L'indice de réfraction est n = 1,47 ; B = 2 ; à 130°, la tridymite devient uniaxe ; le changement est réversible.

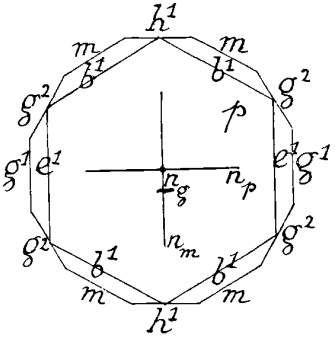


Fig. 391.

Incolore, blanche, rose. Eclat vitreux, nacré sur p. Transparente en lame mince.

Les propriétés chimiques sont analogues à celles du quartz.

La tridymite se trouve en petits cristaux dans les roches volcaniques acides.

Cristobalite

Cette troisième variété de silice SiO^2 est pseudocubique et se trouve en octaèdres a^1, très petits, à faces souvent creuses et à développement cristallitique.

Dureté : 6,5. Densité : 2,34.

Blanche. Translucide ou opaque mais devient transparente par immersion : N = 1,49. Constituée par des cristaux quadratiques uniaxes *négatifs*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La cristobalite peut se produire par le recuit de la silice fondue ; on la trouve avec la tridymite dans des roches volcaniques.

Le quartz et ses variétés calcédonieuses semblent s'être formés à basse température mais deviennent amorphes au-dessus de 1000° ; ils recristallisent ensuite sous forme de tridymite ou de cristobalite (briques de fonderie, enclaves de roches volcaniques).

Senarmontite

Formule Sb^2O^3, correspondant à 83,3% d'antimoine.

Souvent argileuse et pouvant contenir jusqu'à 10% de plomb.

La senarmontite [1] est cubique et se présente presque toujours en octaèdres, parfois en masses grenues ou compactes.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 5,25.

Incolore, blanche, grise, rouge. Nébuleuse. Poussière blanche. Eclat résineux ou adamantin.

Optiquement biaxe : une lame a^1 se montre divisée en trois plages qui indiquent un assemblage de cristaux orthorhombiques. $N = 2{,}087$.

Dans le tube fermé, fond et donne un faible sublimé. Fusible sur le charbon avec enduit blanc qui, au feu réducteur, colore en bleu verdâtre l'extrémité de la flamme. Insoluble dans l'eau. Soluble dans l'acide chlorhydrique ; la solution précipite par l'eau.

Accompagne la stibine ou constitue, comme au Djebel Haminata (Algérie), des filons traversant des marnes du crétacé.

Car. dist. — La forme cristalline, l'éclat, la fusibilité.

Valentinite

C'est une variété dimorphe de la senarmontite.

La valentinite [2], qui cristallise dans le système orthorhombique, se présente rarement avec faces terminales ; le plus souvent on la trouve en lamelles allongées ou en agrégats fibreux ou fibro-radiés, aussi en masses grenues.

Un clivage parfait est pris pour g^1. La bissectrice aiguë est *négative* et parallèle à ce clivage, mais, tandis que, pour les rayons rouges, le plan des axes est perpendiculaire au clivage, pour les rayons bleus, il lui est parallèle. L'angle des axes est très petit.

$$\gamma = \beta = 2{,}35 \qquad \alpha = 2{,}18$$

---

[1] Dédiée au savant français de Senarmont.

[2] Valentin, qui découvrit les propriétés de l'antimoine, était un alchimiste du xve siècle.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dureté : 2.5 à 3. Densité : 5,57.
Blanche, rosée ou grise. Eclat nacré sur le clivage.
Caractères chimiques analogues à ceux de la senarmontite.
Résulte de l'altération de la stibine.
Car. dist. — La structure cristalline, la fusibilité.

C. — OXYDES

Ces minéraux, dont quelques-uns ont une grande importance industrielle, sont, pour la plupart, des minéraux filoniens ; on en trouve aussi dans des roches métamorphiques et quelques-uns sont des produits d'altération. Leur dureté est, sauf pour la pyrolusite, assez élevée ; leur densité est généralement supérieure à 4 et jamais inférieure à 3.

Les oxydes de formules R^2O ou RO se dissolvent dans l'acide chlorhydrique ; les autres sont plus ou moins attaquables par cet acide et plusieurs sont insolubles et inattaquables. Les oxydes R^2O^3 sont désagrégés par le carbonate de sodium, mais parfois assez lentement ; on peut les traiter alors par un mélange du même réactif avec du nitrate de potassium ou du soufre.

Cuprite

La composition chimique de ce minéral correspond à :

Cu : 88,8 O : 11,2

Sa formule est Cu^2O.

La cuprite est cubique. D'après les gisements, la forme prédominante est le cube, l'octaèdre ou le rhombododécaèdre ; les cristaux portent fréquemment de nombreuses faces. La *chalcotrichite* est une cuprite en fines aiguilles allongées suivant un axe quaternaire. Masses grenues ou compactes.

Clivage interrompu suivant a^1. Cassure inégale.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 5,85 à 6.

Isotrope : $N = 2{,}849$.

Couleur rouge de diverses nuances, parfois presque noire, mais la couleur rouge apparaît par places. Poussière brun rouge. Eclat adamantin avec reflets métalliques. La chalcotrichite est soyeuse.

Fusible au chalumeau en colorant la flamme en vert ; humectée préalablement d'acide chlorhydrique, la colore en bleu. Sur le charbon, noircit et donne un globule de cuivre. Soluble dans l'acide chlorhydrique ; la solution très concentrée, refroidie et additionnée

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

d'eau, donne un précipité blanc et lourd de sous-chlorure de cuivre.

La cuprite se transforme aisément en cuivre natif. Elle donne aussi des épigénies de malachite (**329**).

La cuprite se trouve dans les gîtes métallifères. On la rencontre notamment en masses clivables et en cristaux dans les gisements de cuivre du Katanga. La chalcotrichite accompagne la chalcosine de Bamanga (Congo Belge).

Car. dist. — La couleur, l'éclat et la forme sont caractéristiques ; c'est d'ailleurs le seul minéral isotrope parmi tous ceux de couleur analogue. La dureté est supérieure à celle de la proustite.

Zincite

Formule : ZnO correspondant à 80,3% de zinc.

Hexagonale. Cristaux naturels très rares. Masses laminaires. Clivage basal parfait.

Dureté : 4 à 4,5. Densité : 5,68.

Rouge foncé ou jaune. Poussière jaune orange. En lames très minces, jaune.

Uniaxe et *positive*. La réfringence et la biréfringence sont fortes :

$$\varepsilon = 2{,}029, \qquad \omega = 2{,}013, \qquad B = 16, \qquad b = 21.$$

Dans le tube fermé, noircit puis reprend sa couleur. Sur le charbon, donne un enduit d'oxyde de zinc, jaune à chaud et blanc à froid, qui, humecté de nitrate de cobalt, devient vert. Soluble dans les acides.

Se trouve dans les filons métallifères. Il se forme de jolis cristaux dans les produits d'usine à zinc.

Car. dist. — La couleur, le clivage, l'uniaxie sont les caractères distinctifs. Se distingue du réalgar par l'apparence optique de lames de clivage.

Corindon

La formule du corindon est Al^2O^3.

Les colorations variées du minéral sont dues à du chrome, du fer, etc. Il renferme fréquemment des impuretés.

Le corindon (1) est rhomboédrique.

$$pp = 93°56' \quad a^1p = 57°34' \quad a^1e_3 = 61°11' \quad e_3e_3 = 51°58'.$$

Clivages interrompus suivant a^1 et p.

(1) Nom indien.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les cristaux ont fréquemment une apparence hexagonale à cause de la prédominance d'isoscéloèdres, notamment de l'isoscéloèdre e_3 (fig. 392) ; une alternance de faces isoscéloédriques donne d'ailleurs souvent aux cristaux un aspect irrégulier et contourné. La base a^1 existe sur de nombreux cristaux, ainsi que le prisme d^1 (fig. 393).

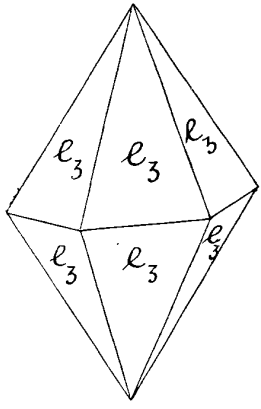


Fig. 392.

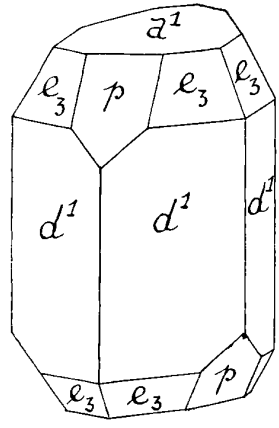


Fig. 393.

Les faces et les arêtes sont courbes et raboteuses. La base est striée parallèlement aux arêtes a^1p ; les faces d^1 et e_3 sont striées horizontalement.

Dureté : 9. Densité : 3,95 à 4,1.

Uniaxe et *négatif*.

$$\omega = 1{,}768 \qquad \varepsilon = 1{,}760 \qquad B = 8$$

Les anomalies optiques sont fréquentes, montrant des axes faiblement écartés.

La couleur est très variée : incolore, gris, bleu, rouge, violet, vert, brun. Les variétés transparentes et de teinte homogène donnent des gemmes souvent de très grande valeur : *saphir* (bleu), *rubis* (rouge), *topaze orientale* (jaune), *émeraude orientale* (verte) ; le pigment coloré est fréquemment réparti régulièrement dans la pierre, de sorte qu'une lame a^1 montre une étoile à six branches incolores dans la masse colorée (*astérisme*) (**322**).

Le dichroïsme, plus ou moins intense, est très net : n_g bleu ; n_p vert ou bleu. Phosphorescent.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Infusible. Attaquable seulement après fusion avec le bisulfate de potasse ou le sulfate de chaux. La poudre, humectée de nitrate de cobalt et chauffée, se colore en bleu.

L'*émeri* est une roche de grains de corindon mélangés à de la magnétite, du spinelle, du mica. On l'utilise comme abrasif.

L'émeri et le corindon sont exploités à Naxos et à Smyrne, où ils constituent des lentilles traversant des calcaires cristallins ; à Chester (Massachusetts), on le trouve en bancs intercalés dans des schistes talqueux.

Les rubis et les saphirs [1] se rencontrent dans des roches éruptives, généralement acides ; les gisements exploités sont cependant exclusivement des alluvions de rivière où ils sont accompagnés de zircons, grenats, or, spinelles ; nous citerons Ceylan, le Queensland (Australie), Kornilovsk (Sibérie) ; des exploitations ont également été entreprises à Madagascar. Au Congo Belge, il existe des sables à corindons bleus en jolis cristaux dans l'Eliba (Lindi).

Car. dist. — La dureté et la forme constituent les meilleurs caractères du corindon. En lame mince, on le reconnaît à sa haute réfringence, à sa faible biréfringence, à son uniaxie, à son signe négatif et à ses lamelles maclées. (Voir cérite).

Oligiste (*Hématite*)

La formule Fe^2O^3 correspond à 70% de fer ; l'oligiste [2] renferme souvent du titane (voir *ilménite*) ; les minerais oligistifères contiennent des parties argileuses ou calcareuses ; les teneurs en soufre et phosphore sont très variables.

Rhomboédrique :

$pp = 94^0 \qquad a^1p = 57^0 37' \qquad a^1e_3 = 61^0 13' \qquad e_3e_3 = 51^0 59'$

[1] La fabrication du rubis et du saphir est entrée dans le domaine industriel : de l'alun calciné mélangé à un sel de chrome tombe en poudre fine dans un courant d'oxygène qui l'amène dans une flamme d'hydrogène dont la température atteint 1800° ; les gouttelettes fondues sont recueillies sur une grille de platine et s'agglomèrent en cristallisant sous forme de rubis. Il se fabrique ainsi annuellement à Paris plus de 5.000.000 de carats. Le saphir s'obtient par un procédé analogue, en remplaçant le sel de chrome par un sel de cobalt, mais les résultats satisfaisants sont plus difficiles à obtenir. — Les *rubis reconstitués* sont obtenus en agglomérant ensemble, par fusion, des fragments de rubis naturels. — Les rubis et saphirs synthétiques ne peuvent se distinguer des pierres naturelles que par les bulles dispersées dans leur masse ou par de légères variations de teintes formant des nuages se fondant dans la masse.

[2] Le mot « oligiste » du grec *oligos* (peu) rappelle que le minéral renferme moins de fer que la magnétite. Le mot « hématite », du grec *aima* (sang), rappelle la couleur de la poussière.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les formes les plus connues dans les cristaux d'oligiste sont le rhomboèdre primitif p (voisin du cube), l'isoscélolèdre e_3 (voir **95**), la base a^1, des rhomboèdres directs a^m, le rhomboèdre inverse b^1, le prisme hexagonal d^1. Ces formes peuvent être assez régulièrement développées comme dans les cristaux classiques de l'île d'Elbe (fig. 394); le primitif p est parfois prédominant (fig. 395).

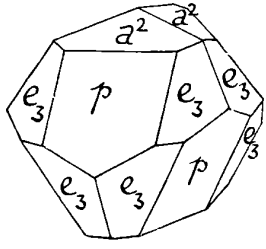


Fig. 394.

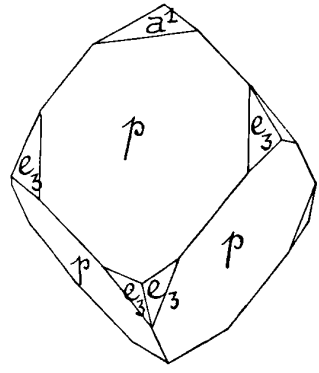


Fig. 395.

Très fréquemment les cristaux sont aplatis suivant a^1 (fig. 396 et 397), les tablettes portant sur leur pourtour différentes faces.

La macle obtenue par rotation de 90° (ou de 60°) autour de l'axe ternaire n'est pas rare : les cristaux peuvent s'accoler l'un à l'autre par une face a^1; parfois ils s'interpénètrent, comme le montre

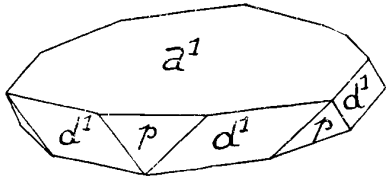


Fig. 396.

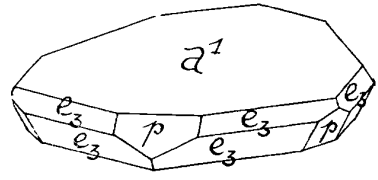


Fig. 397.

la figure 398 qui représente un cristal de Dognacska (Hongrie) portant, avec a^1, les faces b^1 en zones entre deux faces p, celles-ci elles-mêmes en zones entre des faces e_3 et portant aussi entre e_3 et b^1, les faces d'un scalénoèdre $P = b^1\ d^{\frac{1}{3}}\ d^{\frac{1}{5}}$; dans cette macle, les faces a^1 et e_3 des cristaux groupés coïncident.

Il existe aussi des macles avec p pour plan de macle, mais elles sont surtout polysynthétiques (**116**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les cristaux aplatis suivant a^1 se groupent très souvent à axes imparfaitement parallèles pour donner des rosettes parfois très régulières (*eisenrose*).

Les faces a^1 et a^m sont souvent striées parallèlement à leurs intersections avec p; la base porte fréquemment des triangles équilatéraux; les faces p sont parfois striées parallèlement à leur ligne de pente.

L'oligiste se trouve aussi en lamelles micacées, en masses de formes diverses et même terreuses (*ocre rouge*), en couches oolithiques (*minettes*).

Plan de séparation suivant a^1, donnant des lamelles élastiques. Cassure inégale.

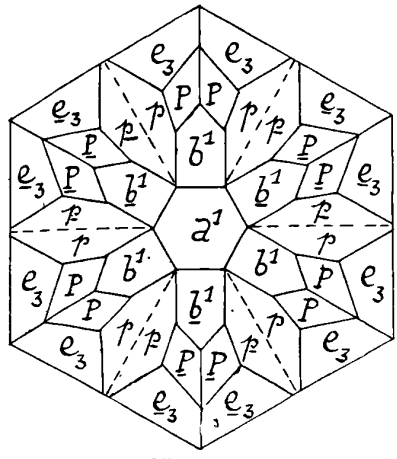


Fig. 398.

Dureté : 5,5 à 6,5. Densité : 4,9 à 5,3.

Uniaxe et *négative*, mais les phénomènes optiques ne peuvent s'observer que dans des lamelles extrêmement minces.

$$\omega = 3{,}01 \qquad \varepsilon = 2{,}78 \qquad B = 230$$

Couleur gris d'acier à noir de fer. Eclat métallique très vif. L'*oligiste spéculaire* est un oligiste dont les faces a^1 ont un éclat très miroitant. Poussière rouge. Opaque. Rouge en écailles très minces.

Quelques variétés d'oligiste sont un peu magnétiques. Parallèlement à a^1, la conductibilité électrique de ce minéral est deux fois plus grande que verticalement.

Infusible au chalumeau; au feu réducteur, se transforme en magnétite qui agit fortement sur l'aiguille aimantée. Soluble dans l'acide chlorhydrique concentré.

L'oligiste peut se transformer en magnétite, en sidérose, en limonite. On désigne sous le nom de **martite**, une variété en octaèdres réguliers qui proviennent de pseudomorphoses de magnétite.

L'oligiste, exploité comme minerai de fer, est extraordinairement répandu; on le trouve dans des roches de toutes natures, également en filons et amas. En Belgique, des fentes traversant les roches éruptives de Lembecq, Nivelles, etc., renferment de

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

belles eisenroses ; les filons quartzeux du cambrien de l'Ardenne, entre Vielsalm et Fraiture, renferment aussi de l'oligiste en belles et épaisses lames noires et brillantes souvent ondulées, avec faces a^1, p, e_3, d^1 ; le dévonien comprend des phyllades oligistifères ainsi que des couches oolithiques qui ont été exploitées surtout entre Huy et les Isnes.

Au Congo, soit seul, soit mélangé de magnétite, l'oligiste forme, spécialement au Katanga et dans l'Uelé, des dépôts extrêmement importants comme tonnage et teneur, mais encore inexploitables vu l'éloignement de la côte. Certaines rivières du Mayumbe ont des sables formés presque exclusivement d'octaèdres de martite.

Car. dist. — La couleur rouge de la poussière et de la rayure est caractéristique. L'absence de magnétisme forme la distinction avec la magnétite ; la densité différencie l'oligiste rouge compacte du cinabre. Voir ilménite.

Ilménite (*Fers titanés*)

L'oligiste renferme très souvent du titane à l'état de TiO^2.

Nous désignons sous le nom d'*ilménite* ou *fer titané* les minéraux dont la composition chimique peut être représentée par : $x Fe^2O^3$, $y FeTiO^3$, variant entre celle de l'oligiste Fe^2O^3 et celle de la *crichtonite* $FeTiO^3$; la proportion d'anhydride titanique TiO^2 peut varier entre 0 et 53% mais, en dessous de 10%, les fers titanés se rapprochent plus, par leurs propriétés physiques, de l'oligiste que de l'ilménite. — Lorsqu'il y a plus de 53% de TiO^2, la formule de ces substances doit être représentée par : $x FeTiO^3$. $y TiO^2$ et l'on doit plutôt considérer ces minéraux comme des variétés de rutile (*nigrine*).

L'ilménite est isomorphe de l'oligiste.

$$pp = 94°29' \qquad a^1e_3 = 61°33' \qquad a^1p = 57°58'30''.$$

Ses cristaux ressemblent à ceux de l'oligiste ; ils présentent parfois la parahémiédrie.

Plan de séparation a^1. Cassure conchoïdale.

Dureté : 5 à 6. Densité : 4,6.

Noir de fer ; brunissant parfois à l'air. Eclat métallique. Poussière noire à brun rouge. Opaque. Teinte brunâtre en lames minces. Non magnétique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Très finement broyé, le minéral se dissout dans l'acide sulfurique concentré, et est aussi attaqué par l'acide chlorhydrique. Dans la solution sulfurique, après dilution, le titane se reconnaît à la coloration jaune ou orangée provoquée par quelques gouttes d'eau oxygénée, ou bien à la couleur violette que donne le zinc après quelque temps d'ébullition, ou encore à la coloration rouge cramoisi, produite par addition d'une solution sulfurique concentrée de morphine. Dans la solution concentrée chlorhydrique, la coloration violette est produite par le zinc ou l'étain.

L'ilménite est un minéral abondant comme élément accessoire de nombreuses roches éruptives et sédimentaires ; on le retrouve aussi dans les filons (Monts Ilmen) et dans les sables de rivière.

Car. dist. — Se distingue de l'oligiste par la couleur de la poussière, de la magnétite par l'absence de magnétisme.

Spinellides

Les spinellides sont des minéraux de formule générale : $R.O.R^2O^3$ parmi lesquels nous citerons :

Spinelle	$MgO.Al^2O^3$
Pléonaste	$(Mg,Fe)O.Al^2O^3$
Hercynite	$FeO.Al^2O^3$
Gahnite	$ZnO.Al^2O^3$

Ils cristallisent en octaèdres réguliers, rarement en cubes. La macle a^1, dite des spinelles, est fréquente (fig. 131). Traces de clivage a^1 qui apparaissent nettement en lames minces. Les arêtes des cristaux sont fréquemment arrondies.

Dureté : 7,5 à 8. Densité : 3,5 à 4,6.

Rarement incolores, les spinelles sont rouges (*rubis spinelle*), roses (*rubis balai*), orangés (*rubinelle*), bleus, verts, noirs (*pléonaste*), bruns. Les variétés transparentes sont employées comme pierres précieuses. Eclat vitreux. En lame mince, ils sont toujours transparents, roses ou verts.

Isotropes : $N = 1{,}718$ (spinelle), 1,77 (pléonaste), 1,80 (gahnite).

Le spinelle rouge est phosphorescent.

Infusibles. Attaquables difficilement par l'acide sulfurique. Solubles après fusion avec le bisulfate de potasse.

Les spinelles se trouvent dans les roches éruptives, dans les calcaires cristallins, dans les roches de contact, dans les alluvions. Certains blocs rejetés du Vésuve renferment de nombreux pléonastes. La hercynite constitue en Bohême des masses noires ou brunes, grenues.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Car. dist. — La forme des cristaux, la dureté, l'isotropie et la haute réfringence suffisent à caractériser les spinelles.

Magnétite

La magnétite pure Fe^3O^4 ou $Fe^2O^3.FeO$ renferme 72% de fer; le FeO peut être remplacé partiellement par MgO ou MnO, le Fe^2O^3 par Ti^2O^3, Cr^2O^3, Va^2O^3.

Cubique. Plans de séparation suivant a^1.

La magnétite se présente en octaèdres, parfois modifiés par b^1 (fig. 399), ou en rhombododécaèdres b^1, parfois modifiés par a^1 (fig. 400); elle est très rare en cubes. Les faces b^1 sont fréquemment striées parallèlement à a^1.

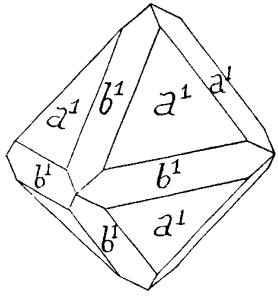


Fig. 399.

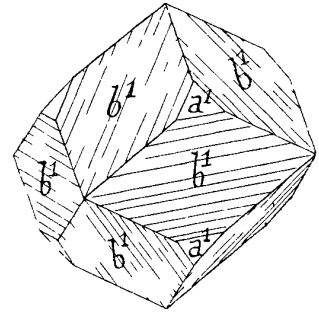


Fig. 400.

La macle a^1 des spinelles, rare dans les cristaux macroscopiques, est fréquente en lamelles polysynthétiques (**116**) produisant des plans de séparation suivant les faces de l'octaèdre.

Masses grenues.

Dureté : 5 à 6. Densité : 5,175. Cassure inégale.

Noire de fer; poussière noire. Parfois terne, la magnétite a le plus souvent un éclat métallique. Opaque. Légèrement brunâtre en lames très minces.

Extrêmement magnétique. Parfois magnétipolaire (*pierre d'aimant*).

Très difficilement fusible. Au feu oxydant, se transforme en oligiste et perd son magnétisme. Soluble dans l'acide chlorhydrique concentré.

Ce minéral est extraordinairement abondant dans la nature; il se rencontre microscopiquement dans toutes les roches; il s'isole fréquemment en filons et amas exploités pour minerai de fer.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En Belgique, certaines roches cambriennes et dévoniennes renferment de nombreux octaèdres de magnétite ; il en est de même au Congo, où certains schistes sont pétris de ces minéraux ; nous avons déjà signalé les amas d'oligiste et magnétite du Katanga.

Car. dist. — La couleur de la poussière et le magnétisme sont les caractères distinctifs. Voir oligiste, ilménite, chromite et franklinite.

Chromite (*Sidérochrome*)

La chromite $(Fe^2,Cr^2)O^3.FeO$ renferme souvent de la magnésie et de l'alumine.

Cristallisant dans le système cubique, la chromite se présente presque toujours en masses grenues.

Dureté : 5,5. Fragile. Densité : 4,32 à 4,57.

Noire de fer ; poussière noire. Opaque ; parfois jaune brun, translucide en lame mince. Eclat submétallique souvent gras.

Monoréfringente : $N = 2{,}0965$.

Au feu réducteur, la chromite s'arrondit sur les bords et devient magnétique. Avec le borax, donne après refroidissement la couleur verte caractéristique du chrome. Inattaquable. Fondue avec un mélange de nitre et de soude, puis reprise par l'eau, donne une liqueur jaune précipitant en jaune par l'acétate de plomb après avoir été acidifiée par l'acide acétique.

La chromite a été décelée dans les météorites. On la trouve dans les roches éruptives basiques et dans les serpentines ; elle s'isole auprès de ces roches en amas exploités pour minerai de chrome.

Car. dist. — L'absence de magnétisme distingue la chromite de la magnétite.

Franklinite

On peut représenter la composition de ce minéral par la formule : $Cr^2O^3.(Fe,Zn,Mn)O$; le zinc et le manganèse se trouvent souvent dans une proportion qui se rapproche de 2 :1.

Cubique : octaèdres modifiés par b^1 (fig. 399) ; masses grenues.

Dureté : 6. Densité : 5,15. Cassure conchoïdale.

Noire ; poussière brune à noire. Eclat métallique. Opaque. Faiblement magnétique.

Infusible. Chauffée sur le charbon avec le carbonate sodique, donne une masse verte ; additionnée de borax, cette masse donne un enduit blanc. Soluble dans l'acide chlorhydrique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Ce minéral se trouve dans des filons métallifères.

Car. dist. — Ressemble à la magnétite, dont on la distingue par son magnétisme plus faible et par la réaction du manganèse.

Chrysobéryl (*Cymophane*)

La formule est $GlO.Al^2O^3$.

Cette formule rapproche le chrysobéryl (1) des spinellides dont il se distingue par le système cristallin.

Orthorhombique :

$$mm = 50°21' \qquad b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}{}_{\text{lat.}} = 93°44' \qquad b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}{}_{\text{ant.}} = 40°7'.$$

Les cristaux sont ordinairement aplatis suivant h^1 qui est strié verticalement. Comme l'angle des faces $e^{\frac{1}{3}}e^{\frac{1}{3}}$ sur p est égal à 60°14', trois cristaux se groupent fréquemment entre eux (fig. 401) et, en l'absence des faces terminales, les stries de h^1 décèlent le groupement.

Clivage net e^1, clivages h^1 et g^1 peu nets. Cassure inégale, fragile.

Dureté : 8,5. — Densité : 3,5 à 3,84.

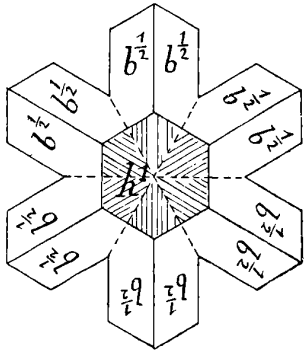


Fig. 401.

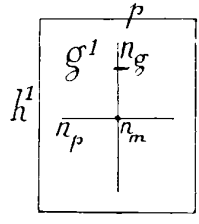


Fig. 402.

Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 et la bissectrice aiguë, *positive*, est perpendiculaire à p (fig. 402) :

$$\gamma = 1{,}7565 \qquad \beta = 1{,}7484 \qquad \alpha = 1{,}7470 \qquad B = 9{,}5$$
$$2V = 45°19' \qquad 2E = 84°41'.$$

(1) Le mot « chrysobéryl » signifie « béryl d'or », à cause de sa couleur ; le mot « cymophane » ou « apparence de vague » rappelle les effets chatoyants de certaines pierres.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les indices varient d'ailleurs parfois d'un point à l'autre de la même pierre, ce qui lui donne des effets chatoyants ou opalescents ; l'angle des axes varie également.

Couleur verte de différentes nuances, jaune, grise ; parfois rouge par transparence. L'*alexandrite* qui, à la lumière naturelle, est vert olive avec reflets rouges, est rouge à la lumière artificielle. Pléochroïque dans les teintes vertes, jaunes et roses. Eclat vitreux un peu gras.

Infusible. Chauffée avec le nitrate de cobalt, devient bleue. Soluble après fusion avec le bisulfate de potassium. Fondue avec $CaSO^4$, la masse, dissoute dans H^2SO^4, donne avec l'oxalate de potassium des cristaux monocliniques maclés d'oxalate double de glucinium et de potassium.

Le chrysobéryl est un minéral accidentel des pegmatites, des granites et des schistes cristallins. On le recherche, comme pierre précieuse, dans des alluvions au Brésil et à Ceylan. La cymophane, jaune, en très jolis grains, accompagne le diamant dans les alluvions du bassin du Kasaï (Congo).

Car. dist. — La dureté et la densité sont caractéristiques, ainsi que la macle.

Hausmannite

On attribue à ce minéral la formule : $MnO.Mn^2O^3$.

Système quadratique. Les cristaux ont la forme du quadroctaèdre $b^{\frac{1}{2}}$:

$$b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}} \text{ sur } p = 117°53' \qquad b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}{}_{\text{lat.}} = 74°34'.$$

Constitue aussi des masses granulaires.

Clivage p. Cassure inégale.

Dureté : 5,25. Densité : 4,79.

Noire un peu brunâtre. Poussière brun noisette. Eclat semi-métallique. Opaque.

Infusible. Chauffée avec la soude, donne une masse verte. Avec l'acide chlorhydrique, dégagement de chlore. La hausmannite [1] se trouve dans les gîtes de manganèse et de fer.

Car. dist. — Voir manganite.

---

[1] Dédiée au minéralogiste Hausmann.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Braunite

Ce serait un oxyde de manganèse de formule $MnO.MnO^2$; cependant, la présence *constante* de silice lui fait aussi accorder la formule $3Mn^2O^3.MnSiO^3$.

Système quadratique.La forme ordinaire est celle du quadroctaèdre $b^{\frac{1}{2}}$:

$$b^{\frac{1}{2}}\ b^{\frac{1}{2}} \text{ sur } p = 108°33' \qquad b^{\frac{1}{2}}\ b^{\frac{1}{2}}{}_{\text{lat.}} = 70°7'.$$

Clivage $b^{\frac{1}{2}}$. Cassure inégale.

Dureté : 6,25. Densité : 4,785.

Gris d'acier à noir brunâtre. Poussière noire brunâtre. Eclat semi-métallique. Opaque.

Mêmes réactions que la hausmannite mais laisse toujours un résidu floconneux de silice dans l'acide chlorhydrique.

Se trouve dans les gîtes de manganèse.

Car. dist. — Voir manganite.

Cassitérite

C'est le seul minerai d'étain exploité, de formule SnO^2 correspondant à :

Sn : 78,6 O : 21,4

Il est fréquemment ferrifère et peut renfermer du niobium et du tantale.

La cassitérite (1) cristallise dans le système quadratique : $mb^1 = 56°5'$, $h^1a^1 = 46°26'30''$. Ses cristaux ont fréquemment la forme

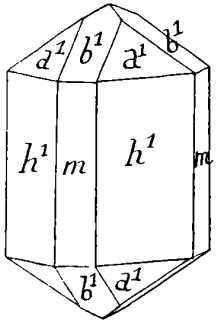


Fig. 403.

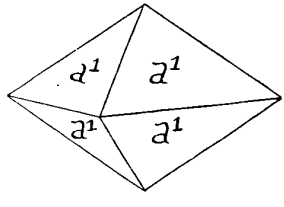


Fig. 404.

(1) Le nom du métal, en grec, était : *Cassiteros.*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

$mh^1b^1a^1$ (fig. 403), ou simplement celle du quadroctaèdre a^1 (fig. 404) ; il arrive que, comme dans la figure 405, ce quadroctaèdre s'allonge parallèlement à une arête culminante, donnant au cristal la forme d'un prisme de 58°19'. Les cristaux ont aussi une forme effilée par suite de la présence d'un dioctaèdre tel que $z = b^{\frac{1}{3}} b^{\frac{1}{2}} h^1$ (fig. 406).

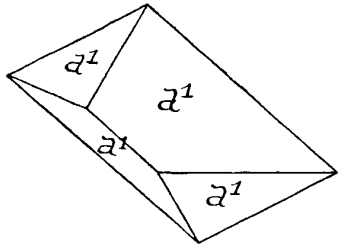


Fig. 405.

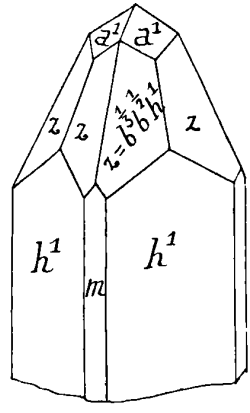


Fig. 406.

La macle avec b^1 pour plan de macle (*bec d'étain*), simple ou répétée, qui a été décrite antérieurement (fig. 130), est extrêmement fréquente.

Les faces de la zone verticale h^1m sont souvent fortement striées verticalement ; parfois seules sont striées les faces des angles rentrants de la macle.

Dureté : 6,5. Cassure inégale. Densité : 6,95.

Uniaxe et *positive*. Les indices et la biréfringence sont élevés :

$$\varepsilon = 2{,}0934 \qquad \omega = 1{,}9966 \qquad B = 96{,}8.$$

Couleur brune ou noire, plus rarement grise ou jaune. Poussière grise. Transparente, translucide ou opaque. Eclat adamantin. Pléochroïque dans les teintes jaunes ou brunes.

Infusible. Un grain du minéral, placé sur une lame de zinc et humecté d'acide chlorhydrique, se recouvre d'un enduit métallique. Sur le charbon, avec la soude, ou mieux avec le cyanure de potassium, donne un globule d'étain et un enduit blanc. Inattaquable par les acides. Après fusion avec un mélange de carbonate de sodium et de soufre, la masse, reprise par l'eau bouillante, laisse l'étain en solution ; la solution, filtrée et addition-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

née de HCl, précipite du sulfure d'étain ; le précipité, lavé, dissous dans HCl concentré, évaporé à sec, repris par l'eau, donne un précipité blanc avec le chlorure mercurique.

On trouve principalement la cassitérite dans les filons et fentes en relation avec des roches granulitiques, ainsi que dans les éluvions et alluvions, où se rencontre fréquemment la cassitérite à structure fibreuse dite *étain de bois*. On a trouvé aussi ce minéral en pseudomorphoses d'orthose maclée suivant la loi de Carlsbad.

Des gisements importants de cassitérite ont été découverts au Katanga et dans les régions orientales du Congo : ce sont principalement des alluvions provenant de la désagrégation de filons pegmatitiques ou en relation avec des greisen qui eux-mêmes sont remplis d'innombrables petits cristaux du minéral. La cassitérite est également exploitée en Malaisie, Tasmanie, Bolivie, Cornwall et Portugal.

Car. dist. — La forme cristalline, la macle, la dureté, la densité et l'éclat suffisent à caractériser la cassitérite. L'essai sur la lame de zinc peut confirmer aisément la détermination.

Rutile

Le rutile est une des trois variétés polymorphes sous lesquelles se présente l'anhydride titanique TiO^2. Il y a souvent du fer remplaçant le titane.

Quadratique et isomorphe de la cassitérite :

$$m b^1 = 57°13' \qquad\qquad h^1 a^1 = 47°40'$$

Clivages m et h^1 assez faciles.

Les cristaux ressemblent à ceux de la cassitérite, fig. 403, mais le quadroactèdre b^1 est généralement plus développé que a^1 ; les faces verticales sont toujours fortement striées. Les macles b^1 sont très fréquentes et composées ordinairement de plusieurs individus (fig. 135).

La *sagénite* est une agglomération de prismes verticaux se groupant entre eux sous des angles de 114° et formant un réseau triangulaire. Les *cheveux de Vénus* sont des aiguilles, souvent très longues, de rutile, englobées dans un cristal de quartz.

Dureté : 6 à 6,5. Densité : 4,18 à 4,25.

Uniaxe et *positif*, le rutile a une réfringence et biréfringence très fortes :

$$\varepsilon = 2{,}9029 \qquad \omega = 2{,}6158 \qquad B = 287.$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Rouge, brun rouge, blond. Poussière brun pâle. En lame mince transparent et brun rouge ou jaunâtre. Eclat adamantin.

Infusible. En poudre très fine, soluble dans l'acide sulfurique concentré ; donne alors les réactions du titane (voir ilménite).

Le rutile est un élément accidentel très fréquent dans les roches éruptives. Il abonde dans les schistes cristallins et on le retrouve dans les roches sédimentaires. On le rencontre souvent dans les filons, notamment sur les cristaux d'oligiste où il prend l'orientation indiquée antérieurement (fig. 127). La **nigrine** est une variété ferrifère, noire (voir *ilménite*).

Car. dist. — La couleur, l'éclat, la forme et les macles, les clivages et la densité suffisent à faire reconnaître les échantillons macroscopiques. En lames minces, son haut relief, sa couleur et son signe optique le caractérisent (voir anatase et brookite).

Anatase (*Octaédrite*)

Variété polymorphe du rutile.

Quadratique :

$$a^1a^1\ adj = 82°9' \qquad pa^1 = 68°18'.$$

L'anatase [1] se présente toujours en cristaux et on peut y distinguer trois facies :

1) octaèdres aigus, comme le présente la figure 407 qui est un type commun à Nil-St-Vincent ;

2) octaèdres surbaissés (fig. 408),

3) cristaux basés, comme dans la figure 409 qui représente un cristal du Katanga.

Les cristaux sont souvent surchargés de facettes.

Clivages p et a^1 parfaits.

Dureté : 5,5 à 6. Densité : 3,38.

Uniaxe et *négatif* ; la réfringence est forte :

$\omega = 2{,}554 \qquad \varepsilon = 2{,}493 \qquad B = 61$

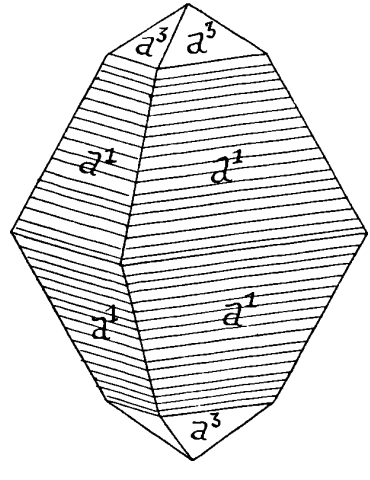


Fig. 407.

[1] Le mot *anatase*, qui provient du grec, indique que l'octaèdre a^1 est plus aigu que dans les autres minéraux quadratiques ; le mot *octaédrite* rappelle que les cristaux sont surtout formés de quadroctaèdres.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Parfois légèrement biaxe.

Bleue, jaune, brune, noire ; le même cristal présente souvent différentes teintes. Eclat adamantin. Poussière incolore. Pléochroïsme faible.

Les réactions chimiques sont celles du rutile.

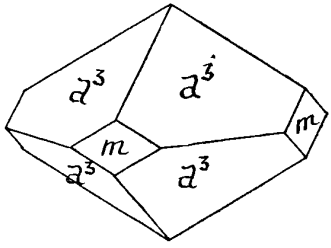


Fig. 408.

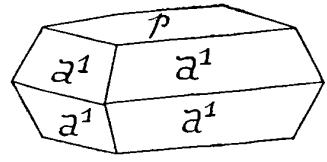


Fig. 409.

L'anatase se trouve dans les fentes de roches éruptives, dans les filons métallifères et, comme élément accidentel, dans de nombreuses roches. En Belgique, à Nil-St-Vincent. Au Congo, de beaux cristaux ont été trouvés dans des alluvions au Katanga.

Car. dist. — La forme des cristaux suffit à faire reconnaître l'anatase. En lame mince, son relief la rapproche du rutile dont elle se distingue par sa plus faible biréfringence et par son signe.

Brookite

Variété polymorphe du rutile.

Orthorhombique :

$mm = 80°10'$ $\quad e_3e_{3\text{ant.}} = 78°57'$ $\quad e_3e_{3\text{lat.}} = 44°23'$

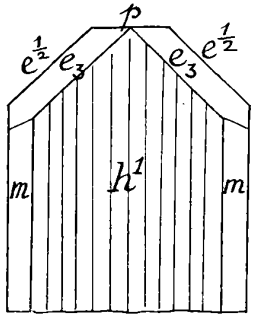


Fig. 410.

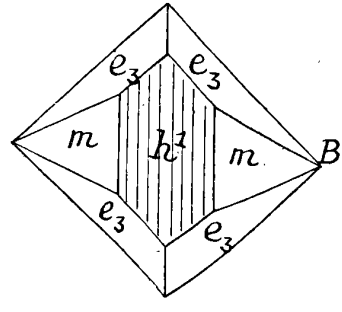


Fig. 411.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les cristaux de brookite (1) ont deux facies :

1) lamelles aplaties suivant h^1, terminées sur le pourtour par de nombreuses facettes parmi lesquelles prédominent les faces de la forme $b^1\overset{1}{b^3}g^1$ ou e_3 ; il y a presque toujours une petite face p (fig. 410). Ces lamelles sont en général implantées par le bas. Les faces h^1 sont striées verticalement ;

2) cristaux à apparence hexagonale (fig. 411) formés par m, e_3 et h^1 : cette apparence provient de ce que l'angle mm est à peu près égal à $e_3e_{3\,ant.}$; cette forme a reçu le nom d'*arkansite* (2).

Dureté : 5,5 à 6. Densité : 3,87 à 4,08.

Les propriétés optiques sont intéressantes et faciles à observer au travers des faces h^1 des cristaux du premier type : la bissectrice aiguë, *positive*, n_g est perpendiculaire à h^1 (fig. 412) mais, pour les rayons rouges, le plan des axes est parallèle à p, tandis que, pour les rayons bleus, le plan des axes est parallèle à g^1 ; on a $\rho > v$; le minéral est uniaxe pour les rayons vert jaune. Lorsqu'on chauffe le cristal, les axes contenus dans g^1 se rapprochent, tandis que ceux ouverts dans p s'écartent ; au-dessus du rouge vif, les modifications deviennent permanentes.

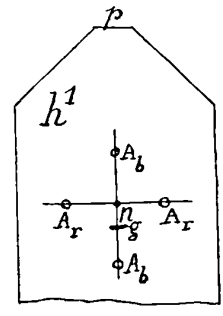


Fig. 412.

$\gamma = 2{,}741$	$\beta = 2{,}586$	$\alpha = 2{,}583$
$B = 158$	$2V = 16°33'$	$2E = 43°42'$

$2e = 55°2'$ pour le rouge, $30°16'$ pour le jaune, $0°$ pour le jaune vert, $33°48'$ pour le bleu.

Brun doré ou brun rouge ; l'arkansite est noire. Poussière incolore. Eclat adamantin. Les cristaux clairs sont translucides ; l'arkansite n'est transparente qu'en lame mince.

Les propriétés chimiques sont celles du rutile.

La brookite se trouve dans les mêmes conditions que l'anatase.

Car. dist. — La forme et les propriétés optiques servent à caractériser la brookite, aussi bien en cristaux qu'en lames minces de roches. (Voir goethite).

---

(1) Dédiée au savant anglais Brookes.
(2) De l'Arkansas.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Thorianite

Ce minéral est constitué par de l'oxyde de thorium presque pur mélangé à de l'oxyde d'uranium ; il renferme également de la zircone et de la cérine.

Cubique et se présentant en cubes noirs très réguliers.

Densité : 9,32. Dureté : 6,5 à 7.

Noir à brun. Eclat très vif, un peu adamantin.

Transparent en lame mince et brun rougeâtre. $N = 2{,}2$.

Montre une radioactivité plus de quatre fois supérieure à celle de l'oxyde d'uranium.

Infusible. Attaqué par l'acide nitrique et par l'acide sulfurique bouillant.

La thorianite a été trouvée dans les alluvions de Ceylan et de Madagascar ; elle provient de pegmatites.

Car. dist. — La forme cubique, la couleur, la densité, la radioactivité.

Baddeleyite (*Brazilite*)

On a décrit sous ces noms de petits cristaux clinorhombiques, constitués par de la zircone pure ZrO^2, et qui sont restés des raretés minéralogiques. Clivage *p*.

Macles suivant h^1 et suivant *m*.

Dureté : 6,5. Densité : 5,5 à 6.

La baddeleyite a été trouvée et exploitée au Brésil sous forme de masses concrétionnées et fibreuses, de cailloux arrondis, d'une structure semblable à celle de la limonite, très tenaces, de couleur vert olive sombre ou noire. On a reconnu que les fibres constitutives étaient très biréfringentes, uniaxes et positives ; ce minerai, désigné sous le nom de **zircite**, est sans doute une variété dimorphe de la baddeleyite. Sa densité est voisine de 5 et sa dureté égale à 7. Il renferme jusqu'à 25% d'impuretés qui abaissent considérablement son point de fusion.

Pyrolusite

La formule MnO^2 attribuée à ce minéral correspond à :

Mn : 63,22 O : 36,78

mais la pyrolusite est toujours mélangée de fer et de matières terreuses.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les cristaux qui recouvrent souvent la pyrolusite compacte sont considérés comme une épigénie de manganite, due à la déshydratation de ce minéral.

Dureté : 2 à 2,5. Cassure inégale. Densité : 4,7 à 5.

Noire. Poussière noire. Tachant les doigts. Ordinairement en masses fibreuses ou rayonnantes.

Infusible. Colore le borax en violet au feu oxydant. Donne une masse verte avec la soude. Soluble dans l'acide chlorhydrique avec dégagement de chlore.

La pyrolusite est employée en verrerie (1), ainsi que dans la fabrication du chlore et de l'oxygène.

Mélangée à des oxydes de fer et à d'autres oxydes de manganèse, la pyrolusite se trouve sur les affleurements des filons métallifères ; elle forme aussi des amas irréguliers ou interstratifiés dans les couches sédimentaires. On a exploité en Belgique des couches comprises dans des phyllades cambriens et des filons traversant le calcaire carbonifère.

Car. dist. — La faible dureté, la couleur de la poussière et l'action de l'acide chlorhydrique. Voir manganite.

D. — HYDROXYDES

Opale

L'opale est de la silice hydratée, de formule $m\mathrm{SiO^2}.n\mathrm{H^2O}$. La proportion d'eau peut varier de 3 à 18%.

L'opale est amorphe. Elle se présente en masses globuleuses, réniformes, terreuses, auxquelles on a donné différents noms.

L'*opale précieuse*, employée en joaillerie, comprend diverses variétés : l'*opale noble* présente de magnifiques jeux de couleur dus à des couches minces d'air ou d'opales d'indices de réfraction variables, ou dus encore à des paillettes étrangères diversement colorées. L'opale présente aussi parfois une couleur prédominante, comme l'*opale de feu* qui est rouge flamboyante.

Parmi les opales communes, nous distinguons : la *mélinite* en masses réniformes, argileuses, grises ou brunes ; le *cacholong*, terreux, blanc jaunâtre, happant à la langue, qui recouvre souvent

(1) Le mot « pyrolusite » provient du grec et rappelle la propriété du minéral de décolorer les verres ; d'où aussi son nom : Savon de verriers .

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

les silex du crétacé ; la *résinite*, opaque, à éclat résineux ou gras ; l'*opale de bois* ou *xyloïde*, qui est une épigénisation de bois dont elle a conservé la structure ; l'*opale nectique*, en rognons poreux ; l'*hyalite*, globuleuse, incolore et transparente comme le verre ; la *geysérite* en masses spongieuses. L'*hydrophane* est une opale poreuse pouvant absorber une grande quantité d'eau en devenant translucide. L'opale est parfois pulvérulente, ressemble à du kaolin et elle résulte alors de l'agglomération de débris organiques (diatomées, radiolaires, spongiaires, etc.) ; cette roche s'appelle *tripoli*, *randannite*, etc.

Dureté : 5,5 à 6,5. Fragile. Densité : 1,9 à 2,3.

L'opale est monoréfringente mais offre parfois des phénomènes accidentels de biréfraction ; les globules d'hyalite montrent en lumière parallèle une croix noire due à une structure fibreuse à allongement négatif. L'indice N varie de 1,368 à 1,56.

Infusible. Dans le tube dégage de l'eau. Au chalumeau, décrépite sans fondre. Insoluble dans les acides. Plus ou moins soluble dans les alcalis.

L'opale se produit dans toutes les roches silicatées sous l'action de circulation d'eau ou de vapeurs acides ; on la trouve dans les sources thermales et dans les filons, ainsi que, en concrétions ou en inclusions, dans les roches sédimentaires où elle est d'origine animale, végétale ou chimique. Les belles opales proviennent de Hongrie et du Mexique où elles sont recherchées dans des veines traversant des trachytes ; on en trouve aux Etats-Unis dans des basaltes amygdaloïdes.

Car. dist. — La structure colloïdale, la dureté, la faible densité, le dégagement de l'eau et la solubilité dans les alcalis sont les caractéristiques du minéral.

Diaspore

C'est l'hydrate d'alumine AlO(OH) comprenant :

$$Al^2O^3 : 85 \qquad H^2O : 15.$$

Orthorhombique, mais se trouve le plus souvent en masses lamellaires dues à un clivage très facile pris pour g^1.

Dureté : 6,5 à 7. Densité : 3,4.

Les lames de clivage sont parallèles au plan des axes optiques. La bissectrice, *positive*, est normale à h^1.

$$\gamma = 1{,}750 \qquad \beta = 1{,}722 \qquad \alpha = 1{,}702$$

$$2\,V = 84^o \qquad B = 43$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Incolore, grise, jaune bleuâtre. Eclat brillant, nacré sur g^1.

Dans le tube, décrépite (1) et donne de petites écailles blanches, opaques, nacrées ; ne dégage de l'eau qu'à très haute température. Infusible mais, humectée de nitrate de cobalt, se colore en bleu. Inattaquable. Décomposée par H^2SO^4 après calcination.

Le diaspore se trouve avec le corindon dans les calcaires métamorphiques.

Car. dist. — Le clivage, la dureté, la densité et les propriétés optiques. Voir euclase.

Goethite

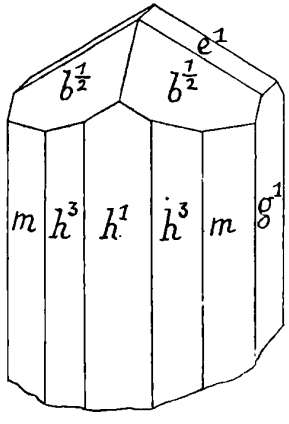
La formule FeO(OH), correspondant à

$$Fe^2O^3 : 89,9 \qquad H^2O : 10,1.$$

convient à la goethite (2), qui contient cependant souvent du manganèse, du phosphore, de la silice.

Orthorhombique : $mm_{\text{lat.}} = 94°52'$, $mb^{\frac{1}{2}} = 48°6'30''$.

La forme ordinaire des cristaux de goethite est donnée par la figure 413 ; les faces verticales sont multiples et striées verticale-



Fig, 413.

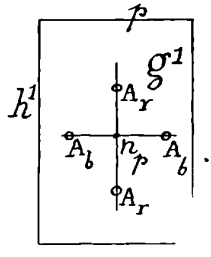


Fig. 414.

ment. Se présente aussi en écailles et lamelles (*rubinglimmer*, *lépidocrocite*) (3) qui sont le plus souvent des lamelles g^1, plus rare-

(1) D'où le nom, du grec *diaspeirein*, se répandre.

(2) Dédiée à Goethe.

(3) On a décrit la lépidocrocite, les lamelles présentent souvent une bissectrice d'axes très écartés, comme une espèce distincte de la goethite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

ment h^1 ; en masses fibreuses et veloutées (*sammetblende*), fibro-lamellaires, compactes.

Clivage facile g^1 ; moins nets : p et h^1.

Dureté : 5. Densité : 4.

La bissectrice aiguë est *négative* et perpendiculaire à g^1 (fig. 414) ; la dispersion rappelle celle de la brookite, mais en sens inverse : les axes rouges sont dans h^1 et les axes bleus dans p ; on a $\rho < v$: $2e = 58°31'$ (rouge), $36°46'$ (jaune), $67°42'$ (vert).

$B = 134$ $\quad n = 2{,}23$ à $2{,}40$ $\quad b(g^1) = n_g - n_m = 13$ à 27.

Le pléochroïsme est sensible, conformément à la loi de Babinet, dans les teintes brunes ou jaunes.

Noire ; éclat adamantin. Les variétés lamellaires sont jaunes ou rouges. Poussière jaune ou brunâtre. Translucide et brun jaune en lame mince.

Dans le tube fermé, dégage de l'eau et se transforme en oligiste. Soluble dans l'acide chlorhydrique.

La goethite accompagne la limonite dans ses gisements ; on la trouve surtout dans les filons. L'hydroxyde de fer en lequel se transforment les cubes de pyrite est le plus souvent de la goethite.

Car. dist. — La dispersion est caractéristique et son sens distingue la goethite de la brookite. La forme des cristaux et la couleur de la poussière sont aussi des caractères distinctifs. (Voir ilvaïte et limonite).

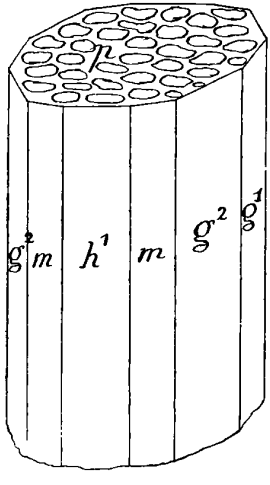


Fig. 415.

Manganite

Formule : MnO.HO correspondant à :

Mn : 62,4 $\quad H^2O$: 10,3 $\quad$ O : 27,3.

Orthorhombique :

$mm = 80°20'$ $\quad e^1e^1 = 58°10'$.

Les cristaux terminés sont rares ; le plus souvent la manganite se trouve en prismes cannelés (fig. 415) dont la base montre qu'ils sont constitués par des groupements à axes parallèles. Clivage g^1 parfait, m moins parfait.

Dureté : 4. Fragile. Densité : 4,3.

Noire ; éclat métallique. Poussière brun rougeâtre. Opaque, sauf en lames g^1 très minces qui sont brunes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les caractères chimiques sont ceux de la pyrolusite, mais la manganite dégage, de plus, de l'eau en tube fermé.

La manganite et les autres minerais de manganèse se trouvent souvent mélangés, dans les conditions de gisement indiquées à la pyrolusite. La manganite, en se déshydratant, donne de la pyrolusite.

Car. dist. — Les caractères distinctifs avec les autres oxydes de manganèse sont résumés dans le tableau suivant :

	Manganite	*Hausmannite*	*Braunite*	*Pyrolusite*
Faciès	prismatique	octaédrique	octaédrique	prismatique
Clivage	—	*p*	$b\frac{1}{2}$	—
Poussière	brun rouge	brun noisette	noir brunâtre	noire
Dureté	4	5,25	6,25	**2,25**
dans le tube	donne de l'eau	pas d'eau	pas d'eau	peu d'eau
action de l'acide chlor.	dégagement de chlore	dégagement de chlore	dég. de chlore et résidu de silice	dégagement de chlore

Voir aussi : psilomélanes.

Limonite

La limonite pure aurait pour formule $2Fe^2O^3.3H^2O$, correspondant à 85,5% de Fe^2O^3, soit à 59,75% de fer. Mais elle renferme toujours de nombreuses substances étrangères telles que l'alumine, le soufre, le phosphore, la silice, des acides organiques, de l'argile, etc.

La limonite se trouve sous forme de fibres constituant des masses stalactitiques, concrétionnées, mamelonnées, d'une grande variété d'aspect ; les fibres sont biréfringentes avec allongement positif, angle des axes très grand, faible dispersion, dichroïsme intense dans les teintes jaunes.

Dureté : 5 à 5,5. Densité : 3,6 à 4.

Couleur brune, noire, jaune. Poussière brun jaune. Opaque. Les fibres ont un éclat soyeux et métalloïde. Les concrétions ont souvent des surfaces vernissées.

Les caractères chimiques sont ceux de la goethite.

La *stilpnosiderite* est une phase colloïdale de la limonite ; elle forme des masses concrétionnées ou compactes, à cassure résineuse ou bien des masses caverneuses ou terreuses et des agrégats pulvérulents ; noir de poix, jaune.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La limonite se forme là où tout produit ferrugineux peut s'oxyder. Elle est donc nécessairement très abondante, surtout dans les filons. On la trouve aussi en couches, notamment dans les terrains secondaires ou tertiaires. On désigne sous le nom de *fer des marais, des tourbières*, etc..., des dépôts limoniteux se formant encore actuellement dans les pays plats et marécageux sous l'action de bactéries spéciales qui aident à la mise en solution du fer existant dans le sous-sol et à sa précipitation sous forme de sel ferrique. Dans les mêmes formations, on trouve aussi des concrétions limoniteuses, souvent creuses, appelées *aetites* ou *pierre d'aigle*.

On la trouve fréquemment en pseudomorphose de marcasite, pyrite, oligiste, pyroxènes, amphiboles, etc.

La limonite a donné et donne encore lieu en Belgique à de nombreuses exploitations, notamment dans l'Entre-Sambre-et-Meuse, dans les vallées de la Meuse, de l'Ourthe, de la Vesdre, dans les Flandres et en Campine.

La limonite argileuse est souvent employée pour l'obtention des *ocres*.

Car. dist. — Les propriétés optiques des échantillons biréfringents, la teneur en eau, l'absence de formes cristallines.

Bauxite

La bauxite pure aurait pour formule $Al^2O.(OH)^4$ correspondant à : Al^2O^3 : 73,9 H^2O : 26,1.

mais elle se trouve toujours mélangée à de l'argile, de la limonite, etc. et les analyses donnent des résultats très variables.

Masses compactes, terreuses, pisolithiques ; couleur blanche, rose, rouge. La densité est très variable, s'approchant de 2,55.

Quand elle est assez pure, la bauxite s'emploie pour l'extraction de l'aluminium et pour la fabrication des aluns et du sulfate d'alumine.

Dans le tube ouvert, donne de l'eau. Infusible, mais humectée de nitrate de cobalt, devient bleue. Inattaquable.

La *latérite* est un hydrate d'alumine et de fer ; elle se trouve notamment dans les pays tropicaux, où elle prend naissance par la décomposition des roches les plus diverses, sous l'influence de la température élevée, des pluies abondantes, d'une riche végétation et recouvre souvent sur d'énormes épaisseurs les roches dont elle est le résultat de la transformation.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Car. dist. — La bauxite (1) se distingue de l'argile en ce qu'elle ne fait pas pâte avec l'eau et en ce que le résidu de l'attaque par l'acide sulfurique, évaporé à sec et repris par l'eau, ne laisse qu'un faible résidu de silice.

Brucite

La formule est $Mg(OH)^2$.

Rhomboédrique : $pp = 97°37'30''$.

Clivage très facile a^1, donnant des lamelles flexibles. La brucite (2) se trouve surtout en masses lamellaires ou micacées, parfois fibreuses.

Dureté : 2,5. Sectile. Densité : 2.39.

Blanche ou vert clair ; éclat nacré sur a^1.

Les lamelles de clivage permettent de vérifier l'uniaxie et le signe *positif* du minéral, ainsi que sa faible biréfringence :

$$\varepsilon = 1{,}580 \qquad \omega = 1{,}559 \qquad B = 21.$$

Pyroélectrique.

Donne de l'eau dans le tube. Infusible, mais gonfle en se transformant en magnésie MgO, uniaxe et négative. Avec le nitrate de cobalt, donne une teinte rose pâle. Soluble dans les acides.

Se trouve dans les serpentines et les cipolins.

Car. dist. — Les propriétés optiques sont caractéristiques de ce minéral micacé. Le signe est distinctif des micas. (Voir alunite).

Psilomélanes

Ce sont des minerais de manganèse dont la formule peut être représentée par : $x\text{RO}.y\text{MnO}^2.z\text{H}^2\text{O}$. De nombreuses psilomélanes (3) renferment du baryum, d'autres du cuivre (*lampadite*), ou du cobalt (*asbolane*), du potassium (*ébelmenite*), du calcium (*ranciéite*). Elles se présentent en masses concrétionnées, stalactitiques, botryoïdes, terreuses, etc. La cassure est parfois fibreuse ou grenue. Couleur noire souvent bleuâtre.

Le *wad* est en masses tendres, légères, tachent les doigts.

Dans le tube, donne de l'eau ; par calcination, perd de l'oxygène ; soluble dans l'acide sulfurique avec coloration violette ; soluble dans l'acide chlorhydrique avec dégagement de chlore.

---

(1) La bauxite se trouve principalement en Provence, près de Baux.
(2) Dédiée au minéralogiste américain Bruce.
(3) Des mots grecs « psilos » uni et « mélas » noir.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les psilomélanes se trouvent dans les mêmes conditions que la pyrolusite ; elles constituent aussi des filons. La *lampadite*, en masses terreuses, brunes, se trouve en abondance dans les gisements de cuivre du Katanga, où elle est parsemée de fissures remplies de malachite. On peut rapprocher de la lampadite l'*hétérogénite* (*stainiérite*, *mindigite*) qui est un oxyde hydraté de cobalt et de cuivre et qui accompagne également ces minerais de cuivre en masses noires, brillantes, fragiles, ressemblant à de l'anthracite.

Car. dist. — La teneur élevée en eau est distinctive de la braunite, de la hausmannite et de la pyrolusite. Se distingue de la manganite par la présence de bases autres que le manganèse, par la structure mamelonnée et par la perte par calcination qui dépasse généralement 10%.

E. — HALOIDES

Ces minéraux, lorsqu'ils ne sont pas le produit d'évaporations salines, sont des minéraux de filons ou d'amas dus à des actions pneumatolytiques ou à des altérations secondaires.

Les *chlorures* solubles dans l'eau ou dans l'acide nitrique sont caractérisés par le nitrate d'argent qui donne un précipité blanc, caséeux, noircissant à la lumière, soluble dans l'ammoniaque et dans le bicarbonate ammonique ; les chlorures insolubles peuvent être réduits par le zinc et l'acide sulfurique dilué : la solution filtrée contient alors de l'acide chlorhydrique que l'on décèle par le nitrate d'argent. Une perle de sel de phosphore saturée d'oxyde de cuivre donne à la flamme, avec les chlorures, une coloration bleu d'azur légèrement pourpre.

Les *bromures* donnent avec le nitrate d'argent un précipité blanc soluble dans l'ammoniaque mais insoluble dans le bicarbonate ammonique ; traités en tube fermé avec du bisulfate de potassium préalablement fondu et réduit en poudre, ils dégagent du brome en vapeurs brunes colorant le papier amidonné en jaune. Dans les mêmes conditions, les *iodures* dégagent de l'iode en vapeurs violettes donnant un enduit brun-noir et bleuissant le papier amidonné, tandis que les *fluorures* dégagent de l'acide fluorhydrique qui attaque le verre : cependant, en présence de silice, il se dégage du fluorure de silicium en vapeurs blanches qui troublent une goutte d'eau placée à l'extrémité d'une baguette de verre.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Calomel

C'est le chlorure mercureux HgCl, contenant jusqu'à 84,9% de mercure.

Système quadratique : $pb^1 = 59°52'$. — Cristaux parfois très chargés de facettes.

Clivages : m et a^1.

Cassure conchoïdale.

Dureté : 1 à 2. Sectile. Densité : 6,482.

Couleur blanche ou gris jaunâtre. Eclat adamantin. Transparente ou translucide. Saveur douce (1).

Uniaxe *positif* :

$$\varepsilon = 2{,}656 \qquad \omega = 1{,}973 \qquad B = 683.$$

En tube fermé, se volatilise sans fondre et se condense dans les parties froides du tube ; avec la soude, donne des gouttelettes de mercure. Insoluble dans l'eau ; soluble dans l'eau régale.

Se trouve dans les gîtes de mercure.

Car. dist. — La forme, la saveur, l'éclat et l'action de la chaleur en tube fermé.

Cérargyrite

C'est le chlorure d'argent AgCl, contenant parfois du mercure.

Système cubique. Le plus souvent compacte ou en croûtes cristallines. Cassure conchoïdale. Sectile.

Dureté : 1 à 1,5. Densité : 5 à 5,5.

Incolore, gris perle, jaune verdâtre. Brunit à l'air. Eclat résineux et adamantin. Transparent ou translucide. $N = 2{,}061$.

Insoluble dans les acides ; sur une lame de zinc, avec quelques gouttes d'eau, se réduit à l'état métallique.

C'est un excellent minerai d'argent.

A la cérargyrite (2), se rattachent la *bromyrite* AgBr, l'*iodyrite* AgI, ainsi que l'*embolite* Ag(Br, Cl) et l'*iodobromite* Ag(Cl.Br,I).

---

(1) Le nom vient de *calos* (bon) et *mel* (miel).
(2) Appelée aussi *argent corné* : *ceros* (corne), *argeyros* (argent).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Voici les caractères distinctifs entre les chlorure, bromure et iodure d'argent :

	Cérargyrite	*Bromyrite*	*Iodyrite*
Syst. crist.	Cubique	Cubique	Hexag. antih.
% d'Ag.	75,3	57,4	46
altération	brune	jaune ou verte	jaune ou brune
sur le charbon	globule d'argent	globule d'argent avec vapeurs de brome	globule d'argent avec vapeurs d'iode
en tube fermé	fusible	fusible	fusible puis dev. jaune à chaud
action de l'ammoniaque	soluble	difft. soluble	difft. soluble
action de l'acide nitrique	soluble	soluble	soluble
avec le sel de phosphore	donne une perle qui saturée de CuO, colore la flamme en bleu	—	—

Sel gemme (*Halite*)

Le sel gemme NaCl contient 60,6% de sodium ; il est généralement impur, mélangé à des chlorures et sulfates de chaux, magnésie, etc. ; il renferme fréquemment des inclusions d'argile, de gypse, d'anhydrite et de sel de couleur différente de la masse, ainsi que des inclusions liquides avec bulles mobiles de gaz.

Cubique ; le plus souvent en cubes. Masses clivables, cristallines, fibreuses.

Clivage *p* parfait ; les figures de percussion et de rayure ont été décrites (**290**).

Dureté : 2. Densité : 2,25.

Isotrope : $N = 1{,}544$.

Incolore, blanc ; rouge ou bleu par suite d'inclusions de sels de fer. Eclat vitreux ; transparent. Saveur salée.

Dans le tube, décrépite. Fusible en une perle transparente et colorant la flamme en jaune. Soluble dans trois fois son poids d'eau.

L'eau de mer contient près de 30 kilogrammes de sel par mètre cube : on l'en retire par évaporation dans les marais salants ; on trouve aussi le sel dans les lacs peu profonds en voie d'évaporation, en Algérie, Argentine, Etats-Unis, etc. Certaines sources thermales, notamment au Katanga, déposent naturellement le sel qu'elles

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

apportent. Enfin des dépôts puissants et profonds de sel, mélangés à du gypse, de la carnallite, etc. se trouvent dans les terrains secondaires et tertiaires (Voir carnallite).

Car. dist. — La saveur, le clivage, l'isotropie, les figures de rayure caractérisent le sel (voir sylvine). Le **salmiac** (H^1NCl), qui est un produit volcanique, cubique, a une saveur piquante.

Sylvine, Sylvinite

La composition de la sylvine est KCl et celle de la sylvinite KCl.NaCl. Ce sont des minéraux cubiques, se présentant en masses vitreuses, blanches, bleuâtres, jaunâtres ou rougeâtres, à clivage cubique parfait, solubles dans l'eau avec saveur salée.

Dureté : 2. Densité : 1,98. $N = 1{,}49$.

La sylvine se trouve dans les dépôts de Stassfurt ; la sylvinite dans les dépôts analogues en Alsace et en Catalogne.

Ces minéraux sont exploités comme sels de potasse.

Car. dist. — L'absence de figures de rayure permet de distinguer les sels de potasse du sel gemme.

Fluorine

La fluorine a pour formule : $CaFl^2$, qui donne 48,9 % de fluor.

Elle renferme fréquemment des oxydes de fer et de manganèse, des carbures d'hydrogène (qui lui donnent la teinte violette), du gaz fluor libre, etc.

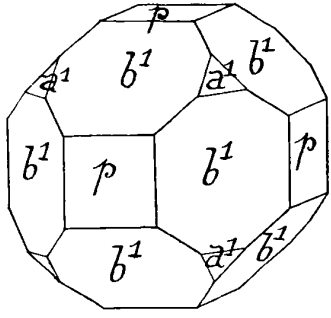


Fig. 416.

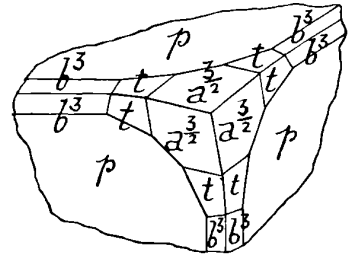


Fig. 417.

Cubique. — Les cristaux ont un facies cubique, rhombododécaédrique et, plus rarement, octaédrique ; les trois formes sont souvent réunies (fig. 416) comme sur les gros cristaux violets de

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Gimnée. Les cristaux cubiques portent fréquemment sur les arêtes de petites troncatures b^m et, sur les angles, des pointements triples ou sextuples ; la figure 417 représente un cristal de Villers-en-Fagne composé de : $p.b^3.a^{\frac{3}{2}}.t = b^1 b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{4}}$. Les octaèdres montrent parfois la structure polysynthétique de la figure 16.

Macles par interpénétration après rotation de 60° autour d'un axe ternaire (fig. 133). La figure 418 représente un groupement de cristaux de Denée, ayant trois centimètres de côté et formé par la réunion de petits cristaux pb^3. Les cubes de fluorine portent fréquemment des faces vicinales (135).

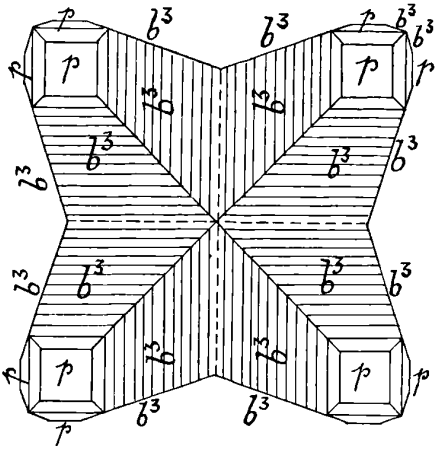


Fig. 418.

Se présente aussi en masses clivables, lamellaires et fibro-lamellaires.

Clivage octaédrique parfait.

Dureté : 4. Densité : 3 à 3,2.

Isotrope. Accidentellement faiblement biréfringente. $N = 1{,}4339$.

Incolore, jaune, verte, violette, bleue ; souvent diversement colorée dans le même échantillon : à Denée, on trouve des cubes violets entourés d'une enveloppe cubique jaune ; parfois la répartition des pigments colorants est tout à fait irrégulière. Rayure blanche. Eclat vitreux. Luminescente.

Dans le tube fermé, décrépite et devient phosphorescente. Fond facilement (1) en émail blanc et en colorant la flamme en rouge. Traitée par l'acide sulfurique, ou fondue en tube ouvert avec du sel de phosphore, elle dégage de l'acide fluorhydrique qui attaque et corrode le verre. Soluble dans l'acide chlorhydrique.

La fluorine se trouve dans de nombreux filons et dans les fentes traversant aussi bien les roches sédimentaires que les roches éruptives. En Belgique, on l'a rencontrée dans les veines du calcaire carbonifère, avec calcite, notamment à Denée et dans les filons métallifères, comme à Villers-en-Fagne.

(1) D'où le nom, du latin : *fluo*, je coule. Ce minéral est aussi appelé *spath fluor* ou *spath fusible*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La fluorine est employée comme fondant dans la métallurgie du fer et de l'acier, également en verrerie. En masses un peu volumineuses et diversement colorées, on la taille pour vases et objets d'ornement.

Car. dist. — La forme, le clivage octaédrique parfait et la fusibilité.

Cryolite

La formule $Al^2Fl^2, 6\,NaFl$ conduit à la composition suivante :

Na : 32,8 Al : 12,8 Fl : 54,4

elle contient presque toujours de l'oxyde ferrique.

Clinorhombique : $ph^1 = 89°49'$ $mm = 88°2'$ $pm = 89°52'$ $pa^1 = 55°17'$; on voit que le prisme primitif est très proche du cube. Masses clivables ou cristaux groupés parallèlement. Clivages : p, m, a^1.

Dureté : 2,5. Cassure inégale. Densité : 3.

Blanche (1), parfois colorée en rouge ou brun. Eclat vitreux ou perlé.

Optiquement *positive*. La bissectrice fait dans g^1 et en arrière un angle de 44° avec la verticale ; le plan des axes est perpendiculaire à g^1. Les lames de clivage, très faiblement biréfringentes, montrent des courbes incolores basculant autour de point situés sur les bords du champ. $n = 1{,}339$. — $B = 1$.

Fusible à la flamme d'une bougie ; sur le charbon, fond en une perle claire qui devient ensuite opaque puis se dissocie : le NaFl est absorbé par le charbon, une odeur de fluor se dégage et il reste Al^2O^3 qui, humecté de nitrate de cobalt, bleuit.

Rare. Trouvée dans une veine granitique au Groenland et dans quelques filons. Employée comme minerai d'aluminium (2).

Car. dist. — La fusibilité, l'éclat, les clivages et leur apparence optique. En poudre, devient presque invisible dans l'eau.

Matlockite

Formule : $PbCl^2.PbO$.

Pb : 82,6 Cl : 14,2 O : 3,2

Quadratique : $pb^1 = 60°26'$ $pa^1 = 68°8'30''$.

---

(1) D'où le nom, du grec : *cruos* et *lithos*, pierre de glace.

(2) On remplace beaucoup la cryolite naturelle par de la cryolite artificielle ; le principe du procédé de fabrication de l'aluminium consiste à électrolyser de l'alumine dissoute dans de la cryolite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les cristaux, aplatis suivant p, ont ordinairement la forme de la figure 419 ; ils sont petits et s'assemblent à axes imparfaitement parallèles. Les faces p sont ondulées.

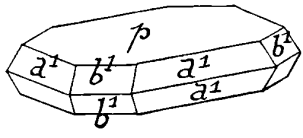


Fig. 419.

Clivage p.

Dureté 2,5 à 3. Densité 7,2.

Uniaxe ; légèrement biaxe par plages.

Négative : $\omega = 2{,}15 \quad \varepsilon = 2{,}04$.

Jaune claire. Eclat adamantin, perlé sur p. Translucide.

Fusible en se décolorant. Sur le charbon, fond aisément et est réduit en plomb, avec enduits jaune et blanc et dégagement de vapeurs acides. Dans l'acide nitrique, devient brune, puis blanche et, par addition d'eau, se dissout complètement à chaud.

La matlockite [1] accompagne la galène dans ses filons.

Diagnostic. — Voir phosgénite.

Boléite, Cumengéite, Pseudoboléite

Ces trois minéraux se trouvent associés en orientation parallèle. Leurs compositions seraient données par :

boléite	$4PbCl^2.4CuO.5H^2O$
cumengéite	$5PbCl^2.4CuO.6H^2O$
pseudoboléite	$9PbCl^2.8CuO.3AgCl.9H^2O$

Les cristaux de boléite ont la forme de cubes modifiés parfois par b^1 et par a^1, mais qui sont constitués en réalité par trois cristaux quadratiques maclés entre eux, uniaxes, *négatifs*, avec $B = 20$; densité : 5,054. Clivages parallèles aux faces du cube.

Les cristaux de cumengéite se présentent en octaèdres quadratiques, avec a^1a^1 sur $p = 116°50'$, *négatifs*, avec $B = 115$, $N = 2$. Densité = 4,67. Clivages nets a^1, assez nets m, moins nets p.

La pseudoboléite n'est observée qu'en groupements parallèles avec les cristaux de boléite, dont elle recouvre les faces du cube en laissant des angles rentrants caractéristiques sur les arêtes. Uniaxes *négatifs* avec $B = 30$. Densité : 4,85.

La couleur de ces cristaux est bleu indigo avec éclat perlé sur les clivages. Dureté : 3 environ.

En tube fermé, donnent de l'eau. Colorent la flamme en vert avec bordure bleue. Réactions du cuivre, du plomb et du chlore.

---

[1] Trouvée d'abord à Mathlock (Derbyshire).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Solubles dans l'ammoniaque et le carbonate ammonique avec dépôt de carbonate de plomb.

Ces minéraux (1) ont été trouvés dans divers gisements métallifères du Mexique et d'Australie.

Car. dist. — La forme et la couleur.

Atacamite

Formule : $CuCl^2.3Cu(OH)^2$.

Cl : 16,6 Cu : 14,9 CuO : 55,8 H^2O : 12,7

Orthorhombique : $mm = 66°57'$ $e^1e^1_{sur\ p} : 73°51'$ $e^1b^{\frac{1}{2}} = 42°15$.

Les cristaux sont allongés verticalement, à faces verticales striées. Clivage g^1 parfait.

Dureté : 3 à 3,5. Densité : 3,76.

Le plan des axes optiques est h^1 ; les lames de clivage g^1 montrent la bissectrice aiguë *négative*, avec dispersion sensible :

$\gamma = 1{,}880$ $\beta = 1{,}861$ $\alpha = 1{,}831$

$\rho < v$ $2H = 94°$ $B = 49$

Verte ; éclat vitreux. Transparente ou translucide en lames minces.

Dans le tube, donne de l'eau et un sublimé gris. Sur le charbon, colore la flamme en bleu d'azur, donne un enduit brun et un enduit vert (qui, au feu réducteur, se volatilisent en colorant la flamme en bleu) et laisse un globule de cuivre. Soluble dans les acides et dans l'ammoniaque.

L'atacamite (2) résulte de la décomposition de sulfures cuivreux.

Car. dist. — Les propriétés optiques des lames de clivage et la couleur communiquée à la flamme suffisent à distinguer l'atacamite de la brochantite ; de plus, la malachite est soluble avec effervescence dans les acides et la brochantite montre les réactions de l'acide sulfurique au lieu de celles du chlore (voir brochantite).

Carnallite

Formule : $KCl.MgCl^2.6H^2O$; la carnallite est mélangée à des chlorures et sulfates de soude, de chaux, de fer et à des matières organiques.

(1) La boléite a été trouvée d'abord à Boléo (Californie) ; la cumengéite est dédiée au chimiste français Cumenge.

(2) Trouvée d'abord dans l'Atacama.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Orthorhombique. Masses granulaires ou compactes.

Dureté : 1. Cassure conchoïdale. Densité : 1,6. *Positive.* $n = 1{,}474$ $B = 29$.

Blanc rougeâtre. Transparente ou translucide. Très phosphorescente. Saveur amère. Déliquescente.

Fond aisément. Soluble dans l'eau.

La carnallite [1] se trouve surtout à Stassfurt, où elle forme des couches surmontant le sel gemme. Exploitée comme matière première pour l'industrie de la potasse et d'engrais minéraux. On retire principalement de Stassfurt le sel gemme, la carnallite, la kiesérite, la kaïnite et la stassfurtite. En Alsace et en Catalogne, on a découvert des dépôts analogues formés surtout de *sylvinite.* Tous ces dépôts proviennent d'une évaporation, dans des conditions spéciales, de bassins marins.

Connellite

C'est un chloro-sulfate basique de cuivre, de composition :

$$2CuCl^2.\ CuSO^4.15Cu(OH)^2.4H^2O.$$

Hexagonale. Cristaux aciculaires, allongés verticalement, parfois terminés par le dihexaèdre b^1.

Dureté : 3. Densité : 3,36.

Optiquement *positive* :

$$\varepsilon = 1{,}746 \qquad \omega = 1{,}724 \qquad B = 22$$

Couleur bleue.

Fusible en globule noir et colorant la flamme en vert. Aisément soluble dans les acides et donne les réactions de l'acide sulfurique.

Buttgenbachite

C'est un chloro-nitrate basique de cuivre, de composition : $2CuCl^2.Cu(NO^3)^2.15Cu(OH)^2.4H^2O$.

Optiquement *négative* :

$$\omega = 1{,}765 \qquad \varepsilon = 1{,}75 \qquad B = 15$$

Couleur bleue. Densité : 3,33.

Se trouve au Katanga où, avec de l'argent natif, elle se montre sur la cuprite en faisceaux finement aciculaires.

---

(1) Dédiée à l'ingénieur des mines allemand von Carnall.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

III. — CARBONATES

Presque tous ces minéraux sont le résultat d'actions hydrothermales. Leur dureté varie entre 2 et 5 ; leur densité est généralement voisine de 3 et ne s'élève à 4 et à 6 que pour quelques-uns d'entre eux renfermant du cuivre ou du plomb.

Tous les carbonates sont décomposés par les acides, même dilués, en dégageant de l'acide carbonique qui trouble l'eau de chaux.

A. — CARBONATES ANHYDRES

Parmi les minéraux constituant ce groupe, on peut distinguer deux groupes.

Le premier constitue une série isomorphe, rhomboédrique.

Noms	Formules	*pp*	Dr.	Ds	B	*B(p)*
Calcite	$CaCO^3$	74°55′	3	2,71	172	92
Dolomite	$CaMg(CO^3)^2$	73°45′	3,5 à 4	2,87	185	97
Ankérite	$(Ca,Mg,Fe,Mn)CO^c$	73°48′	3,5 à 4	3		
Giobertite	$MgCO^3$	72°30′	3,5 à 4,5	3,06	191	98
Mésitite	$2MgCO^3.FeCO^3$	72°46′	3,5 à 4	3,40		
Sidérite	$FeCO^3$	73°	3,5 à 4,5	3,85	242	128
Diallogite	$MnCO^3$	73°	3,5 à 4,5	3,60	220	114
Smithsonite	$ZnCO^3$	72°20′	5	4,37	200	102

Le deuxième groupe est orthorhombique :

Noms	Formules	*a*	*c*	Dr.	Ds	B
Aragonite	$CaCO^3$	0,6216	0,7204	3,5 à 4	2,94	156
Withérite	$BaCO^3$	0,6032	0,7203	3 à 3,5	4,3	148
Strontianite	$SrCO^3$	0,6090	0,7239	3,5 à 4	3,7	151
Cérusite	$PbCO^3$	0,6010	0,7230	3 à 3,5	6,57	274
Ctypéite	$CaCO^3$	—	—	—	2,75	20

Calcite

La formule $CaCO^3$ correspond à 56% de chaux CaO ; le magnésium et le fer sont fréquents, ainsi que de nombreuses impuretés.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La calcite se mélange aussi à des carbonates de baryum, de fer, de manganèse, de plomb, etc.

Rhomboédrique :

$$pp = 74°55' \qquad a^1p = 44°36'34''.$$

Le clivage p est parfait.

Le nombre de formes dérivées, ainsi que des combinaisons de formes, que présentent les cristaux de calcite, est considérable ; il en résulte que le facies des cristaux est très varié et qu'il est même difficile d'y établir un classement convenable, une forme prédominante dans certains cristaux étant souvent secondaire dans d'autres. Nous nous bornerons à renseigner les formes les plus communes et à donner quelques exemples de combinaisons usuelles.

Le rhomboèdre primitif p (fig. 420), quoiqu'il puisse être très facilement obtenu par clivage, est, naturellement, assez rare et ses faces sont alors ternes et peu miroitantes. Les faces de clivage sont, au contraire, très brillantes.

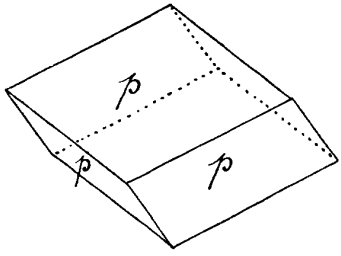


Fig. 420.

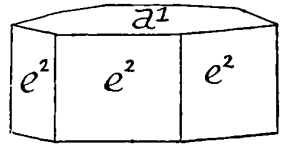


Fig. 421.

La base a^1 est assez fréquente ; on la trouve en combinaison avec e^2 (fig. 421), la symétrie rhomboédrique se décelant par la présence de trois clivages sur trois des arêtes supérieures et sur les trois arêtes alternantes inférieures. Le développement a^1e^1 (fig. 422) donne assez bien l'aspect d'un octaèdre régulier ; d'ailleurs le clivage p, en zone entre deux faces e^1 supérieures, est différemment incliné sur a^1 et sur e^1 inférieure.

Le rhomboèdre inverse b^1 est très fréquent ; rappelons (fig. 95) que le clivage p coupe ses faces suivant leurs lignes de pente ;

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

les faces b^1 sont presque toujours striées suivant ces lignes, comme le montre la figure 423 qui représente la combinaison b^1e^2, très commune. D'autres rhomboèdres inverses, comme $e^{\frac{1}{2}}$,

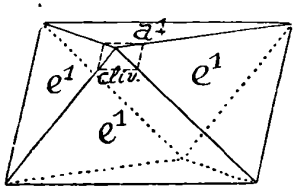


Fig. 422.

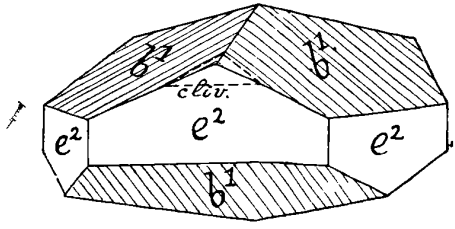


Fig. 423.

se rencontrent aussi ; la figure 424 représente notamment une combinaïson de deux rhomboèdres trouvés à Engis, en gros cristaux, sur de la blende stalactitique.

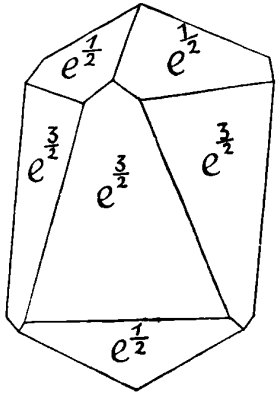


Fig. 424.

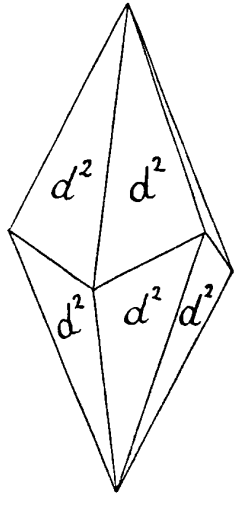


Fig. 425.

L'une des formes les plus communes de la calcite est celle du scalénoèdre d^2 (fig. 425) : l'angle plan le plus obtus d'une de ses faces est égal à l'angle plan du rhomboèdre et son arête culminante la plus courte a un angle égal à celui des deux faces du primitif p (1). On retrouve d^2 soit en cristaux isolés (appelés souvent

(1) Ceci n'est qu'approximatif : on devrait avoir $\frac{3}{4}\frac{a^2}{c^2} = 1$, alors que cette quantité est égale, dans la calcite, à 1,02764.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

dents de chien), soit combiné à d'autres formes, comme dans la figure 426 où il est joint à b^1 et e^2 ; la figure 427 le montre surmonté

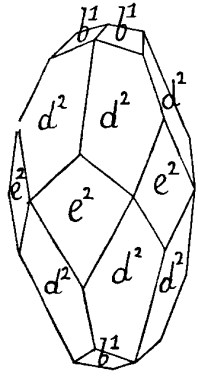


Fig. 426.

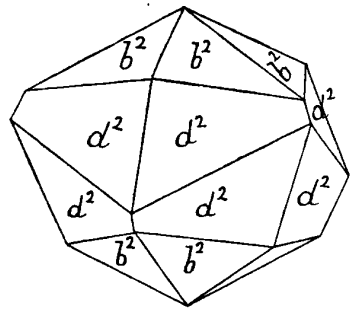


Fig. 427.

de l'isoscéloèdre b^2 ; la figure 428 représente un cristal de Kisantu (Congo) et la figure 429, où γ désigne le scalénoèdre $b^{\frac{1}{2}}d^1d^{\frac{1}{3}}$, représente un cristal de Denée (Belgique).

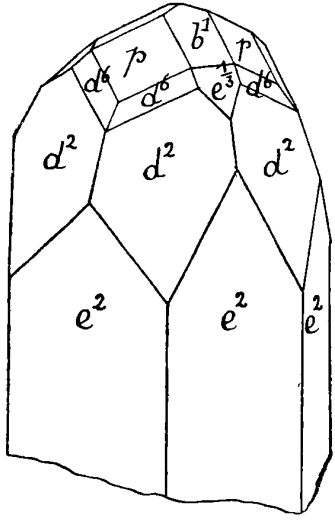


Fig. 428.

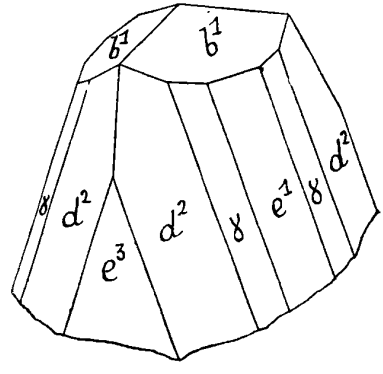


Fig. 429.

L'isoscéoèdre $\mathbf{L} = b^{\frac{1}{7}}d^1d^{\frac{1}{9}}$ (fig. 430) a été trouvé en abondance à Rhisnes, soit seul, soit dans des combinaisons très variées ; il

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

a été retrouvé à Villers-en-Fagne dans des combinaisons dont la figure 431 donne un exemple.

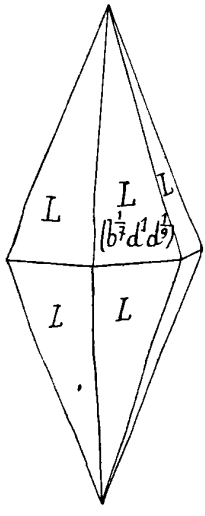


Fig. 430.

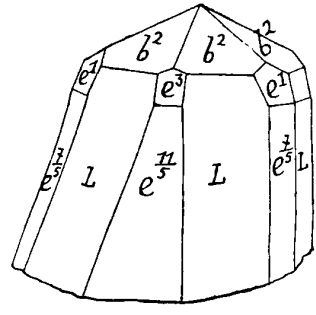


Fig. 431.

Il existe dans la calcite, quatre sortes de macles :

1) macle a^1, caractérisée par ce fait que les clivages (fig. 432) se font symétriquement de part et d'autre du plan horizontal. Le scalénoèdre d^2 montre assez souvent cette macle (fig. 432). Les

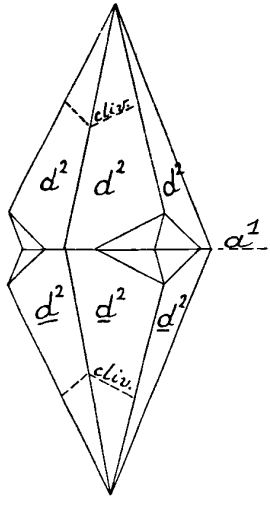


Fig. 432.

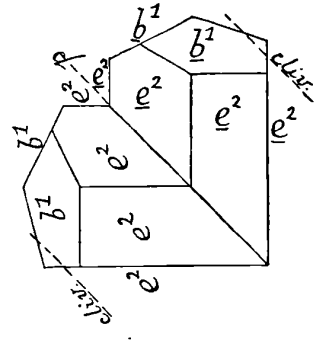


Fig. 433.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

deux axes ternaires des cristaux groupés sont parallèles ; les deux clivages p symétriques font un angle de 90°47′.

2) macle p, caractérisée par ce fait que l'un des clivages est commun aux deux cristaux (fig. 433). Les axes des deux cristaux font un angle de 89°13′.

3) macle b^1 ; la figure 434 montre cette macle sur deux cristaux d^2b^1 ; souvent le développement de chaque individu est anormal il y a un allongement parallèle au plan de macle, comme sur le groupement de la figure 435, commun à Denée. L'angle des axes

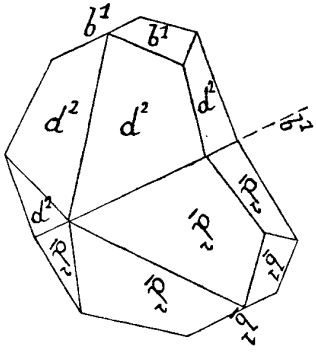


Fig. 434.

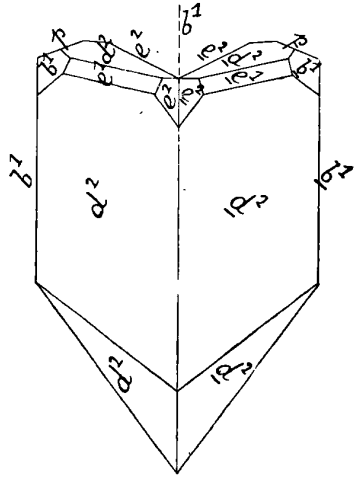


Fig. 435.

des deux cristaux est de 52°30′½ et l'angle de deux clivages symétriques est de 38°16′. C'est cette macle que l'on produit artificiellement (**289**) et que l'on rencontre aussi dans de nombreux cristaux en lamelles polysynthétiques.

4) macle e^1, caractérisée par un angle des deux clivages égal à 35°28′ et par un angle des axes de 53°45′. La figure 436 représente un groupement de ce genre provenant de Landelies ; on y voit la forme scalénoédrique $D = b^{\frac{1}{11}}d^1d^{\frac{1}{7}}$.

Les groupements à axes parallèles sont communs et les cristaux de formes différentes, groupés entre eux ont été mentionnés précédemment (**109**).

La calcite forme aussi des masses clivables, bacillaires, fibreuses, stalactitiques. Le *spath d'Islande* est une calcite clivable, très pure et très transparente, trouvée dans des cavités d'une dolérite. Les

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

calcites fibreuses sont allongées parallèlement, soit à l'axe ternaire, soit à une arête du rhomboèdre *p*. Les *stalactites* se rencontrent dans les grottes, les tunnels, sous les ponts en matériaux calcaires et elles se forment par évaporation d'eau chargée de bicarbonate calcique ($CaH^2C^2O^6$) et suintant par les fentes, les crevasses, etc. ; elles se réunissent souvent aux *stalagmites* formées par évaporation des gouttes d'eau tombant sur le sol ; ces formations bacillaires sont parfois creuses et peuvent prendre des formes très variées. Le *grès cristallisé de Fontainebleau* est une calcite trouvée dans des sables tertiaires, de forme e^1, et englobant poecilitiquement (**361**) des grains de quartz ; la proportion de SiO^2 peut monter à 83 %₀ par suite de la disparition du carbonate.

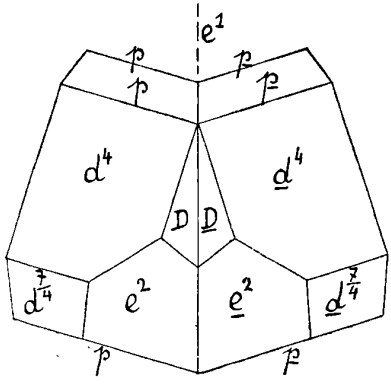


Fig. 436.

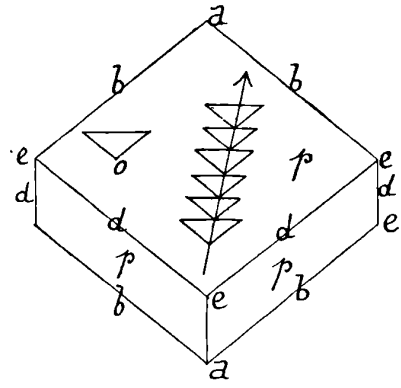


Fig. 437.

Dureté : 3. Lorsqu'on raye une lame de clivage, en remontant de l'angle *e* vers l'angle *a* (fig. 437), il se produit une série de triangles isocèles dont les côtés sont parallèles aux arêtes *d* du rhomboèdre. La même figure se forme par percussion en un point *O*.

Les plans b^1 sont des plans de facile dissolution ; aussi les cristaux de calcite portent-ils souvent des faces naturelles de corrosion parallèles à b^1 et qui pénètrent le cristal sous forme de plans de séparation remplis ou non de matière argileuse.

Densité : 2,714.

La calcite est uniaxe, *négative* et fortement biréfringente :

$$\omega = 1{,}65837 \quad \varepsilon = 1{,}48645 \quad B = 172 \quad B(p) = 92$$

Les cristaux très aplatis suivant a^1 montrent la croix noire entourée de nombreux cercles d'égal retard ; les lames de clivage *p*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

montrent en lumière convergente l'apparence optique de la figure 197*a*. C'est la forte biréfringence de la calcite qui permet de voir le dédoublement d'une image au travers d'un cristal de spath.

Le spath est incolore et transparent. La calcite est souvent incolore ou blanche, mais elle peut prendre les couleurs les plus variées et notamment quand elle renferme des inclusions d'oxydes métalliques. L'éclat est vitreux, un peu perlé ; brillant sur *p*.

La calcite acquiert l'électricité positive par simple pression entre les doigts et la conserve très longtemps.

Dans le tube fermé, décrépite et blanchit ; se colore en rouge ou en noir, s'il y a du fer ou du manganèse. Infusible. Soluble à froid et avec effervescence dans les acides les plus dilués. La calcite en poudre, traitée à froid par le réactif de Leitmeier-Feigl (1) devient gris clair après 10 à 15 minutes ; la teinte fonce ensuite lentement et devient noire après environ deux heures. La poudre de calcite, chauffée pendant quelques minutes dans une solution étendue de nitrate de cobalt, prend une coloration bleue claire (*réaction de Meigen*). Placée dans une solution au 1/10 de perchlorure de fer, la calcite réagit vivement et se recouvre d'une couche brune d'hydrate ferrique (*réaction de Lemberg*).

La calcite cristallise de solutions acides, tandis que l'aragonite se dépose lorsque les solutions sont alcalines.

La calcite est l'un des minéraux les plus abondants. On la trouve comme élément accidentel des roches éruptives, le plus souvent basiques. Elle est un des minéraux de remplissage des fentes et des filons traversant les roches les plus diverses ; elle constitue, en totalité ou en partie, les roches *calcaires* si fréquentes dans les assises sédimentaires. L'*albâtre* des anciens, qui servait à la confection d'objets d'ornement, est un calcaire blanc saccharoïde. De nombreux débris organiques sont constitués par de la calcite, qui souvent y prend une structure cristalline régulière. La *craie* est un calcaire terreux constitué par des débris organiques microscopiques. Les *lumachelles* sont des calcaires très riches en coquilles de mollusques (2).

En Belgique, de beaux cristaux de calcite, très riches en formes,

---

(1) Ce réactif se prépare comme suit : dissoudre 11,8 gr. de $MnSO^4.7H^2O$ dans 100 cm. cubes d'eau ; ajouter Ag^2SO^4 solide ; faire bouillir. Filtrer après refroidissement ; ajouter une ou deux gouttes de solution diluée de soude ; après une ou deux heures, filtrer. Conserver à l'abri de la lumière.

(2) Les coquilles des œufs d'oiseau sont constituées par la calcite grenue, tandis que celles des œufs de reptile sont formées d'aragonite sphérolithique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

ont été trouvés à Rhisnes, à Engis, à Chokier, à Villers-en-Fagne, à Landelies, etc. ; les calcaires forment des dépôts très importants et exploités : pour *pierres de construction* dans le dévonien des vallées de l'Ourthe et de la Vesdre ; dans le carbonifère (*petit granit*) : à Soignies, aux Ecaussines,à Comblain-au-Pont ; dans le tertiaire, à Gobertange ; pour *pierre à chaux*, dans le dévonien : à Rhisnes, Forrières ; dans le carbonifère : à Chokier, Visé, Tournai ; des *marbres* de teintes très diverses sont extraits des carrières de Malplaquet, Autreppe, Forrière, Golzinnes, Mazy (marbre noir).

Car. dist. — La dureté, la forme du solide de clivage et la facile attaquabilité par les acides *à froid* suffisent à caractériser les cristaux de calcite ; en lame mince, la forte biréfringence, le signe optique, les traces de clivage, le relief sont distinctifs.

La réaction de Meigen distingue la calcite de l'aragonite ; la réaction de Lemberg et la dureté la distinguent de la dolomite.

En comparant les indices des lames de clivage p, déduits des valeurs ω et $B(p)$, aux indices de l'iodure de méthylène (1,74), de la naphtaline monobromée (1,66) ou du bromoforme (1,64), on pourra souvent distinguer un carbonate rhomboédrique des autres (Voir le tableau de la p. 495).

Dolomite

Dans les cristaux isolés, la composition peut être celle déduite de la formule $CaMg(CO^3)^2$, mais il existe des variétés correspondant à des mélanges isomorphes de dolomite pure et de calcite ; il se trouve souvent aussi du fer et du manganèse (*ankérite*).

Rhomboédrique :

$$pp = 73°45' \qquad a^1p = 43°52'.$$

Clivage p parfait.

Certains cristaux montrent la parahémiédrie.

Le rhomboèdre primitif p est très commun ; il est souvent constitué par une agglomération irrégulière de petits rhomboèdres qui donnent à l'ensemble une forme de selle. D'autres rhomboèdres se rencontrent aussi. La base a^1 n'est pas rare, non plus que la macle a^1 (fig. 438).

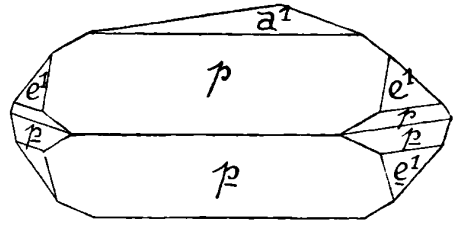


Fig. 438.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Très souvent en masses grenues, compactes, constituant les roches appelées *dolomies*.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 2,85.

Uniaxe et *négative* :

$$\omega = 1{,}695 \qquad \varepsilon = 1{,}510 \qquad B = 185 \qquad B(p) = 97$$

La biréfringence est donc encore plus forte que celle de la calcite ; elle augmente avec la teneur en fer.

Incolore, blanche, grise, rose.

Peu attaquée à froid par les acides, mais vivement attaquée à chaud. Inattaquée par une solution au 1/10 de perchlorure de fer (*réaction de Lemberg*).

La dolomite [1] est l'élément principal des dolomies, où elle est fréquemment associée de calcite ; ce dernier minéral étant plus soluble que la dolomite, la roche devient caverneuse. La dolomite s'isole, en cristaux, dans les fentes de schistes et d'argiles et dans les filons métallifères.

L'*ankérite* a une composition intermédiaire entre celles de la calcite, de la dolomite et de la sidérite ; blanche, grise ou rouge, à éclat vitreux ou nacré, souvent en rhomboèdres *p*, elle offre aussi des masses cristallines ou compactes.

Car. dist. — Le peu d'attaquabilité par les acides à *froid*, la forme en selle des rhomboèdres, la dureté plus grande que celle de la calcite, la réaction de Lemberg permettent de distinguer la dolomite des autres carbonates.

Giobertite (*Magnésite*)

Formule : $MgCO^3$, souvent ferrifère.

Système rhomboédrique. $pp = 72°36'$. Cristaux rares. Ordinairement en masses granulaires ou compactes.

Dureté : 4. Densité : 3 à 3,3.

Blanc jaunâtre, brune (*breunérite* avec 5 à 10 % de fer). Eclat vitreux.

Négative :

$$\omega = 1{,}700 \qquad \varepsilon = 1{,}509 \qquad B = 191 \qquad B(p) = 98$$

Beaucoup plus lentement attaquée à chaud que les autres carbonates rhomboédriques.

Se trouve dans les roches magnésiennes et dans les chloritoschistes ; aussi dans les couches salifères et gypsifères.

[1] Dédiée au savant français Dolomieu.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Sidérite

La formule $FeCO^3$ donne :

FeO : 62,1 $\qquad\qquad$ $CO^2 = 37,9$

Rhomboédrique : $pp = 73°$.
En rhomboèdres primitifs.
Clivage p parfait.
Dureté : 3,5 à 4. Densité : 3,9.
Uniaxe et *négative*.

$\omega = 1,875 \qquad \varepsilon = 1,633 \qquad B = 242 \qquad B(p) = 128$

Grise, jaune, brune. Poussière blanche.

Dans le tube, décrépite, noircit et devient magnétique. Soluble avec effervescence à chaud dans les acides.

Se transforme aisément en limonite.

La sidérite [1] se trouve dans les gisements métallifères. Elle forme fréquemment des nodules (*sphérosidérite*), parfois volumineux, dans les assises sédimentaires.

Car. dist. — La forme et les propriétés chimiques.

Diallogite (*Rhodocrosite*)

Formule : $MnCO^3$, avec parfois beaucoup de fer et de chaux.

Syst. rhomboédrique : $pp = 73°$.

Cristaux rares, ordinairement rhomboédriques. Masses clivables, grenues et compactes ; concrétions.

Dureté : 4. Densité : 3,53.

Rouge brun ou rose. Poussière blanche. Fragile. Eclat vitreux.

Négative :

$\omega = 1,817 \qquad \varepsilon = 1,597 \qquad B = 220 \qquad B(p) = 114$

Avec le sel de phosphore ou le borax, donne une perle incolore devenant violette au feu réducteur. Masse verte avec la soude.

Dans les filons métallifères.

Car. dist. — Les caractères chimiques.

Smithsonite

La formule $ZnCO^3$ donne :

ZnO : 64,8 ($Zn = 52$) $\qquad\qquad$ $CO^3 = 35,2$

(1) Du grec « sideron », fer.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Peut contenir du fer, du manganèse, du cobalt, du magnésium et plus rarement du cadmium, du cuivre, de l'indium.

Rhomboédrique :

Clivage p parfait.

La smithsonite [1] en cristaux a la forme de petits rhomboèdres p. Le plus souvent elle forme des masses stalactitiques, réniformes, botryoïdales.

Dureté : 5. Densité : 4,4.

Uniaxe et *négative* :

$$\omega = 1{,}818 \qquad \varepsilon = 1{,}618 \qquad B = 200 \qquad B(p) = 102$$

Blanche, grise, jaune, rouge, brune, verte, bleue, la smithsonite est fréquemment associée à la *calamine* et les mineurs emploient le terme calamine pour désigner aussi bien le carbonate que le silicate de zinc qui, en masses, ne peuvent guère se distinguer que par un essai chimique (effervescence de la smithsonite dans les acides à chaud).

Infusible. Chauffée avec le nitrate de cobalt, donne une masse verte. Sur le charbon, enduits de ZnO. Soluble avec effervescence à chaud dans les acides ; la solution, traitée par l'ammoniaque, donne un précipité soluble dans un excès du réactif, insoluble dans le sulfure ammonique.

La smithsonite est le meilleur minerai de zinc. On a l'exploitée en Belgique dans de nombreux gîtes en amas, notamment à Engis, à Moresnet, à Welkenraedt.

Car. dist. — La forme, la densité et les caractères chimiques. Voit *hydrozincite*.

Aragonite

L'aragonite a la même composition que la calcite ; elle contient parfois du strontium.

Orthorhombique : $mm = 63°48'$, $g^1e^1 = 54°14'$, $mb^{\frac{1}{2}} = 26°58'$.

Les cristaux simples ont la forme $mg^1e^1e^2$ (fig. 439) ou un facies analogue ; fréquemment, les faces m sont remplacées par des faces $b^{\frac{1}{m}}$ et les faces g^1 par des $e^{\frac{1}{m}}$ à peu près verticales, ce qui donne au cristal (fig. 440) une forme aciculaire. Mais les cristaux simples sont très rares ; la macle avec m pour plan de macle se manifeste par un groupement simple de deux cristaux (fig. 441), ou par des

[1] Dédiée à l'américain Smithson, fondateur de l'Institut de Washington.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

lamelles maclées qui traversent le cristal (fig. 442), ou par des groupements complexes de plusieurs individus conduisant à des prismes pseudohexagonaux dont les figures 139 et 242 donnent des exemples de la structure souvent compliquée.

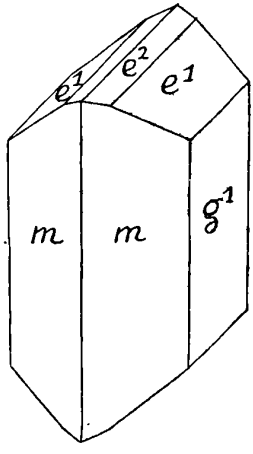


Fig. 439.

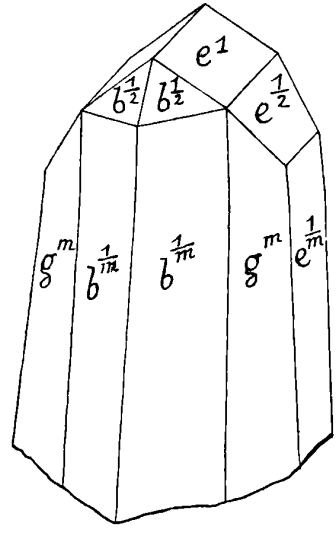


Fig. 440.

L'aragonite (1) se rencontre aussi en masses fibreuses, oolithiques ou en agrégats coralloïdes souvent très élégants (*flosferri*).

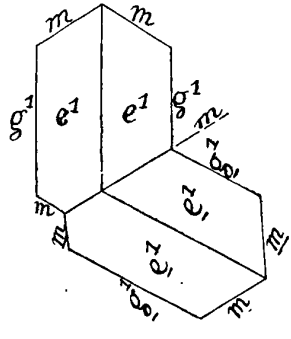


Fig. 441.

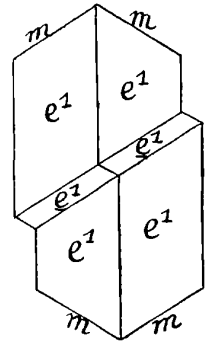


Fig. 442.

Le clivage g^1 est interrompu mais assez net. Cassure conchoïdale. Dureté : 3,5 à 4. Densité : 2,94.

(1) Trouvée d'abord dans la province d'Aragon.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le plan des axes optiques (fig. 443) est parallèle à h^1 et la bissectrice aiguë, *négative*, est normale à p.

$$\gamma = 1{,}68589 \qquad \beta = 1{,}68157 \qquad \alpha = 1{,}53013$$

$$2V = 17°50' \qquad 2E = 30°14'.$$

$$B = 156 \qquad B(p) = 4{,}3 \qquad B(m) = 155 \qquad B(g^1) = 151{,}5$$

L'aragonite est l'un des minéraux pour lesquels les indices et l'angle 2V gardent les valeurs les plus constantes ; comme l'angle 2E est peu élevé, on se sert avec avantage d'une lame p pour la mesure, par comparaison, de l'angle des axes d'autres minéraux.

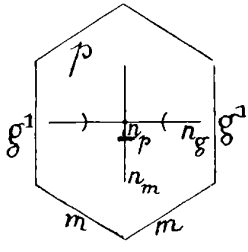


Fig. 443.

Incolore, blanche, jaune, brune, violacée ; transparente, translucide ou opaque. Poussière grisâtre. Transparente en lame mince. Eclat vitreux, résineux dans la cassure.

Dans le tube, chauffée au rouge, décrépite, blanchit et se transforme en calcite ; les variétés fibreuses deviennent friables.

Soluble avec effervescence, mais moins rapidement que la calcite dans les acides dilués. Chauffée dans une solution étendue de nitrate de cobalt, l'aragonite en poudre prend une coloration lilas (réaction de Meigen). Traitée par le réactif de Leitmeier, l'aragonite en poudre noircit en cinq minutes.

Se transforme aisément en calcite, tandis que la calcite se transforme rarement en aragonite.

L'aragonite résulte de dépôts effectués par voie aqueuse, ordinairement de solutions alcalines. On la trouve accidentellement dans les couches sédimentaires, spécialement dans les formations gypsifères, salifères et argileuses ; on la rencontre dans les roches calcaires, dans les filons métallifères et, rarement, dans les roches éruptives. Elle constitue le test et le squelette de beaucoup d'animaux, ainsi que la matière des perles fines.

En Belgique, de beaux cristaux analogues à celui de la figure 440, ont été trouvés dans les cavités de psammites dévoniens à Chaudfontaine, ainsi que, en enduits cristallins fibroradiés, sur des roches diverses.

Car. dist. — La forme des cristaux et les macles. Le réactif de Leitmeier ou la réaction de Meigen permettent de distinguer l'aragonite compacte de la calcite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Withérite

La formule $BaCO^3$ correspond à :

BaO : 77,7 $\qquad\qquad$ CO^2 : 22,3.

Les cristaux sont assez rares et leur forme est celle de la cérusite.
Orthorhombique : $mm = 62°12'$.
Masses bacillaires ou botryoïdales.
Dureté : 3,5. Densité : 4,3.

La withérite (1) est blanche, jaune, grise. Eclat vitreux prononcé. Poussière blanche.

Négative : $n = 1{,}627$. — $B = 148$. — $2e = 26°30'$.

Sur le charbon, avec la soude, fond et est absorbée. Facilement fusible. Humectée d'acide chlorhydrique, colore la flamme en vert livide. Soluble avec effervescence dans l'acide chlorhydrique dilué ; dans l'acide chlorhydrique concentré, il se produit un dépôt de $BaCl^2$. La solution précipite en blanc par l'acide sulfurique.

Employée dans l'industrie chimique et dans la manufacture des poteries, la withérite a été exploitée dans des gisements filoniens.

Car. dist. — L'éclat, la densité, la fusibilité, la coloration de la flamme et les essais chimiques.

Strontianite

La formule $SrCO^3$ correspond à :

SrO : 70,1 $\qquad\qquad$ CO^2 : 29,9.

Orthorhombique : $mm = 62°42'$.
Les cristaux sont rares. Masses bacillaires ou aciculaires.
Dureté : 3,5 à 4. Densité : 3,7.
Incolore, blanche, verte. Poussière blanche. Eclat vitreux.

Négative : $n = 1{,}615$. — $B = 151$. — $2e = 10°36'$.

Au chalumeau, gonfle, devient incandescente et, surtout après avoir été humectée d'acide chlorhydrique, colore la flamme en rouge pourpre. Soluble dans les acides avec effervescence ; la solution précipite en blanc par l'acide sulfurique.

Employée dans l'industrie chimique et en pyrotechnie, la strontianite se trouve dans des filons métallifères.

(1) Dédiée à Withering qui l'a découverte.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Cérusite

La formule $PbCO^3$ correspond à :

PbO : 83,5 (Pb : 72,3) CO^2 : 16,5.

La cérusite renferme souvent du zinc, ainsi que de l'argent à l'état de sulfure (*plomb noir*).

Orthorhombique :

$mm = 62°46'$ $mg^1 = 58°36'$ $mg^{\frac{1}{2}} = 35°46'$ $g^1e^{\frac{1}{2}} = 34°40'$.

Les cristaux simples ont souvent la forme, plus ou moins surchargée de facettes, de la figure 444 ; par suite des valeurs des angles mm et mg^1 proches de 60° et de la presque égalité des angles $mb^{\frac{1}{2}}$ et $g^1e^{\frac{1}{2}}$, ces cristaux ont une apprence hexagonale. Les cristaux peuvent être aussi aplatis suivant g^1 et allongés parallèlement à l'arête pg^1, comme dans les cristaux du Rocheux (fig. 445).

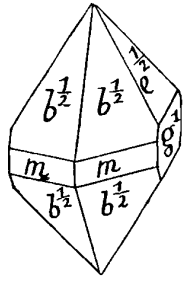


Fig. 444.

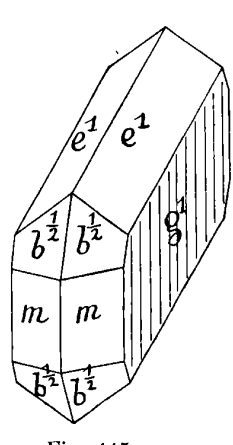


Fig. 445.

Les macles sont analogues à celles de l'aragonite ; le plan de macle est cependant ou m, ou g^2 qui est presque perpendiculaire à m ($m_{dr.}\ g^2_{gauche} = 87°16'$). La figure 446 représente un groupement simple de deux cristaux provenant de Longwilly ; la figure 447 représente une macle étoilée de trois individus, qui est très commune ; enfin la figure 448 représente une macle g^2 avec faces p rares (Tunisie) ; lorsque les faces p sont remplacées par une succession de e^m, ce groupement prend l'aspect de cornet.

Les faces g^1 sont striées verticalement ou horizontalement ; les faces p sont striées parallèlement à g^1.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Clivages : m et $e^{\frac{1}{2}}$ assez distincts.
La cérusite offre fréquemment des masses bacillaires.
Dureté : 3 à 3,5. Très fragile. Densité : 6,5.

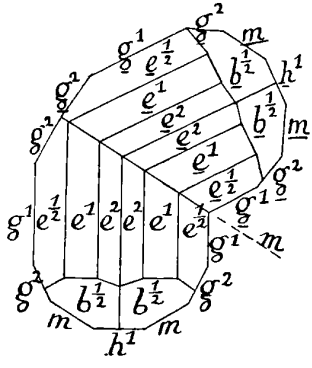


Fig. 446.

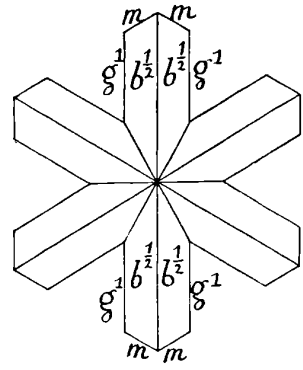


Fig. 447.

Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 ; la bissectrice, *négative*, est perpendiculaire à p :

$\gamma = 2{,}0780$ $\beta = 2{,}0763$ $\alpha = 1{,}8037$

$B = 274$ $B(p) = 2$ $B(h^1) = 272$

$2E = 16°54'$ $2V = 8°7'$.

Blanche, grise, noire. Poussière incolore. Eclat résineux très caractéristique.

Dans le tube, décrépite violemment, se dissocie, jaunit, puis, à haute température, devient rouge sombre pour redevenir jaune en refroidissant. Très facilement fusible sur le charbon en globule de plomb avec enduit jaune. Soluble avec effervescence dans l'acide nitrique étendu.

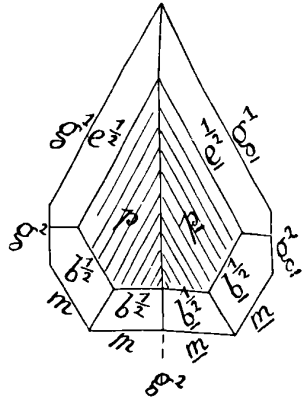


Fig. 448.

La cérusite accompagne presque toujours la galène dans les affleurements de ses filons. De beaux cristaux ont été trouvés en Belgique à Moresnet, à Longwilly, à Theux, à Villers-en-Fagne, etc.

Car. dist. — L'éclat, la densité, la forme des cristaux et les réactions chimiques sont caractéristiques (voir pyromorphite, leadhilite et phosgénite).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Ctypéite

Ce minéral a même composition que la calcite et l'aragonite, mais se présente toujours en pisolites, de couleur blanche ou jaunâtre ; optiquement *positif* ; la bissectrice aiguë est normale aux écailles concentriques ; $n = 1{,}605$. $B = 20$.

Densité : 2,58 à 2,80.

Chauffé dans le tube, se transforme au rouge naissant en calcite mais détone violemment. Colorée en lilas dans la réaction de Meigen.

La ctypéite est un produit de sources thermales bicarbonatées calciques : Carlsbad, Algérie, Madagascar. Les concentrés diamantifères du Kasaï renferment des pisolites quartzeux qui sont probablement des pseudomorphoses de ctypéite.

Car. dist. — L'action en tube fermé. Se distingue de l'aragonite par son signe optique et sa biréfringence.

Parisite

C'est un carbonate fluoré de chaux et de terres rares du groupe du cérium : $CaFl.CeFl.CeCO^3$.

Système hexagonal : $pb^{\frac{1}{2}} = 82°30'$.

Ordinairement en dihexaèdres aigus basés.

Clivage p parfait.

Dureté : 4,5. Densité : 4,358.

Brun jaunâtre ; poussière jaune blanchâtre.

Positive :

$$\varepsilon = 1{,}757 \qquad \omega = 1{,}676 \qquad B = 81$$

Infusible. Avec le sel de phosphore, en tube ouvert, dégage du fluor. Soluble avec effervescence dans l'acide chlorhydrique.

Se trouve dans le calcaire des mines d'émeraude de Muso ; en Norwège et au Massachusetts, dans des pegmatites.

Car. dist. — La forme, le clivage, les caractères optiques.

Phosgénite

La phosgénite a pour formule $PbCO^3 + PbCl^2$; elle comprend 49% de carbonate de plomb.

Quadratique : $pa^1 = 56°58'$; $pb^{\frac{1}{2}} = 65°19'$.

Ses cristaux ont souvent la forme *pm*, mais ils sont parfois

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

aussi chargés de facettes (fig. 449). Les faces verticales sont striées verticalement.

Clivages : p parfait ; m, h^1 indistincts.

Dureté : 2,5 à 3 ; un peu sectile. Densité : 6 à 6,3.

Uniaxe et *positive* :

$$\varepsilon = 2{,}140 \qquad \omega = 2{,}114 \qquad B = 26.$$

On peut aisément reconnaître l'uniaxie et le signe à l'aide de lamelles basiques de clivage.

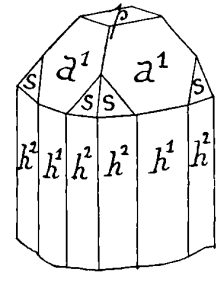


Fig. 449.

Incolore, blanche, grise, brune. Poussière blanche. Translucide. Eclat adamantin.

Au chalumeau, fond facilement en un globule jaune qui blanchit et cristallise, en refroidissant, en aiguilles enchevêtrées. Sur le charbon, fond aisément en un globule incolore ; puis on obtient du plomb métallique en même temps qu'un enduit jaune suivi d'un enduit blanc volatilisable. Attaquée par l'eau. Soluble avec effervescence dans l'acide nitrique étendu.

La phosgénite est un des produits d'altération de la galène. Elle s'est formée également au Laurium (Grèce), par l'action de l'eau de la mer sur d'anciennes scories plombifères.

Car. dist. — Se distingue de la matlockite par son signe optique ; de la cérusite, de l'anglésite et de la pyromorphite par la forme de ses cristaux, par son clivage et par l'action du chalumeau.

B. — CARBONATES BASIQUES

Malachite

La formule de la malachite $CuCO^3 + Cu(OH)^2$ ou $CO^3(CuOH)^2$ répond à la composition suivante :

$$CuO : 71{,}9\ (Cu = 57{,}4) \qquad CO^2 : 9{,}9 \qquad H^2O : 8{,}2$$

Clinorhombique :

$$mm = 75°40' \qquad ph^1 = 61°50' \qquad pm = 68°7' \qquad h^1a^1 = 88°55'$$

Clivage p parfait ; g^1 imparfait.

Les cristaux sont, ou allongés verticalement, ou aplatis horizontalement. Les cristaux prismatiques sont souvent terminés par

la face a^1 (fig. 450), qui est à peu près horizontale : ils ressemblent donc à des prismes orthorhombiques, mais s'en distinguent aisément par la position du clivage p ; ils portent souvent les faces h^1 et g^1 et peuvent être terminés par des faces a^m diverses. Les cristaux aplatis sont habituellement terminés par des modifications obliques de l'angle a, comme le montre la figure 451 qui représente une forme commune au Katanga.

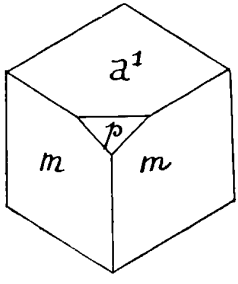


Fig. 450.

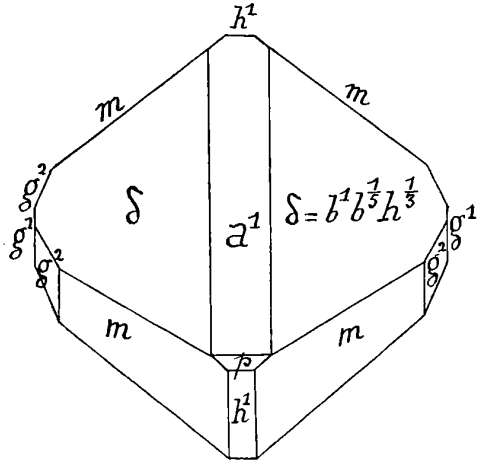


Fig. 451.

La macle h^1 est fréquente (fig. 452) ; le plan d'assemblage est souvent un plan horizontal voisin de a^1 (fig. 453), mais les faces h^1 des deux cristaux sont dans un même plan.

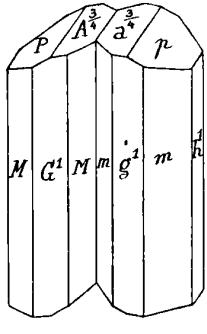


Fig. 452.

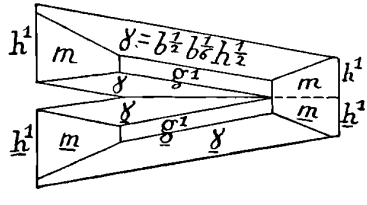


Fig. 453.

Les cristaux se groupent en rosettes,en houppes ; la malachite forme aussi des masses fibreuses, fibroradiées, concrétionnées, stalactitiques.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Cassure inégale.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 4.

Le plan des axes optiques (fig. 454) est parallèle à g^1 ; la bissectrice aiguë, *négative*, fait avec la verticale un angle de + 23°10′ et, par conséquent, un angle de 5° avec la normale à p.

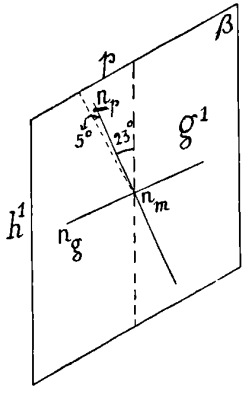


Fig. 454.

$\gamma = 1{,}909 \qquad \beta = 1{,}875 \qquad \alpha = 1{,}655$

$2V = 43°4' \qquad b = 200$

Il résulte de là qu'une lamelle de clivage p montre une bissectrice d'axes très écartés un peu oblique sur la lame ; on voit de nombreuses lemniscates d'égal retard, ce qui prouve que la biréfringence B est haute mais la biréfringence $B(p)$ faible : environ 18. Dispersion nette : $\rho < v$.

La malachite [1] est de couleur verte. Poussière vert pâle. Translucide ou opaque. En lame mince, transparente et nettement pléochroïque dans les teintes jaunâtres et verdâtres.

Dans le tube, noircit et donne de l'eau. Facilement fusible en colorant la flamme en vert émeraude. Sur le charbon, donne un globule de cuivre. Soluble dans les acides avec effervescence et donne une liqueur verte. Soluble dans l'ammoniaque.

La malachite est un produit d'oxydation de minéraux sulfurés cuprifères et se rencontre accidentellement dans les gisements sulfurés. Elle constitue aussi des dépôts importants par imprégnation des fissures, fentes, joints de schistes et grès ; c'est le cas des gîtes de cuivre du Katanga.

Exploitée comme minerai de cuivre, la malachite, en masses rubanées de teintes diverses, est aussi employée pour le revêtement d'objets d'ornements, colonnes, tables, vases, cheminées, etc.

C'est généralement de malachite qu'est formé le produit d'altération des objets en cuivre ou en bronze.

Car. dist. — La forme des cristaux, la couleur et les essais chimiques. (Voir brochantite et pseudomalachite).

---

[1] Du grec « malachos » mauve.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Azurite

La formule $2CuO^3 + Cu(OH)^2$ ou $Cu(CO^3)^2(CuOH)^2$ correspond à :

$CuO : 69,2$ $\quad CO^2 : 25,6$ $\quad H^2O : 5,2$

Clinorhombique :

$mm = 80°41'$ $\quad ph^1 = 87°36'$ $\quad pm = 88°10'$ $\quad pe^{\frac{1}{2}} = 60°21'30''$.

Les cristaux sont très riches en formes. La figure 455 montre l'un des facies habituels que viennent surcharger de nombreuses facettes ; ils sont aussi allongés parallèlement soit à ph^1 soit à pg^1. L'azurite se présente souvent en boules à cristaux enchevêtrés, en masses plus ou moins fibreuses, en enduits.

Clivage $e^{\frac{1}{2}}$ très net, h^1 et m difficiles.

Dureté : 3,5 à 4. Fragile. Densité : 3,8.

Le plan des axes optiques (fig. 456) est perpendiculaire à g^1 ; la bissectrice, *positive*, fait un angle de — 12°39′ avec la verticale et, par conséquent, de 15° avec la normale à p.

$\gamma = 1,838$ $\quad \beta = 1,758$ $\quad \alpha = 1,730$

$B = 108$ $\quad 2V = 63°$ $\quad 2E = 158°$ $\quad 2H = 82°5'$

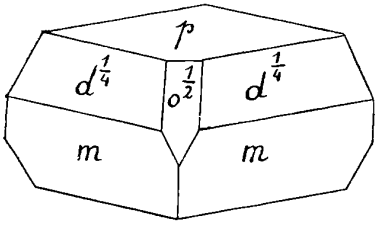


Fig. 455.

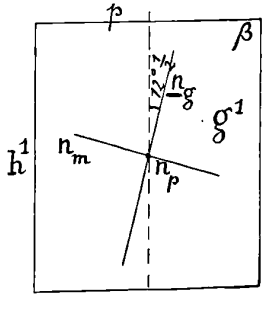


Fig. 456.

Bleue. Poussière bleue. Transparente en lame mince.

Mêmes caractères chimiques que la malachite.

L'azurite se transforme aisément en malachite et se trouve accidentellement dans les gisements cuprifères.

Car. dist. — Ne peut être confondue qu'avec la linarite, dont elle se distingue par le signe optique et par l'effervescence dans les acides, et avec la cornétite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Aurichalcite (*Buratite*)

On peut attribuer à ce minéral la formule $2(Zn,Cu)CO^3 + 3(Zn,Cu)(OH)^2$.

Orthorhombique, l'aurichalcite [1] constitue des lamelles micacées qui, examinées au microscope, se montrent bordées de facettes dissymétriques faisant avec p des angles divers : $52°(e^{\frac{3}{4}})$, $58°(e^1)$, $72° 1/2(e^{\frac{1}{2}})$, $81°(e^{\frac{1}{4}})$.

En plus du clivage micacé pris pour h^1, il y a un clivage g^1.

Dureté : 2. Densité : 3,54 à 3,64.

Le plan des axes optiques est parallèle au clivage h^1 ; l'allongement est de signe *positif* (n_g). La méthode Cesàro (**224**) permet très aisément de constater que le minéral est *négatif* ; $n = 1,74$; $B = 90$. Pléochroïsme très faible.

Verte. Transparente en lame mince. Eclat nacré sur le clivage g^1.

Dans le tube, noircit et donne de l'eau. Infusible mais colore la flamme en vert. Soluble avec effervescence dans les acides.

Se trouve accidentellement dans les filons de zinc, cuivre ou plomb.

Car. dist. — L'éclat nacré et les propriétés optiques des lamelles de clivage sont caractéristiques de ce carbonate.

Hydrozincite (*Zinconise*)

L'analyse de produits d'altérations de la blende jaune d'Espagne donne à ce minéral la formule $ZnCO^3 + Zn(OH)^2$. D'autres échantillons conduisent à : $ZnCO^3 + 2Zn(OH)^2$ et aussi à des proportions différentes.

Masses terreuses, concrétionnées, mamelonnées. Microcristalline.

Dureté : 2 à 2,5. Trace comme la craie.

Densité : 3,5 à 3,8.

Blanche, grise ou jaune. Aspect terreux.

Donne de l'eau dans le tube et offre les autres caractères chimiques de la smithsonite.

Se trouve accidentellement dans les mines de zinc mais parfois en masses exploitables.

Car. dist. — La densité, la présence de l'eau, l'effervescence dans les acides et les réactions du zinc.

---

[1] Le mot *aurichalcite* provient de mots employés par les latins pour désigner le meilleur bronze (cuivre et zinc). Le mot *Buratite* a été employé en souvenir de Burat qui a signalé ce minéral en Italie.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Thermonatrite

La formule $Na^2CO^3 + aq$ répond à la composition de ce minéral qui se présente en efflorescences mais que l'on obtient artificiellement en cristaux orthorhombiques.

Incolore, grise ou jaunâtre avec éclat vitreux, de dureté un peu supérieure à 1, de densité 1,55.

Saveur alcaline.

Ce minéral se forme principalement par l'efflorescence du *natron* (voir *trona*).

Trona

Ce minéral, de composition représentée par la formule :

$$3Na^2O.4CO^2.5H^2O \quad \text{ou} \quad Na^2CO^3.NaHCO^3 + 2aq,$$

est ordinairement associé à un peu de thermonatrite, à de la thénardite et à la halite.

Système clinorhombique :

$ph^1 = 77°23'$ $\quad pb^{\frac{1}{2}} = 75°53'$ $\quad b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}} = 47°35'$ sur g^1.

Les cristaux sont généralement allongés suivant l'axe binaire et parfois aplatis suivant p. Masses lamellaires.

Clivage h^1 parfait. Cassure inégale.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 2,125.

Incolore, blanc, gris, jaunâtre. Eclat vitreux.

La bissectrice aiguë négative (n_p) est normale à g^1 et la bissectrice obtuse (n_g) fait un angle de 7° environ avec la normale au clivage h^1. — $n = 1{,}507$. — $2V = 76°32'$.

Saveur alcaline. Dans le tube, dégage de l'eau et CO^2. Très fusible en colorant la flamme en jaune. Très soluble dans l'eau.

Le trona, comme la thermonatrite, est un produit d'évaporation des lacs de régions désertiques. Cette évaporation donne du *natron* ($Na^2CO^3 + 10\ aq$) qui, au-dessus de + 20° C., se transforme en trona.

Car. dist. — La solubilité dans l'eau, l'effervescence dans les acides, la saveur.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IV. — SILICATES

Nous avons donné précédemment (**16**, p. **12**) la classification des silicates, basée sur la formule de l'acide silicique $m\mathrm{SiO}^2.n\mathrm{H}^2\mathrm{O}$ dont ils dérivent et divisés en polysilicates, métasilicates, orthosilicates, subsilicates. Mais la nécessité de rapprocher certaines espèces qui, par leurs caractères physiques, appartiennent à un même groupe minéralogique, ne permet pas de s'en tenir exclusivement à la classification chimique : c'est ainsi que les feldspaths seraient classés en partie dans les polysilicates, et en partie dans les orthosilicates, alors qu'on ne peut cristallographiquement les séparer les uns des autres.

Nous nous bornerons donc à diviser les silicates en deux grands groupes ; les *silicates anhydres* et les *silicates hydratés*, ces derniers étant surtout caractérisés par le dégagement d'eau qu'ils donnent à basse température. Dans chacun de ces groupes nous passerons des silicates les plus acides aux silicates les plus basiques.

Les silicates anhydres sont, pour la plupart, des éléments essentiels ou accessoires des roches ; quelques-uns en sont des éléments accidentels, notamment de roches cristallophylliennes. Ils proviennent aussi d'actions pneumatolytiques.

Parmi les silicates hydratés, les zéolites sont des minéraux accidentels des roches éruptives ; les micas, les clintonites et les chlorites sont des minéraux essentiels ou accessoires de roches diverses. La plupart des autres silicates hydratés, quoique se présentant même parfois en grandes masses, sont des produits secondaires d'altération.

Tous les silicates minéraux sont insolubles dans l'eau ; les uns sont attaqués par les acides, soit avant, soit après calcination ; les autres sont inattaquables mais peuvent être désagrégés par fusion avec le carbonate de sodium : le produit de la fusion est repris par l'eau acidulée d'acide chlorhydrique ; par évaporation à sec, la silice est rendue insoluble, de sorte que la masse, humectée d'acide chlorhydrique concentré et additionnée d'eau chaude, peut être filtrée et laisse la silice gélatineuse sur le filtre, tandis que les bases passent en solutions à l'état de chlorures ; la silice ainsi obtenue peut être examinée à la perle de sel de phosphore dans laquelle elle laisse un squelette gélatineux ; traitée par l'acide fluorhydrique, elle se volatilise en dégageant des vapeurs blanches

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de fluorure de silicium qui troublent l'eau. D'ailleurs la plupart des silicates peuvent être attaqués directement par l'acide fluorhydrique ; par évaporation, la silice est éliminée et, en reprenant par l'eau bouillante acidulée d'acide chlorhydrique, toutes les bases entrent en solution. Plusieurs silicates, attaquables par les acides, donnent un dépôt de silice gélatineuse, que l'on obtient en tout cas par évaporation et dessiccation.

A. — SILICATES ANHYDRES

Groupe des **Feldspaths**

Les feldspaths constituent un groupe de minéraux d'une importance considérable : on les trouve dans la grande majorité des roches éruptives dont ils forment l'un des éléments essentiels les plus fréquents ; de plus, l'étude des variations de leurs propriétés physiques a été suivie dans toute la série du groupe et a soulevé de nombreuses questions théoriques dont l'examen ne rentre pas dans le cadre de cet ouvrage. Nous nous bornerons à exposer les propriétés cristallographiques et optiques de ces minéraux, ainsi que leur composition chimique ; nous dirons ensuite quelques mots sur les différentes variétés de feldspaths et nous terminerons par un résumé des méthodes propres à leur identification.

COMPOSITION CHIMIQUE

Le premier des feldspaths est l'**orthose**, qui dérive de l'acide $3SiO^2.2H^2O = H^4Si^3O^8$ et dont la composition peut être représentée par la formule $Al^2K^2(Si^3O^8)^2$; une petite quantité de potassium y est parfois remplacée par du sodium ; une orthose plus riche en sodium qu'en potassium a été appelée **anorthose** et une orthose barytique est dite **hyalophane.**

Les autres feldspaths sont réunis sous le terme général de **plagioclases.** Le premier d'entre eux est l'**albite** qui dérive du même acide que l'orthose mais est un feldspath sodique, de formule $Al^2Na^2(Si^3O^8)^2$. Le dernier est l'**anortite**, qui est un orthosilicate calcique, de formule $Al^2Ca(SiO^4)^2$. Le **microcline** est un feldspath potassique, présentant les formes de l'orthose, mais constitué par un groupement de lamelles appartenant au système cristallin des plagioclases.

L'analyse chimique des autres plagioclases montre que leur composition est intermédiaire entre celles de l'albite et de l'anor-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

thite ; si l'on désigne par Ab une molécule d'albite et par An une double molécule d'anorthite (1), on peut considérer un plagioclase quelconque comme formé d'un mélange d'albite et d'anorthite dans la proportion $\frac{m}{n}$ en posant $m + n = 100$, de sorte que sa formule est représentée par le symbole $Ab_m An_n$ (2). Parmi toutes les compositions possibles, on a distingué les séries suivantes :

Albites	de Ab	à Ab_6An_1
Oligoclases	de Ab_6An_1	à Ab_2An_1
Andésines	de Ab_3An_2	à Ab_1An_3
Labradorites	de Ab_1An_1	à Ab_1An_2
Bytownites	de Ab_1Ar_3	à Ab_1An_6
Anorthites	de Ab_1Ar_6	à An

Les séries intermédiaires seront des albites-oligoclases, oligoclases-andésines, etc.

En ce qui concerne la composition chimique, on observe que, à mesure que la soude diminue et que la chaux augmente, la silice diminue et l'alumine augmente. Les feldspaths deviennent donc de plus en plus basiques de l'albite vers l'anorthite ; la densité augmente avec la basicité ; le tableau suivant rend compte de ces faits.

		Densité	SiO^2	Al^2O^3	CaO	Na^2O
Orthose		2,57	64,7	18,4	0	K^2O 16,9
Albite	Ab	2,624	68,7	19,5	0	11,8
Oligoclase	Ab_3An_1	2,659	62,0	24,0	5,3	8,7
Andésine	Ab_4An_3	2,684	57,4	27,1	8,9	6,6
Labradorite	Ab_1An_2	2,716	51,4	31,2	13,7	3,8
Bytownite	Ab_1An_6	2,743	46,6	34,4	17,4	1,6
Anorthite	An	2,758	43,2	36,7	20,1	0

Un cristal de plagioclase est, en fait, presque toujours formé par des zones de compositions différentes, maclées entre elles suivant l'une des lois exposées ci-dessous ; il est donc extrêmement diffi-

(1) Le volume moléculaire de l'albite, c'est-à-dire son poids moléculaire divisé par sa densité, est double du volume moléculaire de l'anorthite.

(2) Par conséquent, $Ab_{87}\ An_{13}$ représente un plagioclase à 87% de Ab et 13% de An ; de même Ab_3An_1 représente un plagioclase formé de 3 4 ou 75% de Ab et de 1 4 ou 25% de An.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

cile de se procurer des échantillons suffisamment purs et homogènes pour les classer sans aucun doute dans un type défini Ab_m An_n, et cela n'a pas peu contribué à ouvrir les discussions relatives à ces minéraux.

Les feldspaths s'altèrent aisément et se transforment en mica, kaolin, calcite, quartz, chlorite, etc.

L'orthose fond au chalumeau en émail blanc ; les plagioclases sont fusibles, mais avec une facilité inégale qui décroît du labrador à l'anorthite. Les feldspaths potassiques et sodiques sont inattaquables par l'acide chlorhydrique bouillant ; les feldspaths calciques sont attaquables en partie et l'anorthite est complètement attaquable.

SYSTÈME CRISTALLIN

L'orthose cristallise dans le système clinorhombique ; les plagioclases sont clinoédriques. L'angle du prisme vertical primitif est, pour tous, voisin de 60°.

Tous les feldspaths possèdent deux clivages : l'un est très facile, parallèle à la base p, l'autre, moins facile, parallèle à g^1. Dans l'orthose, clinorhombique, l'angle pg^1 est droit ; dans les plagioclases, cet angle diffère plus ou moins de 90°(1). Le tableau suivant montre les variations des angles des formes primitives :

	pg^1 (droite)	ph^1	mp	pt	mt
Orthose	90°	63°53′	67°44′	$= pm$	$mm = 61°12'$
Albite	86°25′	63°32′	69°10′	65°18′	59°13′
Oligoclase	86°10′	63°37′½	69°5′	65°20′	59°18′
Labradorite	86°40′		69°10′	66°26′	58°23′
Anorthite	85°50′	63°57′	69°40′	65°53′	59°30′

Certains feldspaths présentent des cristaux à facies caractéristiques qui seront décrits plus loin ; les faces verticales m, t, g^1 sont souvent striées verticalement ; les autres stries visibles sont dues à des lamelles maclées.

(1) Le mot « feldspath » est un vieux mot allemand ou suédois employé dès le XVe siècle. Le mot « orthose » provient de ce que les clivages de cette espèce forment un angle droit (*orthos*) et le mot « plagioclases » de ce que les clivages sont inclinés d'un angle différent de 90° (*plagios*).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

MACLES

Il existe, dans les feldspaths, de nombreux modes de macles dont nous décrirons ici les plus caractéristiques et les plus communs.

Pour distinguer les trois premiers modes, considérons (fig. 457) un clinoèdre dessiné en projection sur g^1, comme on peut le voir par la position des notations des angles : nous désignons par *a*, *e*, *i*, *o* les angles supérieurs, par *a'*, *e'*, *i'*, *o'* les angles inférieurs ; les stries sur g^1 sont parallèles à la verticale *oa'* ; les traces du clivage *p* sur g^1 sont parallèles à la droite *oa*.

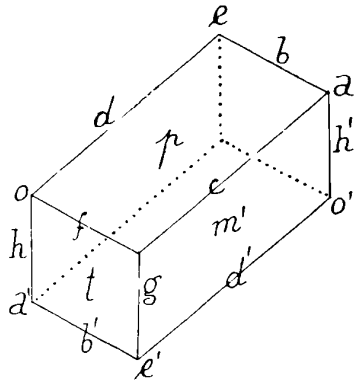


Fig. 457.

Loi de l'albite. — Le clinoèdre n° 2, qui se groupe au clinoèdre n° 1, s'obtient (fig. 458) par rotation de 180° du n° 1 autour de la normale à g^1, qui se projette en H. On voit que les stries sur g^1 restent parallèles ; de même, les traces des clivages P sur G^1 dans

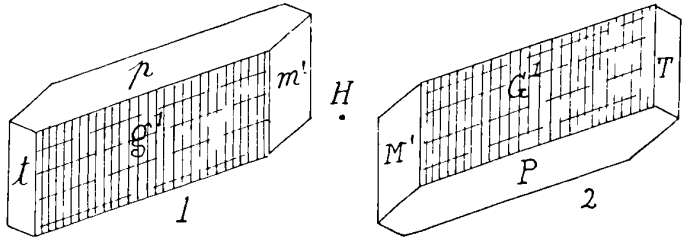


Fig. 458.

le n° 2 sont parallèles aux mêmes traces du n° 1 ; mais, à la partie supérieure du groupement, les faces *p* et P' sont inclinées dans des directions opposées par rapport au plan g^1, en formant ainsi une gouttière.

Loi de Carlsbad. — Le clinoèdre n° 2 (fg. 459) s'obtient par rotation de 180° du n° 1 autour de la verticale ℓ. On voit que les stries sur g^1 restent verticales ; que la trace de *p* sur g^1 dans le n° 1 n'est plus parallèle à la trace de *P* sur G^1 dans le n° 2, ce qui dis-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

tingue cette loi de la précédente ; les faces p et P supérieures sont d'ailleurs inclinées en sens opposés.

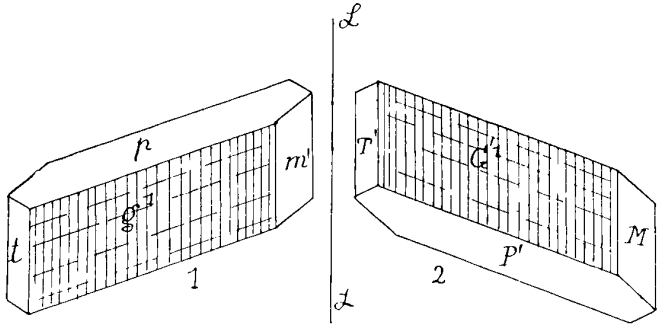


Fig. 459.

Loi de Challes. — Le clinoèdre n° 2 (fig. 460) s'obtient par rotation de 180° du n° 1 autour de l'horizontale ℓ dans g^1 ; cette droite ℓ est approximativement la diagonale oo' du clinoèdre primitif : on voit que les stries sur g^1 restent verticales ; que la trace du clivage p sur g^1 du n° 1 n'est pas parallèle à la trace de P sur G^1 du n° 2 ce qui distingue aussi cette loi de la loi de l'albite et que les faces p et P supérieures sont inclinées dans le même sens, ce qui distingue cette loi de la loi de Carlsbad.

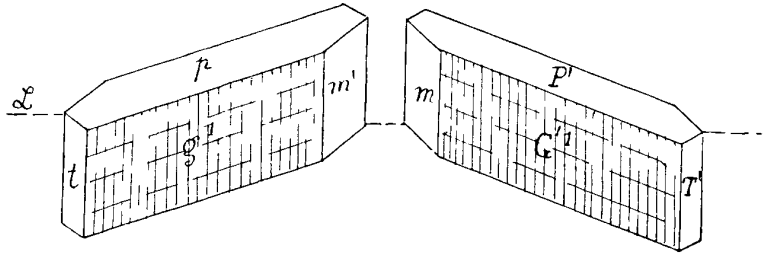


Fig. 460.

Dans ces trois modes de macles, les cristaux sont ordinairement aplatis suivant g^1 et les deux cristaux maclés sont joints l'un à l'autre par un plan g^1 ; la figure 461 représente un groupement d'albite suivant la première loi : on a $pp = 7°12'$.

Dans l'orthose, la loi de l'albite ne peut constituer une macle, puisque la normale à g^1 est un axe binaire du cristal. D'autre part, ce qui distingue les lois de Challes et de Carlsbad, c'est l'inclinaison des faces p ; or, dans ce minéral, p est perpendiculaire à g^1, de sorte

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

que la macle de Challes est identique à la macle de Carlsbad : la figure 129 représente un cristal d'orthose maclé d'après ce mode ; ici, il y deux plans de macle : h^1 et le plan horizontal.

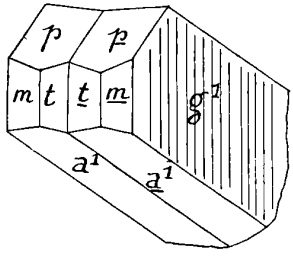


Fig. 461.

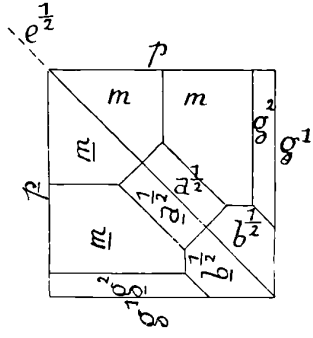


Fig. 462.

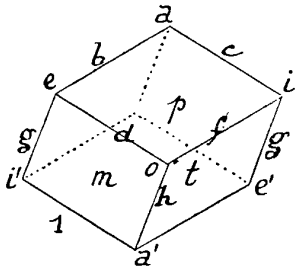
Loi de Baveno. — Le plan de macle est $e^{\frac{1}{2}}$ dans l'orthose, $i^{\frac{1}{2}}$ dans les plagioclases. Les cristaux sont habituellement allongés suivant l'arête pg^1 et, comme le plan de macle est à peu près bissecteur de l'angle pg^1, la section du groupement normale à l'allongement, est approximativement un carré. Cette macle est assez fréquente dans l'orthose (fig. 462).

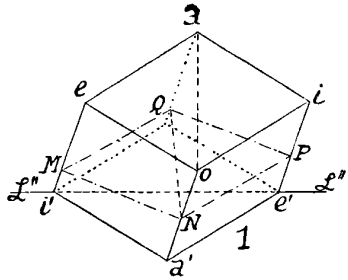
Loi de Manebach. — Le plan de macle, qui est aussi le plan d'assemblage, est p ; l'axe d'hémitropie est la normale à p. Après rotation de 180°, le clinoèdre (fig. 463) n° 1 (dessiné ici en position normale) prend la position 2, symétrique par rapport à p. Cette macle se reconnaît au parallélisme du clivage p dans les deux cristaux.

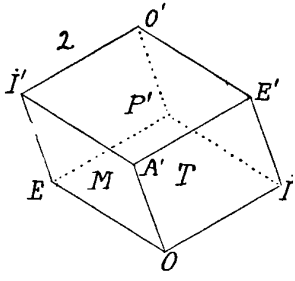
Loi de la péricline. — L'axe d'hémitropie est parallèle à la diagonale Σ'' (fig. 464) de la face p joignant les angles i et e. En comparant les figures 463 et 464, on voit la différence entre les positions des éléments dans les cristaux n° 2. D'ailleurs, ici, le plan d'assemblage n'est pas le plan p ; c'est un plan MNPQ qui, dans le prisme primitif, a la forme d'un losange ; il est plus ou moins voisin de p et sa trace NQ sur g^1 fait, avec la trace oa de p, un angle caractéristique pour les différents feldspaths : de 13° à 27° pour l'albite A (fig. 465), de 4° pour l'oligoclase O, de 0° pour l'andésine Ad, de — 9° pour le labrador L et de — 18° pour l'anorthite a ; d'autre part, pour le microcline M, il est de — 80° (ou + 100°).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La macle de la péricline n'est pas possible dans l'orthose, puisque la diagonale horizontale de la base est parallèle à l'axe binaire.







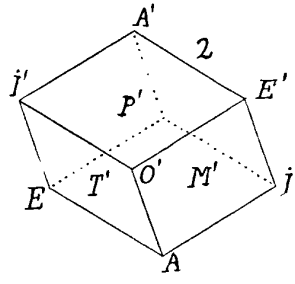
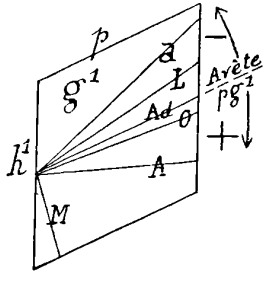


Fig. 463. Fig. 464.

Des combinaisons de ces diverses macles entre elles se présentent fréquemment dans les feldspaths. L'orthose, par exemple, montre (fig. 466) la combinaison des macles de Manebach et de Baveno : les cristaux 1 et 1′ sont maclés suivant la loi de Manebach ; il en est de même de 2 et 2′ ; d'autre part, 1 et 2′, 1 et 2, etc., sont maclés suivant la loi de Baveno.



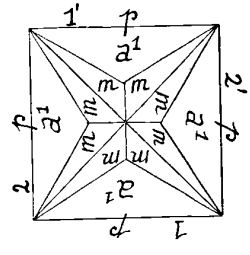


Fig. 465. Fig. 466.

Mais les groupements de ce genre sont le plus souvent polysynthétiques : la macle de l'albite se répète sur le même individu, comme il a été expliqué précédemment (**116**), ne se manifestant

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

que par de fines stries sur p. Il en est de même de la macle de la péricline, produisant sur g^1 de fines stries plus ou moins inclinées sur l'arête pg^1. Ces macles se reconnaissent aisément en lumière parallèle polarisée, les extinctions se produisant dans les lamelles maclées sous des angles différents à partir de la trace du plan de macle.

Il se présente même des combinaisons des macles de l'albite et de la péricline, produisant dans les lames minces des quadrillages très serrés (fig. 467), caractéristiques de la microcline.

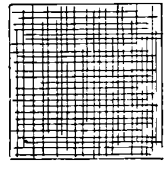


Fig. 467.

Enfin, rappelons les orientations de feldspaths de natures différentes (**110**, fig. 126). Lorsque deux ou plusieurs feldspaths s'interpénètrent en orientation parallèle, on donne à l'assemblage le nom de **perthite** : lorsque l'interpénétration est microscopique, on a une **microperthite** ; ce genre d'assemblage se manifeste surtout dans les feldspaths acides. Au contraire, le groupement des feldspaths basiques se fait ordinairement par emboîtement de zones successives ; les **feldspaths zonés** sont dus à des variations rapides de la composition des magmas en voie de consolidation ou encore à une cristallisation très lente.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES

Les indices principaux de réfraction des feldspaths varient avec la composition chimique ; leurs valeurs augmentent avec la proportion d'anorthite. Voici, à titre d'indication, quelques-unes de ces valeurs :

	α	β	γ
Orthose	1,5190	1,5237	1,5260
Albite Ab	1,5292	1,5331	1,5393
Oligoclase-albite $Ab_{87}An_{13}$	1,5337	1,5376	1,5429
Oligoclase $Ab_{78}An_{22}$	1,5389	1,5431	1,5469
Andésine $Ab_{60}An_{40}$	1,549	1,553	1,556
Labradorite	1,554	1,557	1,562
Anorthite Ab_9An_{91}	1,5752	1,5833	1,5884

Les biréfringences B des feldspaths sont peu élevées, variant de **7** à **13**.

L'indice du baume de Canada étant **1,539**, on voit que, en lame mince, les plagioclases dont certaines sections montreront le même

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

relief que le baume, peuvent être l'albite et l'oligoclase ; selon que la majorité des sections montrera une réfringence plus ou moins élevée que le baume, on aura probablement affaire à de l'oligoclase ou à de l'albite. — Les indices du quartz sont 1,544 et 1,553 ; la réfringence des plagioclases plus basiques que (et y compris) le labrador, est donc toujours plus grande que celle du quartz, et celles de l'albite et l'oligoclase-albite est toujours moindre. — En se reportant à ce qui a été dit précédemment (**166** et **167**) concernant le relief et les franges de Becke, ces remarques permettront la détermination de certains feldspaths dans les lames minces de roches par comparaison au baume et au quartz (1).

Pour les plagioclases en grains isolés et maniables, on déterminera l'indice moyen à l'aide de l'aniline et en employant une platine chauffante (**167**) ; le tableau suivant montre comment le feldspath pourra être déterminé :

à 20°	1,582	anorthite
40°	1,572	bytownite
50°	1,563	labrador-bytownite
64°	1,559	labradorite
74°	1,553	andésine
100°	1,542	oligoclase.

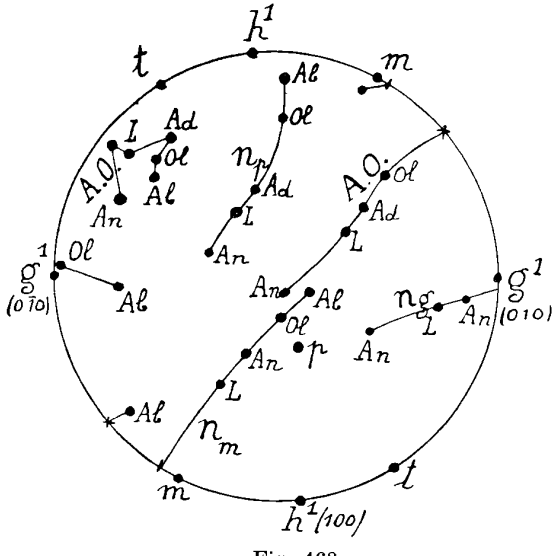


Fig. 468.

L'orientation optique de l'orthose, *négative*, a déjà été indiquée (**292**, fig. 245) ; l'angle 2V des axes est d'environ 70° et l'angle 2E de 121° environ.

Dans les plagioclases, les indices principaux sont orientés différemment de l'un à l'autre ; la figure 468 donne, d'après Michel Lévy, les projections stéréogra-

(1) L'indice du baume peut varier et, dans les lames préparées depuis longtemps, peut atteindre celui du quartz. Il est donc bon de comparer d'abord les indices du quartz et du baume dans la préparation.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

phiques des indices n_g, n_p et n_m et de chacun des axes optiques (A.O), pour l'albite (Ab), l'oligoclase (Ol), l'andésine (An), le labrador (L) et l'anorthite (An) ; l'angle 2V est très grand et, pour trois d'entre eux, il est égal à 90° : le signe du minéral change lorsqu'on passe d'un feldspath plus acide à un feldspath plus basique que l'une de ces trois variétés remarquables, comme l'indique le tableau suivant :

Signe		2V
+	Albite	77°
+	Albite-oligoclase	88°30′
	Oligoclase	90°
—	Oligoclase-andésine	86°
	Andésine-oligoclase	90°
+	Labrador	77°
	Bytownite	90°
—	Anorthite	77°30′

L'indice n_g fait avec la normale à g^1 les angles suivants : albite : 15°. — oligoclase : 1°. — oligoclase-andésine : 6°. — andésine : 17°. — labrador-bytownite : 37°. — anorthite : 50°.

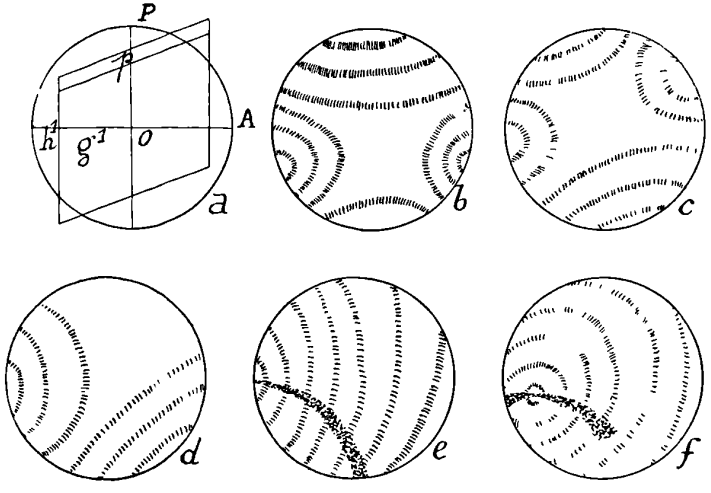


Fig. 469.

En lumière convergente, l'apparence optique d'une lame g^1 variera donc beaucoup d'un feldspath à l'autre. C'est ce que montre la figure 469 : la lamelle g^1 étant placée comme il est indiqué en *a*

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

avec son arête $h'g^1$ parallèle au polariseur OP (ou son arête g^1p faisant un angle de 64° environ avec OP), on obtient l'apparence *b* pour l'albite, *c* pour l'oligoclase, *d* pour le labrador, *e* pour la bytownite et *f* pour l'anorthite.

Les lamelles *p* ne donnent d'apparence caractéristique (fig. 470) que pour le labrador *b* et l'anorthite *c*, la lamelle étant placée comme il est indiqué en *a*.

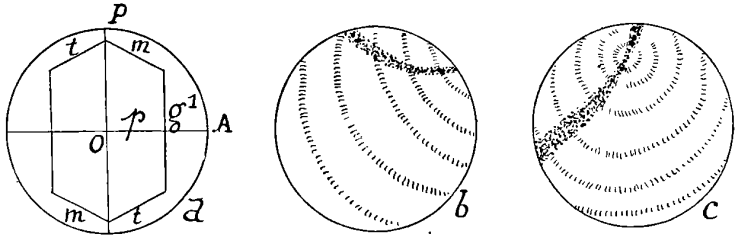


Fig. 470.

Une lame *p* d'orthose étant à peu près parallèle au plan des axes optiques, on peut aisément déterminer le signe négatif de l'espèce par la méthode Cesàro (**224**).

Les angles d'extinction des lamelles de clivage *p* et g^1 sont utiles à mesurer pour la détermination des feldspaths ; ces angles sont rapportés à la direction d'extinction négative et sont mesurés (fig. 471) à partir de l'arête pg^1, c'est-à-dire de la trace du second clivage sur la lame examinée ; comme il est indiqué sur la figure, si, après avoir produit l'extinction, on doit tourner la lame dans le sens des aiguilles d'une montre pour amener l'arête pg^1 dans la direction du nicol, l'angle est marqué du signe + ; dans le cas contraire, il est marqué du signe —. Le diagramme de la figure 472, dû à Max Schuster, montre les variations des angles d'extinction d'un feldspath à l'autre : on voit que les extinctions sont ou positives, ou négatives sur les deux clivages et que, pour l'andésine à 30% d'anorthite, les extinctions sont simultanément parallèles à l'arête pg^1 dans les deux clivages : pour ce plagioclase, en effet, n_p coïncide avec la direction pg^1.

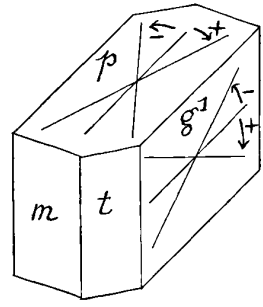


Fig. 471.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On comprend le parti que l'on peut tirer de ces courbes lorsqu'on possède un solide de clivage convenable.

Dans l'orthose, l'angle d'extinction sur g^1 est égal à $+ 5^o$; il est nul dans p.

Un autre procédé de distinction des plagioclases basiques a été indiqué par Cesàro. On place une lame g^1 de façon que sa direction d'extinction positive soit parallèle au polariseur et l'on passe en lumière convergente ; on voit alors la courbe incolore (des figures 469 *e* et *f*) passer par le centre du champ, et l'angle que fait cette courbe avec OP est d'autant plus grand que le feldspath est plus basique : il est, en effet, de 14° pour de l'andésine, 26° pour le labrador, de 47° pour la bytownite et de 58° pour l'anorthite.

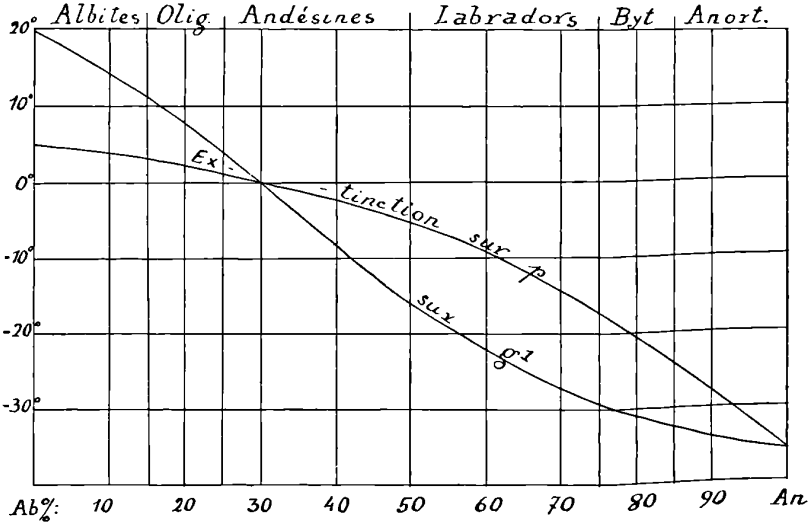


Fig. 472.

Dans les lames minces de roches, les cristaux feldspathiques sont coupés dans des directions quelconques, mais on trouve des plages faisant partie de zones remarquables, assez aisées à reconnaître et dans lesquelles les angles d'extinctions varient, pour toutes les faces de la zone, entre des limites caractéristiques.

Zone pg^1. — Les plages appartenant à cette zone se reconnaissent à ce que les traces des clivages p et g^1 sont parallèles entre elles et à la trace de la macle de l'albite. Les extinctions, rapportées

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

à la direction négative et comptées dans le sens de la figure 471, ne peuvent dépasser les maximums suivants :

Albite	+ 20°
Oligoclase	+ 5°
Andésine	0°
Andésine-labradorite	— 18°
Labradorite	— 31°
Bytownite	— 45°
Anorthite	— 50°

On voit que le maximum est caractéristique, indépendamment du signe, pour le labradorite, la bytownite et l'anorthite.

Zone perpendiculaire à g^1. — Dans les plages de cette zone, les traces des deux clivages p et g^1 sont à peu près perpendiculaires entre elles ; de plus, les extinctions des lamelles hémitropes suivant les lois de l'albite et de la péricline sont symétriques de part et d'autre de la ligne de macle. Les maximums des extinctions *négatives* rapportées à la trace de g^1 sont :

Albite	— 18°
Oligoclase	+ 4°
Oligoclase-andésine	+ 12°
Andésine	+ 21°
Labradorite	+ 32°
Anorthite	+ 50°

Ici encore, indépendamment du signe, les extinctions sont caractéristiques pour l'andésine, le labrador et l'anorthite.

La *méthode de Fouqué* est très utile dans l'étude des lames minces de roches.

On cherche une plage perpendiculaire à une bissectrice et on détermine l'angle que la trace du plan des axes fait avec la trace du clivage p ou du clivage g^1 (cette dernière étant aussi la trace de la macle de l'albite). On détermine également, comme il a été dit au n° **222**, si la bissectrice perpendiculaire à la plage est n_g ou n_p. Les angles mesurés sont caractéristiques :

	Lame perpendiculaire à n_p ; angle à partir de la trace de g_1	Lame perpendiculaire à n_g ; angle à partir de :	
Orthose	90°	5°	p
Albite	74°	19°	p
Oligoclase	88°	5°	p
Labradorite	60°	22°	g^1
Anorthite	56°	46°	g^1

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Nous signalerons également les *méthodes de Cesàro* applicables d'abord aux lames normales à l'indice moyen n_m, qui sont reconnaissables à la hauteur relative de leur teinte de polarisation et à l'aide desquelles on peut d'ailleurs déterminer le signe du minéral (**224**) : on mesure dans ces lames l'angle i que fait la trace du clivage g^1 avec la direction n_p et cet angle est caractéristique pour les feldspaths basiques :

	i
Anorthite	41°
Anorthite-Bytownite	37°21′
Bytownite	30°19′
Labradorite-Bytownite	21°20′
Labradorite	12°59′
Andésine	3°27′

Egalement, sur une lame normale à un axe optique, on peut mesurer l'angle φ que la trace du clivage g^1 fait avec la trace du plan des axes optiques repérée en lumière convergente.

Cet angle φ varie suivant que l'on examine une plage normale à l'un ou l'autre des axes optiques ; si l'observation se fait sur une plage isolée, le diagnostic est le suivant :

87° oligoclase	56° labrador-bytownite
82° oligoclase-albite	53° labradorite
70° andésine-oligoclase	37° labradorite
65° anorthite ou albite	27° labrador-bytownite
60° andésine ou bytownite	24° bytownite
58° andésine	22° anorthite

* * *

Ce qui précède montre que, les propriétés optiques des deux termes extrêmes *Ab* et *An* étant connues, on peut en déduire les propriétés d'une espèce intermédiaire Ab_mAn_n. L'expérience a, en général, confirmé les déductions théoriques, si l'on tient compte des difficultés d'obtention d'échantillons purs, étant donné que les minéraux feldspathiques sont fréquemment formés de zones d'espèces diverses. Les propriétés géométriques et la densité présentent également entre elles des relations continues.

Faut-il admettre, avec Tschermak, que tous les plagioclases résultent d'un mélange, en proportions déterminées, des deux termes *Ab* et *An* ? ou bien, avec Fouqué, qu'il existe certains types définis, à compositions déterminées et que c'est le mélange de ces types qui conduit aux espèces intermédiaires ? La question n'est pas élucidée et conduit d'ailleurs aux mêmes résultats pratiques.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Orthose

Les cristaux d'orthose sont allongés verticalement (fig. 473) ou aplatis suivant g^1 ; par suite de la presque égalité des angles ph^1 et a^1h^1, l'apparence est orthorhombique ; l'allongement suivant l'arête pg^1 se manifeste surtout dans la macle de Baveno (fig. 462) mais se trouve aussi dans les cristaux simples. Les macles de Carlsbad et de Baveno sont les plus fréquentes ; la macle de Manebach est plus rare. L'orthose se présente aussi en masses clivables ou grenués.

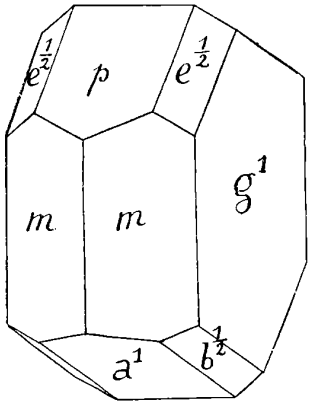


Fig. 473.

Dureté : 6. Densité : 2,56.

L'orthose est incolore ou, par suite d'inclusions, blanche, grise, jaune, brune, rouge. L'éclat est vitreux, souvent nacré sur p. Transparente en lame mince, elle est presque toujours opaque en cristaux macroscopiques et en masses.

La biréfringence b des lamelles p est égale à 5.

L'*adulaire* est une orthose pure, transparente, trouvée d'abord au Mt-Adula (St-Gothard).

La *pierre de lune* est une orthose à opalescence nacrée.

La *sanidine* (1) est grise, souvent en lames g^1, fendillée, vitreuse, fréquente dans les roches volcaniques (trachytes).

L'*hyalophane* (2) est une orthose barytique, clinorhombique, ressemblant à l'adulaire mais avec des angles un peu différents.

L'*anorthose* peut être considérée comme un mélange en proportions égales d'orthose et d'albite. Elle est triclinique, mais très voisine de l'orthose.

L'orthose est difficilement fusible, en verre bulleux. Insoluble dans les acides.

L'orthose, qui est employée dans la fabrication des porcelaines et des émaux, se trouve dans des roches éruptives de tous genres. En Belgique, on l'a rencontrée en cristaux à Quenast.

---

(1) Du grec *sanis* « table ».
(2) Du grec : *ualos* et *faino*, « paraissant vitreux ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Microcline

Le microcline (1) est clinoédrique, mais voisin de l'orthose. Il est formé généralement de lamelles maclées suivant les lois de l'albite et de la péricline et dont l'ensemble donne la forme des cristaux d'orthose (fig. 473).

Dureté : 6 à 6,5. Densité : 2,56.

Blanche, jaune, rouge ou grise. L'*amazonite* a une belle couleur verte. Opaque.

En lame mince, quadrillage caractéristique (fig. 467).

Albite

Les cristaux d'albite présentent deux facies distincts :

1) allongés suivant l'arête pa^1, ils ont une forme analogue à celle de la figure 57 ; souvent blancs et opaques, ils portent alors le nom de *péricline* (2) et sont fréquemment maclés suivant la loi de la péricline.

2) aplatis suivant g^1 et presque toujours maclés avec plan d'assemblage g^1 (macles de l'albite, de Challes ou de Carlsbad), ils sont transparents (fig. 461).

Plus rarement, ils présentent une forme analogue à celle de l'orthose allongée et prismatique suivant pg^1.

Dureté : 6 à 6,5. Eclat vitreux. Densité : 2,62 à 2,65.

Difficilement fusible et inattaquable par les acides.

L'albite se trouve dans les fentes de granites, de gneiss et de schistes cristallins ; elle est, dans ces roches, plus accidentelle que les autres feldspaths et est souvent accompagnée de minéraux métamorphiques : sphène, axinite, topaze, etc.

Les gros cristaux blancs des porphyroïdes de Mairus sont de l'albite ; l'albite se trouve sur la diabase de Challes (Stavelot).

Oligoclase

Les cristaux d'oligoclase sont assez rares ; ils ont les facies de l'albite. Masses laminaires.

Dureté : 6 à 7. Densité : 2,65 à 2,67.

Le clivage g^1 est plus difficile que dans les autres feldspaths (3).

---

(1) Le mot *microcline* provient de *micros* petit et *clinos* incliné , l'angle des deux clivages étant de 89°38′.

(2) *Albite* vient de *albus* « blanc » ; *péricline* de *péri* autour et *clinos* incliné .

(3) D'où le nom de *oligos* « peu » et *clao* briser .

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Blanche, grise ou rouge. Eclat vitreux, nacré sur *p*.

Difficilement fusible. Presque insoluble dans les acides.

L'*aventurine* ou *pierre de soleil* est une oligoclase à jolis reflets rougeâtres dus à des lamelles d'oligiste ou de goethite.

L'oligoclase se trouve dans les roches éruptives.

Labradorite

Les cristaux sont rares. Fréquent comme élément de roches éruptives, on trouve aussi ce feldspath en masses présentant de beaux reflets bleus et rouges.

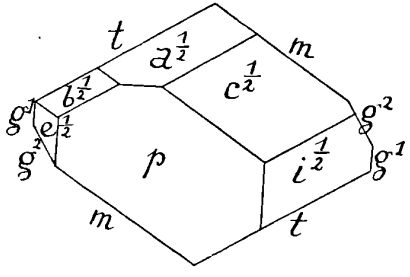


Fig. 474.

Dureté : 5 à 6. Densité : 2,70 à 2,72.

Fusible en un verre blanc. Attaquable en partie par l'acide chlorhydrique concentré. Se trouve dans les roches éruptives.

Anorthite

Les cristaux d'anorthite (1) ont des développements très inégaux.

La figure 474 représente un cristal du Vésuve.

Dureté : 6 à 6,5. Densité : 2,74 à 2,76.

Incolore et transparente. Blanche, jaune et opaque. Eclat vitreux. Fusible. Attaquable par l'acide chlorhydrique concentré.

Se trouve dans les roches éruptives.

DIAGNOSTIC DES FELDSPATHS

Les facies des cristaux, les deux clivages presque orthogonaux, la faible biréfringence, la dureté et l'éclat, ne permettent pas de confondre les feldspaths avec d'autres minéraux.

Pour distinguer les plagioclases entre eux, lorsqu'ils se trouvent en grains ou cristaux maniables, on se basera principalement sur les propriétés optiques (angles d'extinction et apparence optique

(1) L'anorthite peut être prise comme type du système clinoédrique (ou anorthique).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

en lumière convergente de lamelles de clivage p et g^1). Les cristaux d'orthose, d'albite et de péricline sont caractéristiques de ces deux espèces.

En *lame mince*, dans l'étude des roches, la transparence, le relief voisin de celui du baume et du quartz, la faible biréfringence, les clivages et les lamelles maclées caractérisent immédiatement les feldspaths. Le diagnostic différentiel sera demandé aux propriétés optiques par l'examen des angles d'extinction dans les zones remarquables et par l'application des méthodes de Fouqué et de Cesàro. — Les microlites de feldspaths sont allongés suivant l'arête pg^1 : la détermination, sur de nombreuses plages, du maximum de l'angle d'extinction à partir de l'allongement servira à différencier le labradorite de l'oligoclase ; d'ailleurs, les microlites d'oligoclase sont en général petits et maclés une seule fois ; ceux de labradorite sont allongés, bien développés et offrent une répétition de macles ; ceux d'orthose sont de petites tablettes assez larges, rarement maclées.

Leucite

C'est un métasilicate de formule $Al^2K^2(SiO^3)^4$.

La leucite est pseudocubique ; sa forme est toujours celle du trapézoèdre a^2 (fig. 110). Clivages b^1 peu nets.

Dureté : 5,5 à 6. Fragile. Densité : 2,45 à 2,50.

La leucite, rigoureusement cubique à partir de 500°, est pseudocubique à la température ordinaire. La biréfringence est très faible ; des lames parallèles à p montrent des lamelles maclées à angle droit ; dans les lames parallèles à b^1 ou à a^2, les lamelles se coupent sous des angles de 60° et 120° ; on admet que la leucite est orthorhombique et que sa forme extérieure a^2 est due à l'interpénétration de trois cristaux rhombiques maclés suivant les faces du rhombododécaèdre b^1. La bissectrice, positive, est perpendiculaire à une face p du cube ; 2V est très petit ; $N = 1{,}509$; $B = 1$.

Incolore, blanche grise (1) ; transparente ou translucide. Eclat vitreux. Présente souvent des inclusions (augite, magnétite) disposées concentriquement et parallèlement aux contours extérieurs.

Infusible. Attaquable par les acides sans faire gelée. Donne une coloration bleue avec le nitrate de cobalt.

(1) Leucite vient du grec *leucos* blanc ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Se transforme aisément en amalcime ou en feldspath. Se trouve exclusivement dans les roches volcaniques.

Diagnostic : voir analcime.

Groupe des Pyroxènes

Les minéraux entrant dans ce groupe (1) présentent entre eux de nombreuses analogies. Ce sont essentiellement des métasilicates de calcium, de magnésium et de fer (ferreux), auxquels peuvent se joindre de l'aluminium, du fer (ferrique) et d'autres métaux ; le rapport de MgO à CaO est généralement voisin de 1.

Ils possèdent deux clivages, plus ou moins faciles, pris comme faces verticales du prisme primitif et dont l'angle est voisin de 87° ; cependant, les uns sont orthorhombiques, d'autres clinorhombiques, d'autres tricliniques.

Dans tous les pyroxènes étudiés ici, sauf pour la pectolite, le plan des axes optiques est parallèle au plan de symétrie g^1. Les *pyroxènes orthorhombiques* se distinguent entre eux par leur signe optique.

Dans les *pyroxènes clinorhombiques*, la bissectrice aiguë est *positive* (sauf pour l'acmite) et elle fait, avec la verticale (fig. 475), un angle + α variable d'une espèce à l'autre ; l'angle 2V est voisin de 60° ; l'un des axes optiques OV est plus ou moins incliné sur la face h^1, l'autre OV′ sur la face p ; nous désignons par θ l'angle que OV fait dans l'air avec la normale à h^1. Comme d'habitude B, $B(m)$ et $B(h^1)$ désignent les biréfringences maximum de g^1, de m et de h^1 qui sont les faces de clivage les plus fréquentes.

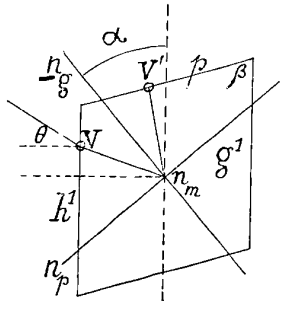


Fig. 475.

Les indices de réfraction varient de 1,6 à 1,8 de sorte que le relief apparaît nettement dans le baume ou par comparaison avec le quartz. La biréfringence est assez élevée.

Les sections parallèles à l'axe de zone vertical se reconnaissent aisément parce que les deux clivages m (qui se produisent presque

(1) Hauy, qui, en se basant sur leurs caractères cristallographiques, a réuni dans ce groupe des minéraux disséminés avant lui dans la classification minéralogique, a malheureusement donné au groupe le nom de *pyroxènes* ou « étrangers au feu », alors que ces espèces se rencontrent surtout dans les roches éruptives.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

toujours lors de la confection des lames minces) y donnent des traces parallèles entre elles ; les angles d'extinction, rapportés à la direction positive et comptés à partir de la trace des clivages, varient dans les plages de cette zone caractéristique depuis un maximum qui se trouve dans g^1 et que nous désignons par α, jusqu'à 0° dans h^1 ; les faces voisines de h^1 et pour lesquelles l'extinction est très faible montrent d'ailleurs, en lumière convergente, le pôle d'un axe optique ; nous désignons par α_m l'angle d'extinction sur m.

Dans les pyroxènes orthorhombiques, l'extinction est évidemment nulle pour toutes les faces de la zone verticale.

Enstatite. — Bronzite. — Hypersthène

La composition chimique de l'enstatite peut être représentée par $MgSiO^3$, mais la magnésie est toujours remplacée par un peu de FeO et l'enstatite passe ainsi à la bronzite $(Mg,Fe)SiO^3$. Lorsque la quantité de FeO dépasse 12%, l'espèce passe à l'hypersthène.

Ce sont les pyroxènes orthorhombiques. L'angle antérieur des faces m de clivage est de 88°16′ dans l'enstatite et la bronzite, de 88°20′ dans l'hypersthène. Les cristaux, rarement terminés, sont toujours allongés verticalement.

Les clivages sont m, h^1, p, g^1 ; le clivage m est le plus facile dans l'enstatite et le clivage g^1 dans l'hypersthène qui se présente souvent en masses lamellaires.

Dureté : 5 à 6. Densité : 3,1 à 3,4.

Le plan des axes optiques étant parallèle à g^1, n_g est perpendiculaire à p et n_p à h^1 ; l'allongement est donc toujours de signe positif. Dans l'enstatite, n_g est la bissectrice aiguë et $2V = 69°$; lorsque la teneur en FeO augmente, 2V augmente, devient égal à 90° pour FeO = 10% (bronzite) et diminue ensuite autour de n_p : l'hypersthène est donc négative.

Les indices de réfraction et la biréfringence augmentent également avec la teneur en FeO ; par exemple :

	FeO %	γ	β	α	2V	B	$B(m)$
Enstatite	2,76	1,665	1,659	1,656	70°45′	9	7,5
Hypersthène	23,0	1,705	1,702	1,692	57°9′	13	7,9

Les lames g^1 d'hypersthène permettent aisément la détermination du signe optique par la méthode Cesàro (**224**).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La couleur, variant du blanc et du gris au brun, est d'autant plus foncée qu'il y a plus de fer. L'éclat est vitreux ; la bronzite a, sur ses faces de clivages, un éclat métalloïde qui lui a fait donner son nom et l'hypersthène un éclat nacré. Transparents en lames minces, ces minéraux présentent un pléochroïsme dans les teintes vertes, jaunes ou brunes, d'autant plus prononcé qu'ils contiennent plus de fer.

Au chalumeau, l'enstatite est infusible (1) ; la bronzite s'arrondit sur les bords ; l'hypersthène fond en émail noir magnétique. Inattaquables par les acides.

Ces pyroxènes s'altèrent aisément et se transforment notamment en talc et en bastite.

Des groupements polysynthétiques se manifestent souvent dans les lames minces ; l'enstatite, et surtout la bronzite, subissent des déformations mécaniques remarquables, qui donnent des extinctions roulantes très caractéristiques ; l'enstatite a parfois un aspect fibreux. L'hypersthène renferme souvent des inclusions, régulièrement distribuées, constituées par des lamelles couchées dans les plans g^1, qui leur donnent des reflets particuliers et sur la nature desquelles on n'est pas fixé.

Ces minéraux constituent des éléments essentiels ou accessoires de roches éruptives, ainsi que de leurs enclaves ; on les trouve aussi dans les météorites, où ils constituent les chondres, mélangés ou non au péridot.

Car. dist. — L'éclat, les clivages, la forme prismatique ou lamellaire et surtout les propriétés optiques.

Diopside. — Hédenbergite. — Augite

La composition chimique de ces pyroxènes est très variable ; ce sont des métasilicates dont la teneur en SiO^2 varie de 42 à 54% ; les bases sont la chaux et la magnésie, auxquelles se joint FeO ; lorsqu'il s'y ajoute Al^2O^3 et Fe^2O^3, on passe à l'augite ; ils contiennent souvent aussi MnO, Cr^2O^3, TiO^3, Na^2O, K^2O.

Clinorhombiques :

$$mm = 92°50' \quad ph^1 = 74°10' \quad mb^{\frac{1}{2}} = 58°49' \quad b^{\frac{1}{2}}\, b^{\frac{1}{2}}_{\text{sup.}} = 59°11'$$

Les cristaux sont allongés verticalement ; dans le diopside, h^1

(1) D'où le nom d'enstatite, du grec *enstatsè* « réfractaire ». Le mot *hypersthène* de *uper* « au dessus » et *sténos* « force » provient de ce que la dureté de ce minéral est un peu supérieure à celle des autres pyroxènes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et g^1 sont souvent plus développés que m (fig. 61). La forme habituelle de l'augite est donnée par la figure 476 ; la macle h^1 (fig. 477) est commune ; il existe aussi des macles polysynthétiques par rapport à p, ce qui donne lieu à des clivages interrompus suivant cette base.

Le clivage m est facile, mais interrompu. Le *diallage* (1) est un diopside dépourvu de forme géométrique, en masses laminaires dues à un clivage facile h^1.

Dureté : 5,5 à 6. Densité : 3,1 à 3,4.

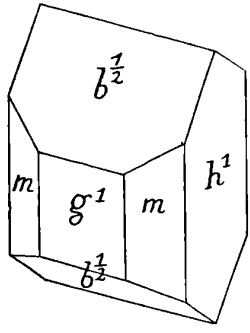


Fig. 476.

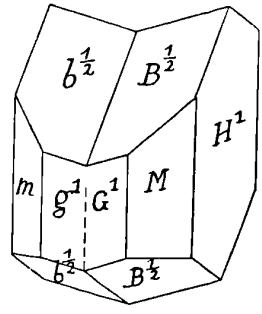


Fig. 477.

Le plan des axes optiques est g^1. L'angle α (fig. 475) varie avec la composition chimique ; il en est de même des autres constantes optiques, comme le montre le tableau suivant (2) :

	α	γ	β	Angle α	B	2V	α_m	θ	$B(h^1)$	$B(m)$
Diopside	38°	1,7000	1,6780	1,6710	29	59°29′	33° $\frac{1}{3}$	39°28′	11	22
Hédenbergite	47°10	1,7506	1,7366	1,7320	18,6	60°2′ $\frac{1}{2}$	42° $\frac{1}{2}$	22°39′	4	14
Augite	51°	1,7333	1,7170	1,7120	21,3	58°25′	46° $\frac{1}{3}$	16°59′	3	15

Les indices extrêmes mesurés sont :

	Diopside	*Hédenbergite*	*Augite*
γ...	1,703	1,751	1,742
α...	1,664	1,702	1,681

(1) Le nom vient de cette différence (*diallage*) avec les autres pyroxènes. Le mot diopside vient de sa transparence : *dia* › à travers *opsis* vue.

(2) Les valeurs observées sont α, n_g, n_m, n_p ; les autres valeurs du tableau sont déduites par le calcul ; voir à ce sujet ce qui est dit au n° 197.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le diopside est incolore, blanc, vert, presque toujours transparent. L'augite est brune ou noire, opaque. L'éclat est vitreux, bronzé sur le clivage du diallage. Le pléochroïsme est faible mais appréciable en lames minces dans les teintes vertes, jaunes et brunes.

Ces minéraux sont d'autant plus fusibles que la teneur en fer est plus forte. Inattaquables par les acides.

Les pyroxènes s'altèrent et se transforment en serpentine, chlorite, talc, calcite, etc. ; ils se transforment aussi en amphiboles (voir *ouralite*, p. 549).

Les pyroxènes constituent des éléments essentiels de roches éruptives. On les trouve aussi dans les calcaires cristallins, dans les roches serpentineuses, dans les schistes métamorphiques ; on les a signalés dans les météorites.

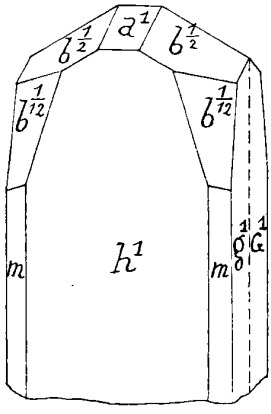


Fig. 478.

Car. dist. — Voir p. 550.

Acmite (*Aegyrine*)

La formule de l'acmite peut s'écrire $Na^2O.Fe^2O^3.4SiO^2$, mais il y a toujours CaO, MgO et FeO.

Clinorhombique : $mm = 92°56'$. Les cristaux sont toujours allongés verticalement (fig. 478) et fréquemment terminés par des pointements aigus (1) ; la macle h^1 est fréquente. Clivages : m, g^1, p.

Dureté : 6 à 6,5. Densité : 3,55.

Le plan des axes optiques est g^1. On a (fig. 475) $\alpha = 95°$; la bissectrice aiguë est *négative* et fait donc un angle de 5° avec la verticale :

$$\gamma = 1{,}822 \qquad \beta = 1{,}807 \qquad \alpha = 1{,}769$$

$$B = 53,\ \alpha_m = 86,\ 2V = 62°6',\ B(h^1) = 36,\ B(m) = 43,\ B(p) = 11{,}5$$

Les lames h^1 sont presque normales à la bissectrice obtuse ; l'allongement est négatif.

Vert foncé ou noir. Eclat vitreux. Transparent en lame mince ; pléochroïque dans les teintes vertes.

(1) D'où le nom, du grec *acmé* « pointe ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Fusible en globule noir magnétique et colore la flamme en jaune. Faiblement attaquable par les acides.

L'acmite accompagne les roches éruptives acides et les phonolites.

Car. dist. — La forme des cristaux, la fusibilité et l'allongement négatif sont caractéristiques de ce pyroxène.

Jadéite

De nombreuses haches de l'époque préhistorique, trouvées en France et en Suisse, sont taillées dans un minéral appelé *jadéite* et qui n'est connu en place qu'au Thibet et en Birmanie. L'absence de gisements de jadéite en Europe a donc soulevé d'importantes questions au point de vue ethnographique.

La composition de ce minéral peut être représentée par la formule $Na^2O.Al^2O^3.4SiO^2$; sa dureté est 7 et il est très tenace par suite de l'enchevêtrement des fibres qui le composent.

Densité : 3,4.

Clinorhombique et optiquement *positif* avec $\alpha = 33°$, $2V = 70°$, $n = 1{,}659$ et $B = 29$. Incolore, blanc ou vert. Fusible en verre jaune et inattaquable par les acides.

Car. dist. — Voir jade.

Triphane (*Spodumène*)

C'est un pyroxène lithique, de formule $LiO^2.Al^2O^3.4SiO^2$; la lithine est en partie remplacée par de la soude.

Clinorhombique : $mm = 93°$; $ph^1 = 69°40'$. Macle h^1.

Clivage facile m ; plans de séparation p.

Dureté : 6 à 7. Densité : 3,16.

Positif ; le plan des axes optiques est g^1, avec (fig. 475) $\alpha = 26°$:

$$\alpha = 1{,}676 \qquad \beta = 1{,}666 \qquad \gamma = 1{,}660$$

$$B = 16,\ \theta = 49°,\ B(h^1) = 7,\ B(m) = 12{,}5,\ B(p) = 6,\ \alpha_m = 23°\,1/2.$$

$$2V = 75°55'.$$

Blanc, vert, rose. Pléochroïsme faible.

Au chalumeau, blanchit, devient opaque, se brise et fond en un verre incolore. Colore la flamme en rouge pourpre. Inattaquable.

C'est un minéral des granulites, employé parfois comme gemme lorsqu'il est vert (*hiddénite*) ou rose (*kunzite*).

Car. dist. — La fusibilité, les propriétés optiques et la présence de la lithine.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Wollastonite

Formule : $CaSiO^3$.

Système clinorhombique :

$mm = 84°25'$ $ph^1 = 69°48'$ $po^{\frac{1}{2}} = 50°18'$ $pa^{\frac{1}{2}} = 84°37'$

Ordinairement en masses fibreuses ou fibrolamellaires, allongées suivant l'axe binaire ; c'est à cette zone d'allongement qu'appartiennent les clivages p et h^1 parfaits, $o^{\frac{1}{2}}$ et $a^{\frac{1}{2}}$ imparfaits (contrairement aux autres pyroxènes où l'allongement et les clivages sont verticaux).

Dureté : 4,5 à 5. Densité : 2,85.

Blanche, grise ; éclat nacré sur les clivages. Translucide ; transparente en lames minces. Fragile.

Négative ; le plan des axes (fig. 479) est parallèle à g^1 avec $\alpha = 78°$:

$\gamma = 1,635$ $\beta = 1,633$ $\alpha = 1,621$

$2V = 44°9'\frac{1}{2}$ $2E = 75°44'$

$2v = 40°$ env. $2e = 73°$ env.

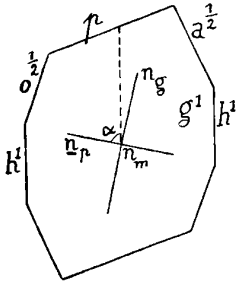


Fig. 479.

B = 14.

$B(h^1)$ = 1 avec allongement négatif,

$B(p)$ = 8 avec allongement positif,

$B(o^{\frac{1}{2}})$ = 2 avec allongement négatif,

$B(a^{\frac{1}{2}})$ = 3 avec allongement positif.

Fusible au chalumeau et cristallise en refroidissant. Attaquable avec gelée par les acides. Se transforme aisément en calcite.

La wollastonite [1] se trouve dans les calcaires cristallins.

Car. dist. — Les propriétés optiques : extinction parallèle à l'allongement qui est de signe variable ; plan des axes transversal. Se distingue de la trémolite par sa faible biréfringence et par l'action des acides. Voir pectolite.

---

[1] Dédiée au physicien Wollaston.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Pectolite

La composition est indiquée par la formule : $NaHCa^2 (SiO^3)^3$.

Système clinorhomique : $ph^1 = 84°40'$.

Ordinairement en cristaux allongés, comme la wollastonite, suivant l'axe binaire avec clivages p et h^1. Groupes aciculaires (1).

Dureté : 5. Densité : 2,73.

Blanche ou grise. Eclat soyeux dans la cassure.

Positive. Bissectrice aiguë parallèle à l'axe binaire (fig. 480).

$$\gamma = 1{,}633 \qquad \beta = 1{,}604 \qquad \alpha = 1{,}595$$
$$2H_0 = 144° \qquad N = 1{,}61 \qquad B = 38.$$

Donne de l'eau dans le tube. Fusible en émail blanc. Décomposée avec gelée par l'acide chlorhydrique. Parfois phosphorescente.

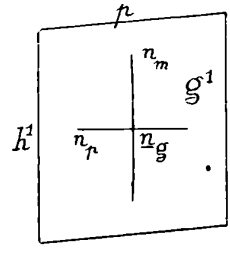


Fig. 480.

Se trouve dans les roches éruptives basiques, parfois dans les roches métamorphisées par contact.

Car. dist. — Se distingue de la trémolite par l'orientation du plan des axes qui est parallèle à l'allongement ; de la wollastonite par le signe de l'allongement qui est toujours positif et par la position de la bissectrice obtuse normale à h^1, ainsi que par la présence de l'eau.

Rhodonite

C'est un pyroxène clinoédrique, de formule $MnSiO^3$. — $mt = 87°32'$.

En cristaux agglomérés ou en masses très tenaces. Clivages m et t parfaits, p difficile.

Dureté : 6. Densité : 3,55.

Rouge, brune ou rose ; gris jaunâtre. Eclat vitreux, nacré sur les clivages.

La bissectrice aiguë est *négative* ; les angles d'extinction positive, comptés à partir de la direction verticale, sont respectivement égaux à 10° et à 55° sur les clivages m et t.

$$\gamma = 1{,}744 \qquad \beta = 1{,}740 \qquad \alpha = 1{,}733$$

(1) Le nom vient de *pectos* « peigne » et *lithos* « pierre ».

En poudre fine, partiellement attaquée par l'acide chlorhydrique. Donne une masse verte avec la soude et le nitre.

Se trouve dans des gîtes manganésifères.

Car. dist. — Se distingue des autres pyroxènes par son système cristallin et par la présence du manganèse.

Groupe des Amphiboles

Ce groupe est symétrique de celui des pyroxènes ; la composition chimique est analogue. Cependant le rapport MgO : CaO est généralement voisin de 3 ; il existe des amphiboles (1) orthorhombiques, clinorhombiques et clinoédriques, mais nous n'étudierons que les plus communes d'entre elles : ce sont la *trémolite* et l'*actinote*, que l'on trouve dans les roches métamorphisées, et la *hornblende* qui est un élément essentiel des roches éruptives.

Ces trois amphiboles cristallisent dans le système clinorhombique et leur forme primitive est caractérisée par les incidences suivantes :

$$mm = 55°49' \quad ph^1 = 75°2' \quad g^1e^1 = 74°14' — ma^1 = 76°48'$$

Toutes ont leurs axes optiques situés dans le plan de symétrie g^1 ; comme pour les pyroxènes, nous désignons par α l'angle que fait n_g (fig. 481) avec la verticale ; seulement, ces minéraux sont de signe *négatif* et, comme α ne dépasse pas 20°, la bissectrice aiguë n_p est peu inclinée sur h^1.

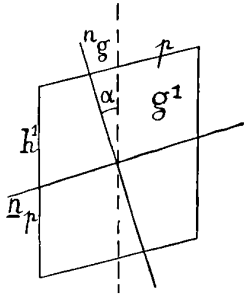


Fig. 481.

La valeur des indices, compris entre 1,6 et 1,8, comporte les mêmes remarques que pour les pyroxènes en ce qui concerne leur comparaison avec le baume et le quartz.

Les faces h^1, presque normales à une bissectrice, se distinguent aisément des faces h^1 des pyroxènes qui sont obliques à un axe optique.

Les clivages m sont plus nets que ceux des pyroxènes. Les sections appartenant à la zone verticale h^1g^1 et ne montrant que des traces de clivage parallèles entre elles, ont des angles

(1) Du grec *Amphibolos* « douteux », ces minéraux ayant longtemps été confondus avec d'autres.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

d'extinction variables de α à 0° (1) ; elles ne montrent donc jamais dans cette zone des angles d'extinction aussi élevés que ceux des pyroxènes ; nous désignons par α_m l'angle d'extinction sur m calculé pour l'extinction positive.

Trémolite — Actinote

La trémolite a pour formule $CaO.3MgO.4SiO^2$ ou $CaMg^3(SiO^3)^4$; mais MgO est remplacé en partie par FeO et le minéral passe alors à l'*actinote* de formule $Ca(MgFe)^3(SiO^3)^4$.

Allongés suivant l'axe vertical, ces minéraux se présentent en masses prismatiques très rarement terminées aux extrémités ; les faces m prédominent, parfois avec g^1 et h^1. Ces cristaux ont une tendance à s'agglomérer en fibres : la trémolite, lorsque les fibres sont très fines, devient l'*asbeste* qui prend le nom d'*amiante* lorsque les fibres sont soyeuses, flexibles et tissables ; le *carton* ou *liége de montagne* est une variété d'actinote en fibres enchevêtrées largement en formant une masse légère ; le *jade* ou *néphrite* possède, au contraire, une texture serrée, qui lui donne une grande ténacité.

Le clivage m est parfait ; les clivages g^1 et h^1 sont assez nets ; il y a aussi des cassures transversales.

Dureté : 5 à 6. Densité : 2,9 à 3,2.

Le tableau suivant donne un aperçu des constantes optiques, variables avec la composition :

	γ	β	α	Angle α	2V	α_m	B	$B(h^1)$	$B(m)$
Trémolite	1,6340	1,6223	1,6045	+15°	77°18′	13°57′	29,5	9,7	14.9
Actinote	1,636	1,627	1,611	+15°	72°6′	14°44′	25	7,3	11,1

Les indices mesurés varient de 1,655 à 1,599.

$$2v = 75° \text{ à } 88°$$

La trémolite est incolore, blanche ou grise ; l'actinote est verte ou jaune ; les variétés colorées sont pléochroïques dans les teintes vertes ou jaunes. L'éclat est vitreux, un peu nacré sur les faces de clivage.

(1) En réalité, ces angles passent, pour certaines sections entre h^1 et g^1, par des valeurs supérieures à α, mais la différence est peu grande et peut être négligée dans la pratique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Au chalumeau, la trémolite blanchit et fond plus ou moins facilement en un verre blanc, l'actinote en un émail grisâtre. Inattaquable par les acides.

La trémolite se transforme, en s'altérant, en talc, en calcite; l'actinote en chlorite, en épidote.

Ces minéraux (1) se trouvent dans les calcaires métamorphisés au contact de roches éruptives ou de filons quartzeux; ils se sont aussi formés dans les schistes cristallins (amphiboloschistes) et dans les fissures de roches variées. L'asbeste se rencontre dans des roches cristallines, des calcaires grenus, des serpentines et aussi dans des couches de minerai de fer.

Car. dist. — La forme prismatique, les clivages et les propriétés optiques. Le jade se distingue de la jadéite par sa fusibilité et sa densité moins élevée. Voir serpentine et crocidolite.

Hornblende

Les hornblendes ont la composition chimique de l'actinote avec en plus, Al^2O^3 et Fe^2O^3 dans des proportions variables.

La forme commune des cristaux est donnée par les figures 233, 482 et 483, cette dernière représentant la macle h^1.

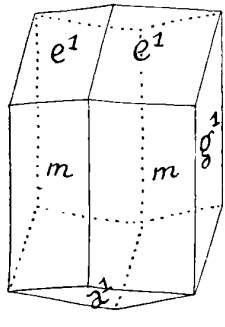


Fig. 482.

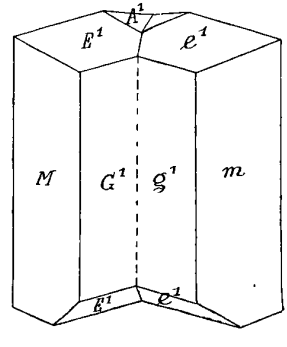


Fig. 483.

Le clivage m est parfait; h^1 et g^1 parfois distincts. Plans de séparation g^1 et p dus à des macles polysynthétiques.

Dureté : 5,5. Densité : 3 à 3,24.

L'angle α de n_g avec la verticale varie de 0° à 14° dans les

(1) Le mot trémolite vient de Val Tremola (Italie); actinote vient de *actinos* « rayons », à cause de sa structure.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

hornblendes des basaltes et de 15° à 25° dans les hornblendes communes. Le tableau suivant renseigne sur les constantes optiques :

	γ	β	α	Angle α	2V	α_m	B	$B(h^1)$	$B(m)$
H. commune	1,653	1,642	1,629	20°	84°36′	17° $\frac{1}{2}$	24	8	12.8
H. basaltique	1,752	1,725	1,680	1°30′	73°47′	1° $\frac{1}{2}$	72	27	37

Les indices mesurés varient de 1,752 à 1,618.

$$2v = 59° \text{ à } 85°$$

La couleur est d'autant plus foncée que le minéral contient plus de fer : verte, brune, noire. Pléochroïsme très net. Eclat vitreux. Transparente en lame mince.

Fond avec un bouillonnement en un émail jaune ou noir. Inattaquable.

Se transforme en chlorite, en biotite, en épidote. L'*ouralite* est une amphibole pseudomorphe de pyroxène, orientée optiquement sur le cristal primitif ; le diallage ouralitinisé s'appelle *smaragdite*.

Les hornblendes forment les éléments essentiels ou accessoires de nombreuses roches éruptives ; leurs cristaux se trouvent dans les roches volcaniques (andésites et trachytes) et dans les tufs basaltiques. Les hornblendes se rencontrent également dans les schistes cristallins, gneiss, amphibolites, pyroxénites, etc.

Arfvedsonite — Crocidolite — Riebeckite

Ces amphiboles sont très sodiques ; leur composition chimique paraît indiquée par la formule :

$$x\text{NaFeSi}^2\text{O}^6 + y\text{FeSiO}^3.$$

Système clinorhombique.

Clivage *m* avec : $mm = 75°$ environ.

Dureté : 4. Densité : 3,25.

Couleur bleu lavande ; éclat soyeux. Transparents en lame mince.

Positives ; le plan des axes (fig. 484) est parallèle à g^1 ; l'angle α est de 69° pour la crocidolite, de 76° pour l'arfvedsonite et de 85° pour la riebeckite ; $2E = 95°$ environ.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les indices varient de 1,705 à 1,606.

Pléochroïsme très net : n_g jaune pâle ; n_m bleu violet ; n_p bleu vert.

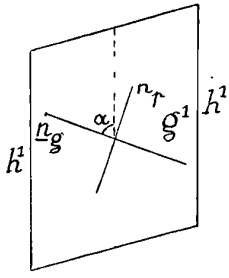


Fig. 484.

Fusibles en un verre noir magnétique et colorant la flamme en jaune intense. Inattaquables.

Se trouvent dans les roches éruptives néphéliniques où la crocidolite constitue des veines de plusieurs centimètres d'épaisseur avec fibres soyeuses, normales aux parois.

Car. dist. — La crocidolite est souvent appelée *asbeste* par suite de sa structure fibreuse : elle se distingue de la trémolite par sa fusibilité ; le chrysolite se distingue de la trémolite et de la crocidolite par le signe positif de l'allongement des fibres.

DIAGNOSTIC DES PYROXÈNES ET AMPHIBOLES

Ces minéraux sont suffisamment caractérisés par leur forme, leurs clivages, leur dureté et leur densité ; mais c'est principalement l'examen de leurs propriétés optiques qui permet de différencier ceux d'entre eux que l'on rencontre en lames minces de roches éruptives : enstatite, hypersthène, diopside-augite, hornblende.

En lame mince, ces minéraux sont classés parmi les éléments colorés par transparence en lumière naturelle et ce caractère, joint à leur relief et à leur biréfringence élevée, ne permet de les confondre qu'avec les micas noirs et l'olivine ; mais l'olivine n'a pas de clivage et les micas noirs ne montrent jamais qu'une seule trace de clivage parallèlement à laquelle se produit l'extinction : l'uniaxie du mica noir permet alors de le distinguer des plages h^1 de pyroxène et d'amphibole qui, s'éteignant aussi suivant la trace du clivage, ont chacune leurs apparences optiques spéciales prouvant la biaxie.

Les pyroxènes se distinguent de la hornblende par un pléochroïsme moins intense ; l'angle des traces de clivage, lorsque la section est à peu près horizontale, est caractéristique : cet angle est de 124° environ dans la hornblende (fig. 11) et de 87° environ (fig. 10) dans les pyroxènes ; d'ailleurs, les clivages de ces derniers sont plus irréguliers et plus interrompus que ceux de la hornblende.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Lorsque la section fait partie de la zone verticale h^1mg^1, l'angle d'extinction que fait le grand axe de section avec la trace des clivages (parallèles entre eux) ne dépasse pas 20° pour la hornblende et peut atteindre 51° pour le pyroxène ; les faces voisines de h^1, dans ce dernier minéral, ont des angles d'extinction moindres que 20°, mais montrent en lumière convergente le pôle de l'axe optique.

Les pyroxènes orthorhombiques se reconnaissent à leurs extinctions parallèles aux traces de clivage, et autres caractères indiqués à l'enstatite et l'hypersthène (extinctions roulantes, inclusions, etc.).

Béryl

La composition théorique de ce minéral répond à la formule Al^2Gl^3 $(SiO^3)^6$, mais les analyses montrent aussi la présence de petites quantités de FeO, MnO, Cr^2O^3, CaO et d'alcalis : K^2O Na^2O, Cs^2O.

Hexagonal : $pa^1 = 44°56'$.

Le clivage p est imparfait ; la cassure inégale.

Les béryls sont ordinairement allongés suivant l'axe vertical ; ils présentent la combinaison pm (fig. 34) mais sont parfois surchargés de facettes b^m et a^m (fig. 83) ; ces facettes présentent fréquemment des développements irréguliers (fig. 485) ; la face p manque parfois et le cristal se termine en pointe. Les masses de béryl peuvent atteindre d'énormes dimensions : on en a trouvé pesant plusieurs tonnes. Des déformations mécaniques peuvent avoir amené une torsion des prismes avec cassures recimentées par du quartz.

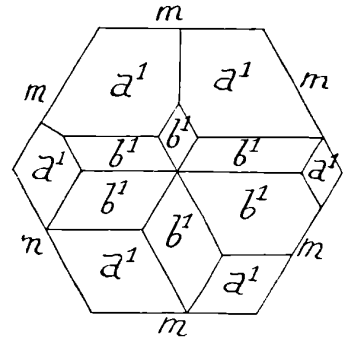


Fig. 485.

Dureté : 7,5 à 8. Densité : 2,6 à 2,80 ; cependant, certains béryls de Madagascar, renfermant du caesium, atteignent une densité de 2,88. Cassure conchoïdale.

Uniaxe et *négatif* ; voici quelques valeurs trouvées pour les indices :

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

	Emeraude	Beryl de Villeder	Beryl d'Elbe	B. rose	B. rose
ω	1,5841	1,5785	1,5771	1,5822	1,5996
ε	1,5780	1,5735	1,5720	1,5760	1,5911
B	6	5	5	6	8,5

La réfringence et la biréfingence augmentent, comme la densité, avec la teneur en alcalis et principalement en Cs^2O.

Incolore, blanc, jaune, vert, bleu, violet, rose. Eclat vitreux. Transparent ou opaque. Poussière blanche. Le dichroïsme est sensible en lame mince.

Le béryl est souvent riche en inclusions liquides qui y forment des facules.

Les béryls de belle teinte homogène et transparente constituent des gemmes de haute valeur : l'*aigue marine* est bleuâtre ; l'*émeraude* est verte ; la *morganite* est rose.

Au chalumeau, le béryl transparent devient blanc et opaque ; fusible difficilement sur les bords en scorie bulleuse. Inattaquable par les acides.

Le béryl se trouve dans les filons stannifères, dans des roches acides, dans des schistes et calcaires cristallins.

Les gisements les plus renommés des émeraudes et autres gemmes de même espèce sont les suivants : Muso (Colombie), où elles se trouvent, avec calcite et pyrite, dans des veines de quartz traversant un calcaire bitumineux ; Djebel Sabara (Mer rouge), en noyaux empâtés dans des micaschistes ; Madagascar, où le béryl rose existe dans des pegmatites avec kunzite et tourmaline ; la Sibérie et le Brésil les fournissent également, extraites de granulites : un cristal vert bleuâtre du Brésil mesurait 48,5 cent. et pesait 110,5 kg.

Car. dist. — La forme et la dureté. Optiquement, le béryl se rapproche du quartz par sa biréfringence, mais s'en écarte par son signe et sa réfringence plus élevée ; de la néphéline par sa biréfringence et son signe, mais sa réfringence est plus élevée.

Calamine

C'est le silicate de zinc, de formule $Zn^2H^2SiO^5$ ou $(ZnOH)^2SiO^3$, qui donne 54,2% de zinc.

Orthorhombique antihémiédrique : $mm = 76°9'$, $pe^1/_3 = 55°6'$. Les cristaux sont presque toujours aplatis suivant g^1 qui

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

est striée verticalement ; leur forme a été expliquée antérieurement (fig. 72) ; ils sont ordinairement engagés par la pointe. Clivage *m* parfait. Les cristaux s'agglomèrent en éventail, en tapissant les cavités de masses concrétionnées, fibreuses, stalactitiques, massives [1] (voir smithsonite).

Dureté : 5. Densité : 3,35 à 3,5.

Le plan des axes est parallèles à h^1 ; la bissectrice, *positive*, est perpendiculaire à p : les faces g^1 sont donc perpendiculaires à la bissectrice obtuse et la trace du plan des axes est parallèle à leurs stries.

$\gamma = 1{,}636$	$\beta = 1{,}617$	$\alpha = 1{,}614$
$B = 22$	$B(g^1) = 19$	$B(m) = 21$
$2V = 46°9'$	$2E = 78°39'\frac{1}{2}$	$2e = 78°$ à $80°$

Dispersion très forte $\rho > v$.

Pyroélectrique : le pôle antilogue se trouve à l'extrémité pointue. Phosphorescente par frottement.

Incolore, blanche, grise, jaune ; des inclusions de CdS la rendent jaune d'or. Eclat vitreux, brillant sur *m*. Poussière blanche.

Au chalumeau, décrépite, se gonfle, répand un vif éclat avec lueur verdâtre et fond difficilement sur les bords. Humectée de nitrate de cobalt et chauffée, se colore en vert. Dans le tube fermé, blanchit : l'eau ne se dégage qu'à 340°. Soluble en faisant gelée dans les acides.

Accompagne la blende dans ses gisements. En Belgique, de beaux cristaux proviennent de Moresnet, Engis, Welkenraedt, Theux, Corphalie, etc.

Car. dist. — La forme aplatie, rectangulaire au-dessus, en pointe en dessous, les stries, le clivage, l'éclat, les propriétés optiques. Voir hopéite.

Cordiérite (*iolite*)

Ce minéral est un silicate acide, dérivé de l'acide $SiO^2.1{,}7H^2O$ ou $H^{34}Si^{17}O^{30}$. Sa formule peut s'écrire : $(Mg,Fe)^4H^2Al^3(Si^{10}O^{37})$; mais on y trouve aussi MnO, CaO, Fe^2O^3.

Orthorhombique : $mm = 60°5'$, $pe^1 = 20°11'$.

Les cristaux portent les faces *p* et *m*, auxquelles peuvent se

---

[1] Le nom vient du mot latin « calamus » roseau, allusion à certaines formes du minéral.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

joindre h^1, g^1, e^1 et des b^m. Il existe des macles du genre de celles de l'aragonite.

Le clivage g^1 est distinct : les clivages p et h^1 sont difficiles. Le clivage p prédomine lorsque la cordiérite commence à s'altérer.

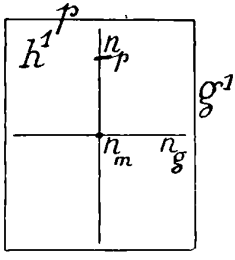


Fig. 486.

Dureté : 7 à 7,5. Cassure conchoïdale. Densité : 2,62.

Le plan des axes optiques est h^1 (fig. 486) ; la bissectrice *négative* est perpendiculaire à p. Les indices et l'angle des axes ont des valeurs très variables d'après les échantillons et même dans les plages d'une même section :

$$\gamma = 1{,}539 \qquad \beta = 1{,}536 \qquad \alpha = 1{,}532$$
$$B = 7 \qquad 2V = 81°36' \qquad 2H = 86°16'$$
$$b = 6 \text{ à } 10 \qquad 2v = 39° \text{ à } 84°.$$

Bleue. Eclat vitreux. Transparente ou translucide. Le pléochroïsme est très sensible dans les plaques épaisses (1) : n_g bleu clair, n_p violet, n_m jaune clair ou brunâtre. Incolore en lame mince.

Au chalumeau devient opaque et fond difficilement. Faiblement attaquable.

La cordiérite s'altère facilement et se transforme en mica ; par suite de la formation du mica, le clivage p se développe et les lamelles de mica se placent parallèlement : on a donné à ce produit le nom de *gigantolite* ; lorsque la transformation est irrégulière, on a la *pinite*.

La cordiérite renferme souvent des inclusions de zircon avec auréoles pléochroïques : incolores dans une direction et jaunes dans l'autre.

La cordiérite se trouve dans les granites, les granulites et les gneiss ; également dans les schistes micacés au contact des granites et dans les bombes volcaniques. On trouve à Ceylan une variété transparente, d'un bleu intense (*saphir d'eau*), que l'on emploie en bijouterie.

Car. dist. — La fusibilité et la biaxie la distinguent du quartz bleu. En lame mince, les auréoles pléochroïques et la réfringence la distinguent du quartz et des feldspaths ; les sections p s'étei-

(1) Cette propriété a fait aussi appeler ce minéral *dichroïte*, ou aussi *isolite* (violet) ; le mot *cordiérite* vient du savant français Cordier.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

gnent à 30° de la ligne de macle et montrent une bissectrice aiguë négative.

Planchéite

Les compositions trouvées pour ce minéral correspondent aux formules $5SiO^2.6CuO.\ 2H^2O$ (Congo français) ou $3SiO^2.3CuO.H^2O$ (Katanga).

Il forme des concrétions ou des sphérolites à fibres très serrées, souvent asbestiformes.

Dureté : 5,5. Densité : 3,36.

Coloration bleue plus ou moins intense.

Les fibres s'éteignent suivant l'allongement ; leur biréfringence est voisine de 50. *Positive.*

Pléochroïsme net.

$$\alpha = 1{,}716 \qquad \beta = 1{,}667 \qquad \gamma = 1{,}644$$

Caractères chimiques de la dioptase.

A été trouvée dans les mines de cuivre du Congo français et du Katanga.

Car. dist. — Comme silicate de cuivre fibreux il ne peut être confondu qu'avec la shattuckite.

Shattuckite

Ce minéral est un autre silicate de cuivre fibreux, de formule $2CuO.2SiO^2.H^2O$, qui se présente, comme la planchéite, en concrétions ou sphérolites, de coloration bleue plus ou moins vive. Il se distingue du minéral précédent par ses indices de réfraction.

$$\gamma = 1{,}815 \qquad \beta = 1{,}782 \qquad \alpha = 1{,}752$$

Dichroïsme net dans les teintes bleues.

Cérite

C'est un silicate des métaux du groupe du cérium, dont la composition correspond à : $(Ca,Fe)Ce^2(OH)^3(CeO)(SiO^3)^3$.

Orthorhombique, mais cristaux très rares. Généralement en masses finement grenues.

Dureté : 5,5. Densité : 4,9.

Couleur grise à rouge ; éclat adamantin ou résineux. Poussière grise.

Optiquement *positive* : $n = 1{,}818$; $B = 4$; $2E = 46°$.

Donne de l'eau dans le tube. Infusible. Décomposée avec gelée par l'acide chlorhydrique.

Car. dist. — Se distingue du corindon granulaire par la dureté.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Néphéline

La formule adoptée pour ce minéral est : $3Na^2O.K^2O.4Al^2O^3.9SiO^2 = Al^8Na^6K^2Si^6O^{34}$. On l'a considéré comme provenant d'un mélange de leucite : $K^2O.Al^2O^3.4SiO^2$ et du silicate $Na^2O.Al^2O^3.2SiO^2$.

Hexagonale : $pb^1 = 44°5'$. En cristaux portant toujours les faces m et p, avec de légères troncatures h^1, h^1,b^2 etc.ou en masses vitreuses dites : *élaeolite*.

Clivages difficiles : m, p. Cassure inégale.

Dureté : 5 à 6. Densité : 2,55.

Uniaxe et *négative* :

$$\omega = 1{,}5469 \qquad \varepsilon = 1{,}5422 \qquad B = 4{,}7$$

La *cavalinite* est une néphéline positive du Vésuve avec $B = 7$.

Blanche et incolore. L'élaeolite est jaune ou brune. Eclat gras.

Fusible en verre incolore. Dans l'acide chlorhydrique, devient nébuleuse (1) et est décomposée en gelée.

La néphéline est un élément des roches éruptives : à l'état de néphéline dans les roches volcaniques, d'élaeolite dans les roches plutoniques.

Car. dist. — Son éclat et sa forme sont caractéristiques. En lame mince, se distingue de l'apatite par sa moindre réfringence ; du quartz par ses clivages, sa forme, sa moindre réfringence et par son signe optique ; des feldspaths non maclés, par sa réfringence plus élevée et par son uniaxie. Voir béryl.

Sodalite — Hauyne — Noséane

La sodalite a pour formule : $3Al^2Na^2(SiO^4)^2 + 2NaCl$, mais elle renferme souvent CaO et K^2O. Certaines analyses tendent à faire admettre la formule $ClAl.Na^4.(SiO^4)^3.Al^2$. La formule de la noséane serait alors $NaSO^4.Al.Na^4(SiO^4)^3Al^2$. La hauyne est une noséane dans laquelle une partie de Na^2O est remplacée par CaO.

Ces trois minéraux sont cubiques et cristallisent en rhombododécaèdres b^1 ; il existe divers types de macles dont les plus fréquentes ont pour plans de macles a^1 ou a^2 ; des allongements suivant l'axe ternaire rendent parfois ces groupements difficiles à orienter. Les cristaux sont généralement petits.

(1) D'où le nom, du grec *néphélè* « nuage ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dureté : 5 à 6.

Densité : 2,14 à 2,3 (sodalite) ; 2,25 (noséane) ; 2,5 (hauyne).

Monoréfringents : $N = 1{,}48$ à 1,50.

La sodalite est incolore, grise, blanche ou bleue, avec éclat vitreux. La noséane est incolore ou blanche, mais des inclusions fréquentes la rendent grise ou opaque. La hauyne est incolore ou d'un beau bleu transparent : cette coloration bleue est parfois très vive dans les lames minces.

La sodalite est facilement fusible en un verre incolore ; la hauyne et la noséane le sont difficilement. Par ébullition dans l'eau bouillante, les chlorures et sulfates se séparent et peuvent être caractérisés chimiquement. La noséane et la hauyne, fondues sur le charbon avec du Na^2CO^3, donnent un sulfure alcalin qui noircit une pièce d'argent humide. Solubles dans les acides.

Ces minéraux sont des éléments de roches éruptives (syénites, néphélinites, phonolites, téphrites).On les trouve aussi dans les bombes volcaniques.

Car. dist. — La forme, l'éclat et la monoréfringence sont distinctifs. La réfringence est plus forte que celle de la leucite et de l'analcime. Pour distinguer ces minéraux l'un de l'autre, un essai chimique est nécessaire : en dissolvant un petit fragment sur une lame de verre, dans l'eau bouillante, et laissant évaporer, la sodalite donne des cubes de NaCl ; un fragment, dissous dans une goutte d'acide chlorhydrique, laisse, après évaporation, des cubes de NaCl pour la noséane, et des aiguilles de $CaSO^4$ avec des cubes de NaCl pour la hauyne.

Outremer (*Lazurite*)

Ce minéral opaque, d'un beau bleu d'azur, a une composition voisine de celle de la noséane, mais il contient aussi du sulfoaluminate de soude. Il raye le verre, est soluble avec gelée dans les acides et fond difficilement en perdant sa couleur.

Densité : 4,4.

L'outremer, appelé aussi *lapis-lazuli*, est employé pour la confection d'objets d'ornement ou comme pierre précieuse de fantaisie ; on en a extrait la matière colorante dite outremer, que l'on fabrique aujourd'hui artificiellement.

Elle provient de la Perse, de la Chine et du lac Baïkal et se trouve en filons dans des calcaires cristallins.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Grenats

La composition chimique des grenats répond à la formule : $3RO.R^2O^3.3SiO^2$; on y distingue six types principaux :

le *grossulaire*	$Ca^3Al^2Si^3O^{12}$
la *mélanite*	$Ca^3Fe^2Si^3O^{12}$
l'*ouwarowite*	$Ca^3Cr^2Si^3O^{12}$
le *pyrope*	$Mg^3Al^2Si^3O^{12}$
l'*almandin*	$Fe^3Al^2Si^3O^{12}$
la *spessartine* (1)	$Mn^3Al^2Si^3O^{12}$

Il existe de nombreux grenats intermédiaires que l'on peut considérer (**299**) comme des mélanges isomorphes de deux ou plusieurs de ces types.

Les grenats cristallisent dans le système cubique ; les formes prédominantes sont, ou le rhombododécaèdre b^1 (fig. **107**) ou le trapézoèdre a^2 (fig. **110**) ; fréquemment, ces formes sont associées (fig. **487** et **488**) ; les faces a^2 sont striées parallèlement à leurs

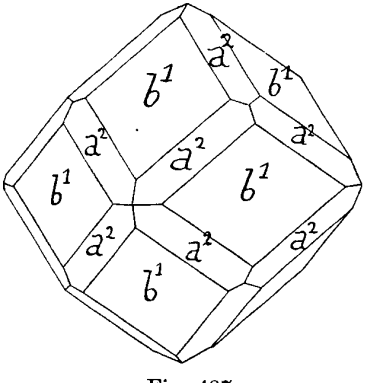


Fig. 487.

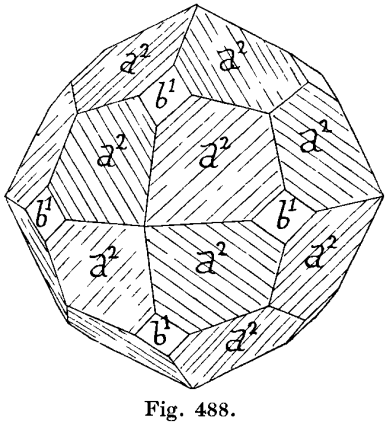


Fig. 488.

intersections avec b^1. Les cristaux sont souvent volumineux ; on trouve aussi les grenats en masses cristallines. Il n'existe pas de clivage.

La dureté, qui est 6,5 pour le grossulaire et atteint 8 pour le pyrope, est généralement de 7.

La densité varie de 3,3 à 4,3.

(1) Le mot grossulaire vient de sa couleur (*grossularia*, groseille) ; mélanite, de *mélas* « noir » ; ouwarowite du nom d'un ministre russe Uwaroff ; pyrope de *pur* « feu », à cause de sa couleur ; almandin est une transformation du mot « alabandins » de la ville d'Alabanda où ces pierres étaient taillées ; spessartine d'une localité de Bavière.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

De nombreux grenats calciques sont pseudocubiques : leur forme est due à l'assemblage d'individus orthorhombiques biréfringents dont le groupement le plus fréquent a été indiqué précédemment (**248** fig. 217) ; une lame b^1, dont la biréfringence est alors égale à 6, est perpendiculaire à une bissectrice d'axes dont l'angle $2V = 56^o$; on a $b = 27$. Pour les grenats monoréfringents (1), l'indice de réfraction varie de 1,71 à 1,98.

La couleur des grenats est très variable : le grossulaire, incolore, vert, jaune, est parfois brun ; la mélanite appelée aussi *andradite*, souvent noire, peut être jaune brun ; l'ouwarowite est verte ; le pyrope est rouge ; l'almandin est brun ou rouge, de même que la spessartine. Le *démantoïde* est un beau grenat vert clair transparent de l'Oural et la *topazolite* est un grenat jaune verdâtre du Piémont : ce sont des mélanites. La *schorlomite* est un grenat titanifère. Généralement opaques, parfois translucides, rarement transparents. Eclat vitreux. En lames minces, les grenats sont incolores, roses ou verts (ouwarowite).

La fusibilité au chalumeau varie comme il est indiqué plus loin.

Décomposés partiellement par l'acide chlorhydrique ; le tableau suivant donne les caractères distinctifs des variétés :

	Dureté	Densité	Caractères pyrognostiques
Grossulaire	6,5 à 7	3,53	Fond aisément en un verre clair non magnétique. Peu attaquable par HCl. Après fusion fait gelée dans les acides.
Mélanite	7	3,75	Fond aisément en un verre noir magnétique. Attaquable en partie par HCl. Après fusion, fait gelée dans les acides.
Spessartine	7	4,2	Fond aisément en un verre noir non magnétique. Avec le borax, donne une perle améthyste. Difficilement attaquable par HCl.
Almandin	6,5 à 7,5	4,0	Fond aisément en un verre noir plus ou moins magnétique. Très difficilement attaquable par HCl. Après fusion, fait gelée dans les acides.
Ouwarowite	7	3,4	Infusible. Avec le borax, donne une perle verte. Insoluble dans les acides.
Pyrope	7 à 7,5 et 8	3,7	Fond difficilement en une perle noire non magnétique. Après fusion, fait gelée dans les acides.

(1) Tous les grenats calciques ne sont pas biréfringents.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les grenats sont communs dans les schistes cristallins, les gneiss et les syénites, dans les roches éruptives basiques ; ce sont aussi des produits de métamorphisme de contact ; on les trouve accidentellement dans les tufs, laves et bombes volcaniques.

Le grossulaire et la mélanite se rencontrent surtout dans les calcaires cristallins ; l'almandin dans les schistes cristallins ; le pyrope dans les péridotites et les serpentines ; la spessartine dans les roches granitiques et les schistes métamorphisés ; l'ouwarowite dans des serpentines chromifères.

En bijouterie, les grenats de couleur claire sont souvent nommés *hyacinthes* : le pyrope et le glossulaire sont surtout employés.

En Belgique, on a trouvé la spessartine dans des schistes cambriens de Salm-Château, dans des quartzites et schistes métamorphiques de Bastogne. Le coticule est en grande partie constitué par des rhombododécaèdres microscopiques de spessartine ferrifère. Au Congo, les grenats sont abondants dans des schistes cristallins et des quartzites ; la péridotite altérée des cheminées du Katanga est remplie de pyrope.

Car. dist. — Forme des cristaux, dureté, éclat. Pour distinguer les grenats l'un de l'autre, on peut se baser sur les caractères résumés dans le tableau de la page 559.

En lame mince : relief très prononcé, absence de clivages, monoréfringence ou biréfringence disposée par secteurs s'éteignant inégalement.

Helvine

La composition de ce minéral se rapproche de celle indiquée par la formule : $3(Gl,Mn,Fe)\,SiO^4 + (Mn,Fe)S$.

Système cubique, groupe tétraédrique. Ordinairement en tétraèdres ou en enduits.

Dureté : 6,25. Densité : 3,26.

Couleur jaune de miel [1]. Eclat vitreux. Rayure incolore.

Isotrope. $N = 1{,}739$.

Pyroélectrique.

Fusible avec gonflement en une perle jaune brunâtre opaque ; donne une masse verte avec la soude. Décomposée par l'acide chlorhydrique avec dégagement de H^2S.

Se trouve dans les gneiss et les pegmatites.

---

[1] D'où le nom, de *hélios* « soleil ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Car. dist. — La forme, la couleur, l'action de l'acide chlorhydrique.

Eulytine

Formule : $Bi^4Si^3O^{12}$.

Système cubique tétraédrique. En tétraèdres ou tétratrièdres.

Petits cristaux bruns ou jaunâtres.

Dureté : 4,5. Densité : 6,1. $N = 2{,}05$.

Fusible (1) en une masse jaune foncée avec dégagement de fumées incolores. Fait gelée avec les acides.

Se trouve dans les filons de bismuth.

Car. dist. — La forme et la couleur.

Micas

Les micas sont caractérisés par un clivage extrêmement facile (clivage micacé) qui leur donne une structure feuilletée très caractéristique. Ce clivage produit des lames très minces, flexibles et élastiques.

La composition chimique des micas a donné lieu à de nombreux travaux. On peut les déduire d'une combinaison $Al(SiO^4)^3\ H^9$, dont les 9H ne sont pas entièrement remplacés par des métaux ce qui explique que les micas donnent tous de l'eau au rouge. Les métaux substitués sont trivalents, bivalents ou monovalents. Dans beaucoup de ces minéraux, cependant, le groupe (SiO^4) serait remplacé par le groupe (Si^3O^8) et les micas les plus acides seraient des mélanges de ces deux silicates à peu près dans le rapport 1 : 1.

Pour les principaux types de micas les analyses conduisent à :

Micas alcalins	potassiques :	*Muscovite*	$Al^3KH^2(SiO^4)^3$	Micas blancs ou biaxes
	lithiques :	*Lépidolite*	$Al^2KLi^2(Fl,OH)^2(SiO^3)^3$	
	pot. et lithiques :	*Zinnwaldite*	$Al^3(K,Li)^3(Fl,OH)^2Si^5O^{16}$	
Micas magnésiens	riches en fer :	*Biotite*	$(Al^2,Fe^2)(Mg,Fe)^2(K,H)^2(SiO^4)^3$	micas noirs ou uniaxes
	peu ferrifères :	*Phlogopite*	$AlMg(K,H)^3(SiO^4)^3$	

Les cristaux de micas ont une apparence hexagonale, mais ils cristallisent, en réalité, dans le système clinorhombique, ce que confirme l'examen des figures de corrosion (**138**) ; ces cristaux sont souvent très allongés, ayant la forme de pyramides aiguës plus ou moins déformées. On trouve fréquemment le mica en paillettes très petites, mais on trouve aussi des cristaux, sans forme extérieure régulière, très volumineux et donnant des plaques

(1) Le nom vient de *eulutos* « fusible ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de clivage qui peuvent atteindre un mètre carré. Parfois, les lamelles se courbent et s'arrondissent, s'emboîtent les unes dans les autres, donnant ce que l'on appelle la texture *testacée*.

L'angle des faces *m* est très voisin de 60° ; l'angle de *m* avec *p* est très proche de 90°. Les macles les plus habituelles ont *m* pour plan de macle, mais se font soit par accolement du plan de macle, soit par superposition sur *p* ; ces macles donnent lieu souvent à des plages de structure très irrégulière. C'est également à ces macles qu'est due la texture *palmée* de certains micas ressemblant à une barbe de plume.

La dureté des micas est de 2 à 3 ; la densité varie de 2,76 à 3,20.

Tous les micas sont biaxes et négatifs. La bissectrice aiguë est normale, à très peu près, au clivage, mais la trace du plan des axes est parallèle (**291**) à l'une des fissures faites par choc dans les biotites et la zinnwaldite et à l'une des fissures de pression dans la muscovite et la lépidolite.

	γ	β	α	$2e$
Muscovite	1,5977	1,5936	1,5601	60° à 74°
Lépidolite	1,6047	1,5975		57° à 83°
Zinnwaldite	1,606	1,606	1,562	50° à 65°
Biotite-phlogopite	1,606	1,606	1,562	0° à 40°

La biréfringence *b* est toujours très élevée, variant de 40 à 60 ; la biréfringence des lames de clivage est au contraire toujours faible, n_g étant très voin de n_m ; elle varie de 0 à 4. C'est à cause de la faible valeur de $2e$ dans les *micas magnésiens* que ceux-ci sont dits uniaxes.

Les micas alcalins (micas blancs) sont de couleur claire : incolores, blancs, gris, jaunes, verts, roses (*lépidolite*) (1), violets (*zinnwaldite*). Les micas noirs sont généralement de couleur foncée (noirs, verts, bruns, rouges, jaunes). Tous les micas sont transparents en lame mince ; les micas blancs sont incolores ; les micas noirs présentent un dichroïsme très énergique avec teinte claire (jaune, incolore) suivant n_p et teinte foncée (brune, verte, jaune) suivant n_g ou n_m (trace du clivage).

(1) La couleur rose est due à du manganèse. — Les mots *mica* et *muscovite* sont des noms anciens ; lépidolite vient de *lepis* « échelle », à cause d'une texture fréquente ; *biotite* vient du nom du savant français Biot ; *phlogopite* de « phlogopos », couleur de feu.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

L'éclat est vitreux, plus ou moins nacré sur le clivage. Souvent fluorescent par clivage.

Les micas noirs renferment très souvent des inclusions de zircon, avec auréoles pléochroïques (**282**) qui se manifestent également autour d'inclusions d'apatite et de sphène ; ces auréoles disparaissent sous l'influence d'une forte élévation de température, inférieure cependant à celle de la décomposition du mica. Les inclusions des micas blancs sont constituées par de l'apatite, du zircon, des spinelles, de la tourmaline, de la magnétite, de l'oligiste, etc.

Dans le tube fermé, les micas donnent de l'eau et parfois du fluor. Au chalumeau, la muscovite devient blanche, nacrée et fond seulement sur les bords ; la lépidolite est facilement fusible avec gonflement en verre gris ou blanc et colore la flamme en rouge ; la zinnwaldite est très facilement fusible en verre faiblement magnétique et les micas magnésiens fondent sur les bords en un verre noir. On reconnaît la présence de la potasse en humectant le minéral avec du $CaCl^2$ et en le plaçant dans la flamme où, même en présence de lithium, il donne une coloration pourpre sensible à travers un verre bleu.

La muscovite est presque inattaquée par les acides ; la lépidolite est à peine attaquable, mais fait gelée après fusion ; la zinnwaldite en poudre fine et les micas magnésiens sont complètement attaqués avec dépôt de silice.

La muscovite ne s'altère guère ; la biotite se transforme souvent en chlorite.

Parmi les nombreuses variétés de micas, nous citerons :

la *damourite* qui constitue des écailles parfois microscopiques dont la réunion peut donner des masses grenues ou compactes ; l'angle 2E y est faible : 10° à 12° ;

la *davreuxite* qui est une muscovite en écailles fibrolamelleuses, un peu roses, à éclat nacré, remplissant avec le quartz des veines filoniennes ;

la *séricite* qui est une muscovite à éclat soyeux se trouvant en paillettes souvent microscopiques dans de nombreuses roches schisteuses ;

le *méroxène* qui est une biotite verte du Vésuve ;

le *rubellane*, biotite rouge, altérée, des roches volcaniques de l'Eifel ;

la *bastonite*, biotite brunâtre des environs de Bastogne ;

la *lépidomélane*, phlogopite opaque, très ferrifère ;

la *roscoélite*, qui contient du vanadium.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On sait que les micas sont des éléments essentiels des roches, aussi bien des roches éruptives que sédimentaires et cristallophylliennes ; on les trouve aussi dans les roches métamorphiques et dans les veines filoniennes et spécialement la zinnwaldite dans les filons stannifères. Ils se présentent en éléments de grandeurs très variables, depuis celle des grands cristaux pesant plus de 100 kgs et exploités au Canada et au Bengale, jusqu'aux parcelles sériciteuses qui abondent dans certaines roches.

Le mica est employé pour la fabrication de plaques réfractaires (regards de poêles et de fours, lanternes, lustres, etc.) ; on l'utilise comme isolant dans l'industrie électrique ; on l'a essayé comme vitrage de navires de guerre. La lépidolite sert à l'extraction des sels de lithium.

Car. dist. — Le clivage micacé donnant des lamelles élastiques est caractéristique des micas. On verra plus loin les caractères distinctifs des clintonites, des chlorites et du talc. La distinction des micas entre eux doit être basée sur la position du plan des axes, l'action du chalumeau et celle des acides.

En lame mince, les micas se reconnaissent à la présence d'une seule direction de clivage parallèlement à laquelle se produit l'extinction positive et à leur très haute biréfringence. Les micas noirs se distinguent des micas blancs par leur pléochroïsme intense ; on ne peut les confondre qu'avec certaines hornblendes, mais, dans celles-ci, s'il n'existe qu'une direction de clivage, l'extinction se produit obliquement sauf pour les lames h^1 qui sont à peu près normales à une bissectrice d'axes très écartés. Voir brucite, clintonites, chlorites, talc, astrophyllite.

Olivine (*Péridot*)

La formule de l'olivine est $MgFeSiO^4$, mais les proportions de MgO et FeO varient fréquemment, le minerai passant, soit à la *forstérite* Mg^2SiO^4, soit à la *fayalite* Fe^2SiO^4. Sa formule doit donc plutôt s'écrire $(Mg,Fe)^2(SiO^4)$. Les olivines renferment aussi MnO, TiO^2, Fe^2O^3, CaO, ZnO ; beaucoup sont nickélifères.

Orthorhombiques : $mm = 60°47'$, $g^3g^3{}_{lat.} = 99°6'$, $e^1e^1{}_{sup.} = 49°57'$.

La forme commune des cristaux est donnée par la figure 489 ; l'allongement peut d'ailleurs se faire verticalement aussi bien que suivant pg^1. Les clivages h^1 et p sont difficiles. Il existe fréquemment des cassures grossièrement parallèles à h^1.

Dureté : 6,5. Densité : 3,2 à 3,4.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le plan des axes optiques est parallèle à h^1 (fig. 490) ; la bissectrice aiguë, *positive*, est perpendiculaire à p.

$\gamma = 1{,}697$ $\beta = 1{,}678$ $\alpha = 1{,}661$

$B = 36$ $B(g^1) = 19$ $2V = 87°44'$ $2H = 104°46'$

Les lames parallèles à h^1 montrent, par application de la méthode Cesàro (**224**), une série de bandes parallèles traversant le champ du microscope.

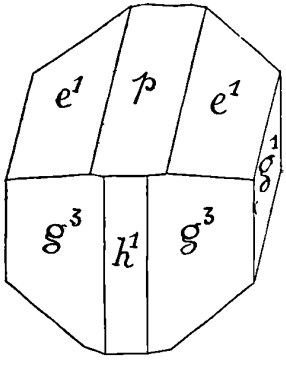


Fig. 489.

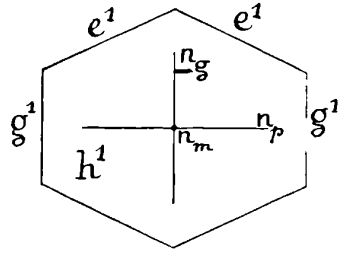


Fig. 490.

Jaune plus ou moins verdâtre, vert d'olive, brune par altération. Eclat vitreux. Translucide. La *chrysolite*, vert jaunâtre et transparente, est employée en bijouterie.

Infusible. L'*hyalosidérite*, qui est ferrifère, fond difficilement en un globule noir magnétique. Très facilement attaquable par l'acide chlorhydrique en faisant gelée.

L'olivine s'altère avec grande facilité : elle peut se transformer en carbonate de magnésie, la silice restant à l'état d'opale ; elle se transforme aussi en un produit ferrugineux hydraté brun rouge, biréfringent,avec oligiste (ou goethite) se déposant dans les cassures du minéral ; le plus fréquemment, il se constitue des produits magnésiens, en fibres normales aux cassures,jaunes ou verdâtres, que l'on peut rapporter à la serpentine. La serpentine pseudomorphe d'olivine n'est pas rare.

L'olivine constitue un élément essentiel ou accessoire de nombreuses roches éruptives ; en cristaux macroscopiques, on la trouve surtout dans les produits des projections volcaniques ; c'est aussi un élément des météorites. La belle chrysolite provient d'une roche serpentineuse de l'île de Zeberget (mer rouge).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Car. dist. — La forme, la dureté, les propriétés optiques, l'action des acides.

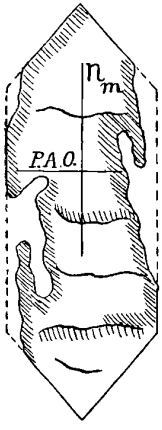


Fig. 491.

Dans les *lames minces*, la haute biréfringence, l'aspect chagriné et l'absence des clivages différencient l'olivine des autres minéraux incolores ; ses produits d'altération et ses contours corrodés (fig. 491) sont aussi très caractéristiques. L'allongement étant presque toujours parallèle à pg^1, c'est-à-dire à n_m, il est tantôt positif, tantôt négatif ; comme l'angle des axes est voisin de 90° (la section cyclique bisséquant à peu près l'angle de n_g avec n_p), on trouve presque autant de plages à allongement positif que de plages à allongement négatif ; le plan des axes est perpendiculaire à l'allongement (parallèle aux cassures h^1). Les microlites sont toujours allongés suivant n_m.

Fayalite

Formule : Fe^2SiO^4.

Cette espèce minérale, en cristaux jaune verdâtre ou noirs, souvent aplatis suivant p, se trouve parfois dans des roches éruptives. Elle se produit fréquemment dans les scories métallurgiques, avec la forme des cristaux de péridot (mais avec quelques variantes dans les angles des faces) ; ces cristaux des scories sont riches en inclusions vitreuses : l'orientation optique est la même que pour le péridot, mais la bissectrice est négative (perpendiculaire à g^1) ; $n = 1{,}88$; l'angle 2V est moindre que dans l'olivine ; $B = 43$ environ. Dureté : 6,5. Densité : 4. Facilement fusible en émail noir magnétique et attaquable par les acides. Couleur verte ou noire.

Se trouve dans diverses roches éruptives ; abondant dans des laitiers et scories métallurgiques.

Dans un ancien crassier d'Ougrée, dans lequel un incendie avait sévi durant quelques années, il s'est produit une roche formée de fayalite, augite, leucite et feldspaths.

Willémite

La formule Zn^2SiO^4 correspond à :

$$ZnO = 73\ (Zn = 58{,}6) \qquad SiO^2 : 27$$

une partie de ZnO est remplacée par FeO et MnO.

Rhomboédrique : $pp = 64°30'$ $\quad a^1p = 38°2'$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les cristaux de Moresnet, assez petits, ont la forme (fig. 492) du prisme hexagonal e^2 surmonté d'un rhomboèdre surbaissé a^{10}. Les cristaux d'autres localités, parfois volumineux, ont la forme d^1p, d^1b^1 ou a^1e^2. La willémite (1) se trouve aussi en masses compactes ou caverneuses, qu'il est difficile de distinguer de la calamine ou de la smithsonite.

Les clivages sont a^1 ou d^1, suivant les localités.

Dureté : 5,5. Densité : 4.

Uniaxe et *positive*.

$$\varepsilon = 1{,}719 \qquad \omega = 1{,}691 \qquad B = 28$$

Incolore ou blanche, mais des inclusions lui donnent souvent une couleur jaune verdâtre ou brune. Eclat vitreux, un peu résineux. Parfois fluorescente, surtout sous l'action de rayons ultraviolets (2).

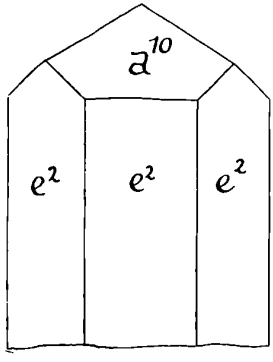


Fig. 492.

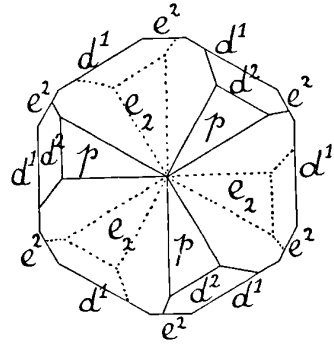


Fig. 493.

Fond facilement au chalumeau. Avec la soude, sur le charbon, enduits de ZnO. Humectée de nitrate de cobalt et chauffée fortement au chalumeau, se colore en vert. Attaquable avec gelée par l'acide chlorhydrique.

Se trouve dans les gîtes de zinc et de cuivre.

Car. dist. — Forme des cristaux, éclat, propriétés optiques.

Phénacite

C'est l'orthosilicate de glucinium : Gl^2SiO^4, qui contient fréquemment MgO, CaO, Fe^2O^3 et des alcalis.

(1) Du nom du roi de Hollande, Guillaume Ier.

(2) Cette propriété est utilisée pour aider à la séparation à la main du minéral et d'autres substances qui l'accompagnent.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Rhomboédrique parahémiédrique :

$$pp = 63°24' \qquad a^1p = 37°21' \qquad pb^2 = 20°4'.$$

Les cristaux portent toujours des faces des prismes e^2 et d^1 et souvent des prismes d'autres notations, striés verticalement, mais ils sont plus ou moins allongés suivant l'axe vertical ; la parahémiédrie s'observe fréquemment sur les faces supérieures qui, comme dans la figure 493, ne portent que la moitié de certaines formes scalénoédriques ou isoscéloédriques.

Macles a^1 par pénétration, comme dans l'oligiste.

Dureté : 7,5 à 8. Densité : 2,97 à 3.

Uniaxe et *positive*.

$$\varepsilon = 1{,}6697 \qquad \omega = 1{,}6540 \qquad B = 15{,}7.$$

Incolore, quelquefois jaunâtre, la phénacite, dont l'éclat est vitreux, ressemble beaucoup au quartz (1).

Infusible. Inattaquable. Chauffée avec du nitrate de cobalt, prend une coloration gris bleuâtre.

La phénacite est un minéral des granulites et des pegmatites ; elle accompagne souvent l'émeraude, la topaze, le chrysobéryl.

Car. dist. — Forme, biréfringence, dureté. Son signe optique, son éclat, sa couleur la rapprochent du quartz dont elle se distingue par une dureté, une réfringence et une biréfringence plus fortes ; sa biréfringence est plus faible que celle de certaines tourmalines incolores.

Dioptase

C'est un silicate acide de cuivre de formule CuH^2SiO^4 : il renferme souvent Fe^2O^3.

Rhomboédrique parahémiédrique :

$$pp = 84°34', \quad pd^1 = 47°43'.$$

Les cristaux ont la forme pd^1 (fig. 104) ; la parahémiédrie se manifeste surtout par la présence des faces d^3 comme le montre la figure 494, mais aussi par les stries sur p.

Clivage b^1 très facile (2).

Dureté : 5. Densité : 3,3.

Uniaxe et *positive* :

$$\varepsilon = 1{,}697 \qquad \omega = 1{,}644 \qquad B = 53 \qquad X_{b1} = 14.$$

(1) De là son nom, de *phenax* « trompeur ».

(2) Ce clivage se voit à travers les cristaux : *dioptomaie* «voir au travers ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les lamelles de clivage b^1 permettent de constater l'uniaxie, le signe et la haute biréfringence. Des sections a^1 montrent des anomalies optiques.

Vert émeraude et translucide ; les lames minces gardent leur couleur verte et ne montrent un dichroïsme faible que sous une épaisseur assez forte. Parfois noirâtre et opaque, par suite de pigments uniformément distribués.

Pyroélectrique.

Au chalumeau, sur le charbon, noircit au feu oxydant et devient rouge au feu réducteur, en colorant la flamme en vert. Avec la soude, donne un globule de cuivre. Soluble en bleu dans l'ammoniaque avec dépôt de silice gélatineuse ; ne dégage de l'eau qu'à une température supérieure à 250°.

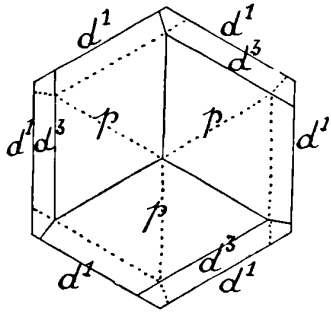


Fig. 494.

Trouvée d'abord dans les steppes Kirghiz, en veines avec quartz dans un calcaire cristallin. A été trouvée ensuite en beaux cristaux dans les gisements de cuivre de Mindouli (Congo français) et du Katanga (Congo belge) ainsi que dans quelques autres gîtes minéraux.

Car. dist. — Couleur, forme, apparence optique des lamelles de clivage, action de l'ammoniaque.

Zircon

La formule de ce minéral correspond à $ZrSiO^4$, mais il renferme aussi Fe^2O^3.

Quadratique : $mb^1 = 47°50'$, $h^1a^1 = 57°22'$ (1).

Le zircon est toujours en cristaux ; une forme commune est h^1mb^1 (fig. 495) ou encore mb^1 ; les figures 52 et 76 montrent d'autres combinaisons ; les faces peuvent être inégalement développées comme dans la figure 496.

Clivages m et b^1 peu nets. Cassure conchoïdale.

Dureté : 7,5. Densité : 4,6 à 4,8.

Uniaxe et *positif*.

(1) Le zircon est isomorphe du rutile et de la cassitérite, à côté desquels le placent divers auteurs en écrivant sa formule $(Zr,Si)O^2$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

On a trouvé pour les indices :

Z. de Ceylan : $\varepsilon = 1{,}96682$ $\omega = 1{,}9239$ $B = 44{,}3$ $B(b^1) = 19{,}6$

Z. de l'Oural : $\varepsilon = 1{,}9931$ $\omega = 1{,}9313$ $B = 61{,}8$ $B(b^1) = 27{,}1$

L'examen de lamelles de clivage b^1 permet de constater l'uniaxie, le signe et la haute biréfringence.

Incolore, jaune, brun, rouge, violet, noir ; transparent ou opaque. Transparent en lame mince. Poussière blanche. Eclat résineux, gras.

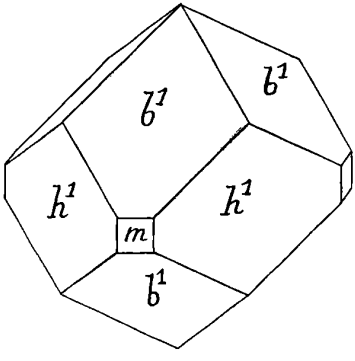


Fig. 495.

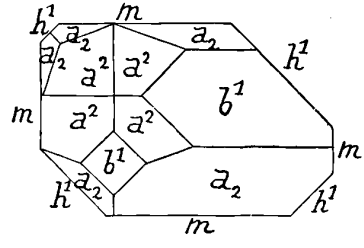


Fig. 496.

Infusible. Par calcination, les variétés colorées percent leur couleur ou blanchissent. Après désagrégation dans une perle de carbonate sodique que l'on dissout ensuite dans de l'acide chlorhydrique dilué, on peut reconnaître la zircone à l'aide de papier de curcuma qui, séché à 40°, se colore en orangé. Attaqué difficilement par l'acide sulfurique concentré et bouillant.

Le zircon se trouve dans les roches éruptives acides et dans les schistes cristallins ; à cause de sa grande dureté, on le trouve aussi en cristaux dont les arêtes sont un peu arrondies dans les alluvions et dépôts détritiques ainsi que dans les roches sédimentaires. Il existe en abondance dans les sables de nombreuses rivières du Congo.

Le zircon rouge (*hyacinthe*) est employé en bijouterie ; on utilise aussi ce minéral pour la fabrication de manchons à incandescence et de filaments de lampes électriques : il est exploité à cet effet dans les alluvions à monazite.

Car. dist. — La dureté, l'éclat, la forme, l'apparence optique des lamelles de clivage b^1. Voir : thorite, xénotime et mellite. — En

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

lame mince, son grand relief, sa haute biréfringence et son uniaxie, ainsi que les auréoles pléochroïques (**282**) fréquentes, le font aisément reconnaître ; sa biréfringence est moindre que celle du rutile.

Thorite

On attribue à ce minéral la formule $ThSiO^4$, mais une partie de ThO^2 est remplacée par U^2O^3, PbO, Fe^2O^3, CaO, H^2O et parfois par Ce^2O^3, MgO ; la proportion de U^2O^3 peut atteindre 10 %.

Isomorphe du zircon, sa forme est toujours celle du prisme *m* surmonté de b^1. Parfois massive et compacte.

Clivage *m*. Cassure conchoïdale.

Dureté : 4,5. Densité : 4,7.

Uniaxe et *positif*, il devient isotrope par altération.

Jaune orangé, brun, noir. Transparent en lame mince. Eclat résineux.

Donne de l'eau dans le tube ; les variétés orangées deviennent brunes à chaud, mais reprennent leur couleur en refroidissant. Attaquable avec calcination et avec gelée par l'acide chlorhydrique. Impressionne la plaque photographique (U^2O^3).

Se trouve dans les mêmes conditions, mais plus rarement que le zircon. Est recherché pour les métaux rares (Ur, Th, Ce) qu'il renferme.

Car. dist. — La forme, l'action sur la plaque photographique ; se distingue du zircon par sa dureté moindre et sa fusibilité.

Wernérites

Les minéraux de ce groupe ont des compositions chimiques variant entre deux termes extrêmes : la méionite, de formule : $Ca^4Al^5Si^6O^{26}$ = *Me* et la marialite, de formule : $Na^4Al^3Si^9O^{24}Cl$ = *Ma*.

On peut les diviser en quatre séries :

méionite	de Me_1 à Me_3 Ma_1
wernérite (*scapolite*)	de Me_3 Ma_1 à Me_1 Ma_2
dipyre (*mizzonite*)	de Me_1 Ma_2 à Me_1 Ma_3
marialite	de Me_1 Ma_3 à Ma_1

La teneur en silice augmente de la méionite (40,5 %) à la marialite (69,3 %).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Ces minéraux cristallisent dans le système quadratique ; ils sont isomorphes. :

	Méionite	Wernérite	Dipyre	Marialite
a^1a^1adj.	43°49′	43°45′	44°3′	44°

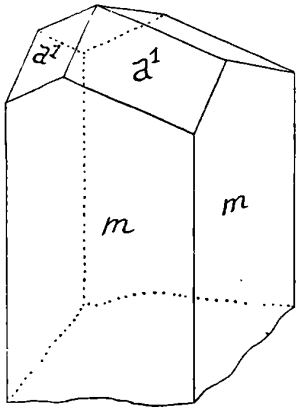


Fig. 497.

Les cristaux ont généralement la forme ma^1 (fig. 497), souvent avec h^1 ; ils sont allongés verticalement et les faces a^1 ont fréquemment des développements irréguliers. On les trouve aussi en masses bacillaires, fibreuses ou granulaires. Tous présentent les clivages : m facile et h^1.

Dureté : 5 à 6. La densité décroît avec la teneur en chaux, de 2,74 (méionite) à 2,566 (marialite).

Ils sont uniaxes et *négatifs*. La réfringence et la biréfringence augmentent avec la teneur en chaux :

	ω	ε	B
Méionite	1,594	1,557	37
Wernérite	1,581	1,551	30
Dipyre	1,567	1,550	17
Marialite	1,554	1,542	12

Incolores et limpides, blancs, gris, violacés. Ils présentent souvent des inclusions charbonneuses ou des inclusions de mica, tourmaline, etc. Eclat vitreux. Ils s'altèrent aisément et se transforment en mica, calcite, zéolites, etc.

Fondent aisément au chalumeau. Difficilement attaquables par les acides.

La méionite se trouve dans les produits rejetés des volcans (Vésuve, lac de Laach) ; la wernérite dans les roches métamorphiques, surtout calcareuses ; le dipyre dans les schistes et calcaires cristallins ; la marialite dans les roches volcaniques.

Car. dist. — La forme, l'éclat, la dureté, la biréfringence, le signe optique, la fusibilité.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Mélilite

On peut attribuer à ce minéral la forme : $Al^2O^3.6CaO.5SiO^2$. Il contient souvent Na^2O, MgO et Fe^2O^3.

Quadratique. Clivages *p* et *m*.

Dureté : 5. — Densité : 3.

Uniaxe et *négatif* :

$$\omega = 1{,}634 \qquad \varepsilon = 1{,}629 \qquad B = 5.$$

Jaune ou brune. Eclat vitreux.

Fusible et attaquable par HCl en faisant gelée.

Très fréquente dans les scories d'usines métallurgiques, se trouve aussi dans les roches néphéliniques.

Car. dist. — En *lame mince*, la faible réfringence, les clivages et le signe optique le rapprochent de la néphéline, dont il se distingue par la haute réfringence.

Idocrase

Ce minéral a une composition chimique très variable d'un échantillon à l'autre ; certaines analyses rendent probable la formule $(Al^2,Fe^2)^4(Ca,Mg)^{18}(SiO^4)^{15}$; la chaux est remplacée en partie par de la magnésie ; on y trouve aussi MnO, TiO^2, Na^2O, K^2O et même B^2O^3 et Fl.

Quadratique : $mb^1 = 69°12'$. Les cristaux sont toujours allongés verticalement et parfois volumineux ; la combinaison pmh^1b^1 (fig. 498) est fréquente, mais il y a souvent abondance de faces comme le montre la figure 499 ; on trouve aussi l'idocrase en masses bacillaires.

Dureté : 6,5. Cassure inégale. Densité : 3,35 à 3,45.

Uniaxe et *négatif* :

$$\omega = 1{,}719 \qquad \varepsilon = 1{,}718$$

La biréfringence *b* ne dépasse pas 6.

Brune et opaque ; verte et translucide, jaune, bleue. Eclat vitreux un peu résineux.

Au chalumeau, fond facilement avec bouillonnement et donne un verre brun, verdâtre ou jaune. Difficilement attaquable mais, après calcination, décomposée avec gelée par l'acide chlorhydrique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Trouvée d'abord dans les produits rejetés du Vésuve (*Vésuvianite*), on la rencontre également dans les calcaires cristallins, les gneiss, les schistes chloriteux, les serpentines.

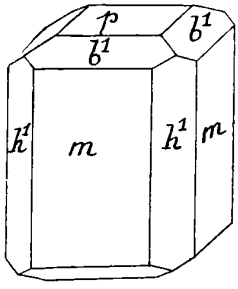


Fig 498.

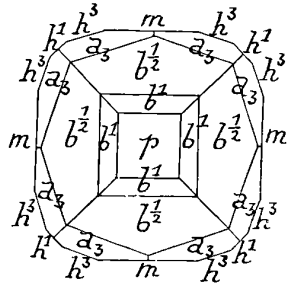


Fig. 499.

Car. dist. — La forme et l'action du chalumeau. Les variétés bacillaires ressemblent à l'épidote, mais les propriétés optiques des deux espèces ne permettent pas la confusion.

Topaze

La composition chimique de ce minéral est celle d'un fluosilicate d'alumine dans lequel une partie de Fl est remplacée par OH ; sa formule peut s'écrire : $Al(SiO^4)Al(Fl,OH)^2$.

Orthorhombique antihémiédrique :

$$mm = 55°43' \qquad g^3g^3 = 86°49'.$$

Les cristaux sont toujours allongés verticalement et, le plus souvent, terminés à une extrémité par une face p de clivage ; les figures 500 et 501 montrent des formes fréquentes à l'autre extré-

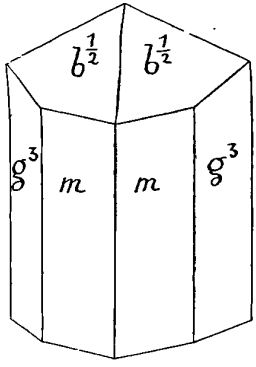


Fig. 500.

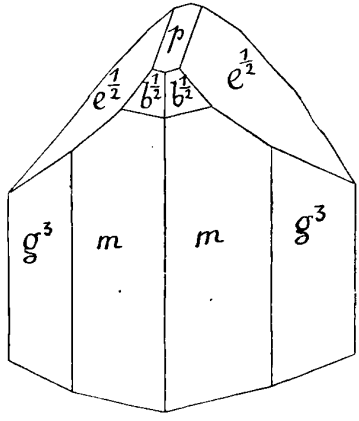


Fig. 501.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

mité ; on trouve aussi des cristaux montrant nettement l'antihémiédrie (fig. 502). L'angle presque droit des faces g^3 est caractéristique.

La *pycnite* est une topaze bacillaire, compacte.

Clivage très facile suivant p.

Dureté : 8. Densité : 3,5.

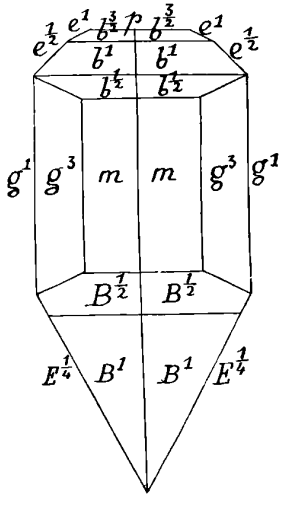


Fig. 502.

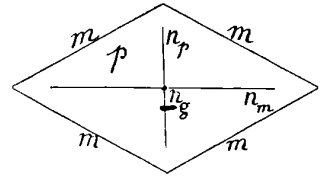


Fig. 503.

Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 (fig. 503) ; la bissectrice, *positive*, est perpendiculaire à p.

$\gamma = 1{,}6274$ $\quad \beta = 1{,}62071$ $\quad \alpha = 1{,}61835$

$B = 9$ $\quad b = 10$ $\quad B(p) = 2{,}4.$

$2V = 61°38'$, $\quad 2E = 112°14'$, $\quad 2v = 65°30'$, $\quad 2e = 120°49'$.

L'angle des axes est variable ; il diminue de 127° à 84° lorsque la proportion d'eau croît de 0,2 à 2,5% et que celle du fluor décroît de 20 à 16%.

Incolore, blanche, jaune, brune, parfois verte ou rouge. Eclat vitreux. Poussière blanche. Les cristaux bruns passent au rouge rose quand on les chauffe.

Les topazes jaunes, rouges, rosées, violettes, sont employées en bijouterie (1).

(1) Les *topazes brûlées* ont été artificiellement colorées en rouge en chauffant les topazes jaunes dans un bain de sable.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Infusible. Chauffée fortement en tube ouvert avec du sel de phosphore, corrode le verre. Inattaquable. Pyroélectrique.

La topaze (1) est un minéral de granulites, des filons stannifères et des roches schisteuses métamorphiques ; on l'a trouvée également dans des rhyolites.

Car. dist. — La forme, la dureté, le clivage unique et facile, l'apparence optique d'une lame de clivage montrant la bissectrice positive. Voir euclase.

Andalousite

Formule : Al^2SiO^5, ou $Al(SiO^4)(AlO)$, avec Fe^2O^3, MgO et alcalis.

Orthorhombique : $mm = 89°12'$.

Les cristaux, souvent volumineux, sont toujours allongés verticalement et ressemblent à des prismes quadratiques, leur forme ordinaire étant *mp*. L'andalousite forme aussi des masses bacillaires.

Clivage *m* facile.

Dureté : 7, dans les cristaux inaltérés. Densité : 3,15.

Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 (fig. 504) ; la bissectrice, *négative*, est perpendiculaire à *p*.

$$\gamma = 1{,}643 \qquad \beta = 1{,}638 \qquad \alpha = 1{,}632$$

$$2V = 84°30', \quad 2H = 97°13', \quad B = 11, \quad B(m) = 8{,}5$$

L'andalousite intacte est rose, violette ou brune, transparente, à éclat vitreux et poussière blanche ; son pléochroïsme est fort net dans les teintes grises et roses ; des cristaux du Brésil donnent une teinte rose suivant n_p, verte suivant n_g et n_m et sont employés comme gemmes. Par altération, l'andalousite se transforme en mica blanc et devient grise, jaune ou noire et opaque ; le cristal garde sa forme, mais sa dureté et sa densité diminuent.

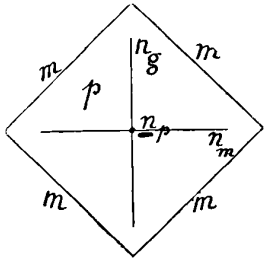


Fig. 504.

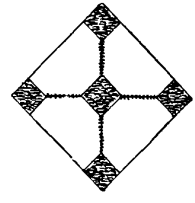


Fig. 505.

(1) Le mot *topaze* était employé par Pline, mais s'appliquait à la chrysolite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

L'andalousite des schistes cristallins renferme fréquemment des inclusions charbonneuses qui s'orientent dans le cristal en donnant sur les sections p des dessins réguliers et curieux dont la figure 505 donne une idée : ces dessins varient d'ailleurs dans une série de sections parallèles faites dans le même cristal ; la figure 506 représente une section parallèle à m et passant par le centre, qui montre la raison de ces variations dans les sections p faites à différentes hauteurs. On a donné à ces cristaux les noms de *chiastolite* et *macle* (1).

Fig. 506.

Infusible. Chauffée avec le nitrate de cobalt, se colore en un beau bleu. Inattaquable par les acides.

L'andalousite se trouve dans les gneiss et les roches granulitiques avec corindons, tourmalines, etc. ; on la retrouve dans les alluvions. Les schistes cristallins renferment souvent de l'andalousite altérée en cristaux extrêmement nombreux.

Car. dist. — Le prisme presque quadratique, les clivages, la dureté, le pléochroïsme, les inclusions charbonneuses. En *lame mince*, les clivages prismatiques très fins, le signe négatif de l'allongement, le dichroïsme, la faible biréfringence, le relief.

Disthène (*Cyanite*)

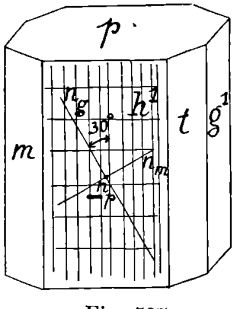


Fig. 507.

C'est une variété polymorphe de l'andalousite Al^2SiO^5 ou $(AlO)^2SiO^3$.

Clinoédrique, le disthène se présente toujours en cristaux allongés verticalement et aplatis suivant une face prise pour h^1 (fig. 507), fréquemment avec les faces g^1, m, t ; on a : $h^1t = 34°17'$, $mt = 82°35'$, $h^1g^1 = 73°56'$.

Le clivage h^1 est très facile ; il existe des plans de séparations parallèles à p et la trace de ces p sur h^1 est à peu près horizontale ; les faces h^1 portent souvent des stries verticales. Il existe parfois un clivage très net parallèle à g^1.

Macles fréquentes ayant h^1 pour plan de jonction, mais l'axe d'hémitropie peut être la normale à h^1 (macle du disthène), l'arête ph^1 (macle de la péricline), ou la verticale (macle de Carlsbad).

(1) Le mot chiastolite signifie « arrangement en diagonale (lettre χ du grec) ». Le mot macle vient de *macula* « tache ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dureté variable de 4 à 7 (voir n° **286**) ; fragile et flexible.

La bissectrice aiguë, *négative*, est à peu près perpendiculaire à h^1 (fig. 507) et la trace du plan des axes fait un angle de — 30° environ avec la verticale :

$$\gamma = 1{,}728 \qquad \beta = 1{,}720 \qquad \alpha = 1{,}712$$

$$2V = 89°36' \qquad 2H = 111°18'$$

$$B = 16 \quad B(h^1) = 8 \quad B(g^1) = 13{,}5 \quad 2v = 83° \text{ à } 84° \quad 2h = 100°42'$$

L'extinction des lames g^1 se fait suivant la verticale.

Les lames h^1 maclées d'après les deux derniers modes ne s'éteignent pas entre nicols croisés.

Le disthène est bleu de différentes teintes (1), incolore, blanc, vert, jaune, brun ; la teinte bleue est souvent inégale dans le même cristal. Eclat vitreux, nacré sur h^1. Transparent en lame mince. Les lames h^1 de plus de $\frac{1}{2}$ millimètre sont dichroïques. S'altère parfois en mica, tout en conservant sa forme.

Infusible, mais blanchit et devient opaque. Avec le nitrate de cobalt, se colore en bleu. Inattaquable par les acides.

Le disthène est un minéral des micaschistes où il est fréquemment associé à la staurolite.

Car. dist. — La forme bacillaire et aplatie, le clivage, les propriétés optiques des lames h^1. En *lame mince* dans les roches : les clivages rectilignes et serrés, l'extinction maximum à 30°, la réfringence élevée et la biréfringence faible distinguent le disthène du mica. (Voir sillimanite).

Sillimanite

Autre variété polymorphe de l'andalousite Al^2SiO^5.

Orthorhombique, mais ne se présente qu'en longues aiguilles rectilignes ou en très fines aiguilles entrelacées (*fibrolite*). Il existe un clivage longitudinal.

Dureté : 6,5. Densité : 3,2.

Le plan des axes optiques est parallèle au clivage et la bissectrice aiguë, *positive*, est parallèle à l'allongement.

$$\gamma = 1{,}680 \qquad \beta = 1{,}661 \qquad \alpha = 1{,}659$$

$$B = 21$$

Blanche ou verdâtre ; éclat vitreux, nacré sur le clivage.

(1) Le mot *cyanite* vient du grec *cuanos* « bleu » ; le mot *disthène* de *di* et *stenos* « dureté », à cause des différences de dureté.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

C'est un minéral de roches métamorphiques, accompagnant souvent la cordiérite. La fibrolite, très tenace, a été utilisée pour la fabrication de haches de l'époque de la pierre polie.

Car. dist. — Se distingue : par sa densité de la jadéite ; de l'andalousite et du disthène par ses indices de réfraction et la biréfringence du clivage.

Euclase

La formule de ce minéral est : $Gl(AlOH)SiO^4$; il contient un peu de Fe^2O^3, CaO, SnO^2, FeO, Fl.

Clinorhombique : $ph^1 = 79°44'$, $mh^1 = 17°40'$.

Toujours en cristaux qui sont fréquemment terminés d'un côté (fig. 508) par une face de clivage g^1 ; ce clivage s'obtient très facilement par le choc [1].

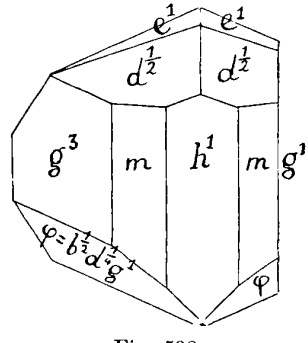


Fig. 508.

Dureté : 7,5. Densité : 3,1.

Plan des axes parallèles à g^1. Bissectrice *positive* faisant un angle + 49° avec la verticale :

$\gamma = 1{,}6710$ $\beta = 1{,}6553$ $\alpha = 1{,}6520$
$2V = 49°38'$ $2E = 88°1'$ $B = 19$.

Le signe se vérifie aisément par la méthode Cesàro sur les lames de clivage.

Incolore, bleuâtre. Transparente. Eclat vitreux, nacré sur g^1.

Fortement calcinée au chalumeau, se gonfle et fond en émail blanc. Inattaquable par les acides. S'électrise par frottement.

Accompagne la topaze, au Brésil, dans un schiste chloriteux.

Car. dist. — La forme, la couleur, le clivage. La dureté moindre et l'apparence optique du clivage distinguent l'euclase de la topaze ; la biréfringence est plus petite que celle du diaspore.

Datholite

Formule : $2\,CaO.Bo^2O^3.H^2O.2SiO^2$.

Système clinorhombique :

$$mm = 64°47' \quad pe^1 = 51°41\tfrac{1}{2} \quad ph^1 = 89°51'$$

[1] D'où le nom *eu* et *clasis*, « se clive bien ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les cristaux, agglomérés entre eux (1), sont parfois chargés de faces (fig. 509).

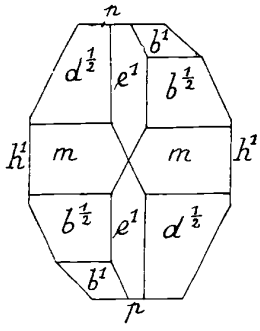


Fig. 509.

Pas de clivage. Cassure conchoïdale et inégale.

Dureté : 5 à 5,5. Densité : 2,9.

Incolore ou blanche. Eclat vitreux un peu gras. Translucide ou transparente.

Négative. Le plan des axes est parallèle à g^1 ; la bissectrice aiguë est presque perpendiculaire à p.

$\gamma = 1{,}6700 \quad \beta = 1{,}6535 \quad \alpha = 1{,}6260$

$B = 44 \qquad 2V = 74°32'$

Au chalumeau, bouillonne, fond et colore la flamme en vert. Donne de l'eau dans le tube. Décomposée par les acides avec gelée.

La datholite est un minéral des veines et cavités des roches éruptives basiques, des gneiss et des roches serpentineuses.

Car. dist. — La forme et l'action du chalumeau. Se distingue des zéolites par la présence du bore et l'absence d'alumine.

Gadolinite

La composition paraît indiquée par la formule : $2GlO.FeO.2Y^2O^3.2SiO^2$, dans laquelle Y^2O^3 est remplacée en partie par des oxydes de cérium, lanthane, dydymium, erbium, scandium, etc. ; ce minéral a donné lieu à de nombreuses recherches chimiques.

Système clinorhombique : $mm = 115°48'$, $ph^1 = 89°26'\frac{1}{2}$. Les cristaux sont rares et grossiers. La gadolinite (2) est le plus souvent en grains ou en masses parfois volumineuses, sans clivage, à cassure conchoïdale.

Dureté : 6,5 à 7. Densité : 4 à 4,5.

Noire. Opaque. Transparente en lame mince avec couleur verte. Eclat vitreux.

Certaines gadolinites, riches en glucine, sont anisotropes ; d'autres sont isotropes et d'autres paraissent être un mélange des deux espèces. Dans les variétés anisotropes, l'indice moyen est égal à 1,78.

---

(1) Le nom vient de *datomai* « partager », à cause de la structure en cristaux agglomérés mais assez distincts.

(2) Dédiée au chimiste suédois Gadolin.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Au chalumeau, certaines gadolinites deviennent incandescentes sans fondre ; d'autres gonflent sans incandescence et fondent difficilement sur les bords. Fait gelée avec l'acide chlorhydrique ; la solution, débarrassée de la silice, précipite par l'acide oxalique.

Minéral des syénites et des gneiss.

Car. dist. — Voir allanite.

Zoïzite

Formule : $4CaO.3Al^2O^3.H^2O.6SiO^2$.

Système orthorhombique : $mg^1 = 58°13'$.

Masses prismatiques, allongées suivant l'axe vertical ; aussi en masses laminaires et grenues.

Clivage g^1 facile.

Dureté : 6. Densité : 3,31.

Blanche, jaunâtre, grise ou rose. Eclat vitreux nacré sur g^1. Transparente en lame mince.

La bissectrice, *positive*, est toujours perpendiculaire à h^1 mais le plan des axes est parallèle soit à g^1, soit à p. Le même cristal présente parfois les deux orientations :

$\gamma = 1{,}706$	$\beta = 1{,}703$	$\alpha = 1{,}700$
$2E = 95°$	$2V = 51°$	$B = 6$

Une variété rose (*thulite*) montre un pléochroïsme très net : n_g = jaune ; n_m = rose vif ; n_p = rose foncé.

Au chalumeau, gonfle et fond avec bouillonnement en un verre gris translucide. La thulite montre la présence du manganèse. Attaquable avec gelée par l'acide chlorhydrique.

La zoïzite (1) est un minéral des schistes cristallins.

Car. dist. — La forme bacillaire ou laminaire et les propriétés optiques.

Epidote

On attribue à ce minéral la formule $Al^2(SiO^4)^3Ca^2(AlOH)$.

L'épidote est clinorhombique (2).

$$ph^1 = 64°37' \qquad b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}} = 70°29' \qquad pb^{\frac{1}{2}} = 75°11'.$$

(1) Dédiée au Baron de Zois qui la découvrit.

(2) La base du prisme primitif, admis par Haüy pour cette espèce, avait un de ses côtés double de l'autre ; de là le nom de *epidotis* « accroissement ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les cristaux sont toujours allongés suivant l'axe binaire et, le plus souvent, terminés à une seule extrémité ; les faces parallèles à l'axe binaire sont ordinairement (fig. 510) p, h^1 et a^1 : elles sont striées longitudinalement, surtout a^1 ; les faces terminales sont $b^{\frac{1}{2}}$, toujours prédominantes, mais auxquelles (fig. 511) peuvent

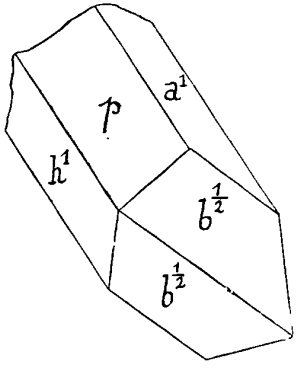


Fig. 510.

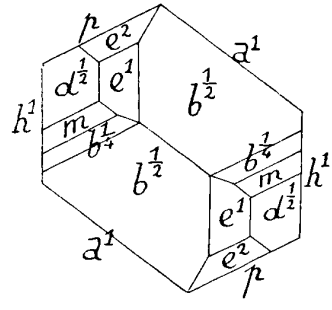


Fig. 511.

s'ajouter de nombreuses autres facettes. Macles h^1 (fig. 512) se manifestant par l'angle rentrant $b^{\frac{1}{2}}\ B^{\frac{1}{2}}$ marqué d'une croix sur la figure.

Clivages : p facile, h^1 imparfait.

En masses bacillaires, fibreuses, asbestiformes.

Dureté : 6 à 7. Densité : 3,25 à 3,35.

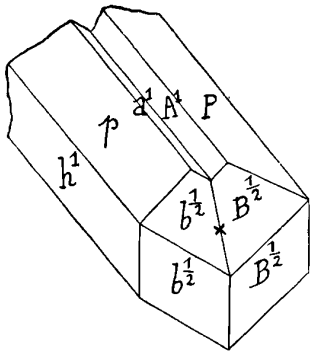


Fig. 512.

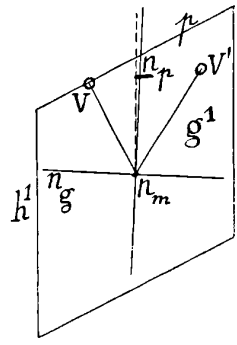


Fig. 513.

Le plan des axes optiques (fig. 513) est parallèle à g^1 ; la bissectrice, *négative*, fait un angle de — 3° avec la verticale ; les indices

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et l'écartement des axes varient, mais l'un des axes (V) est presque perpendiculaire au clivage p.

Les indices sont variables :

pour Al : Fe =	9 : 1	$\gamma = 1{,}723$	$\beta = 1{,}719$	$\alpha = 1{,}716$
»	5 : 2	$\gamma = 1{,}768$	$\beta = 1{,}755$	$\alpha = 1{,}733$
»	5 : 3	$\gamma = 1{,}780$	$\beta = 1{,}763$	$\alpha = 1{,}729$

$2v = 74^o$ à 88°, $b = 7$ à 54, mais se tient le plus souvent dans les valeurs élevées ; $b(p) = 2$ à 13.

Verte ; parfois jaunâtre, grise, blanche. Eclat vitreux, un peu nacré sur p ; les faces terminales sont souvent très brillantes. Pléochroïsme énergique dans les lames épaisses : teintes vertes, jaunes et brunes.

Au chalumeau, fusible en bouillonnant et donne une scorie en forme de chou-fleur. Inattaquable par les acides. Après calcination, fait gelée dans l'acide chlorhydrique.

L'épidote se trouve en abondance dans les schistes cristallins et dans les calcaires métamorphisés ; il constitue un élément accessoire des syénites, des gneiss et des roches éruptives basiques ; il accompagne aussi la magnétite et l'oligiste dans leurs gisements ; il forme des nodules dans les roches quartzeuses. Mélangé au quartz, il constitue une roche appelée *épidotite*.

En Belgique, de beaux cristaux d'épidote ont été trouvés dans les géodes des roches éruptives de Quenast, Lessines, Lembecq, Challes.

Car. dist. — La forme allongée, la couleur, la dureté, l'action du chalumeau, le clivage, les propriétés optiques (plan des axes perpendiculaire à l'allongement, axe optique presque perpendiculaire au clivage p). Dans les *lames minces* de roches : le relief, la haute biréfringence, l'extinction longitudinale, la position du plan des axes normal à l'allongement. Voir idocrase.

Allanite (*Orthite*)

La composition complexe de ce minéral peut être représentée par la formule $H^2(Ca, Fe)^4(Al,Ce)^6Si^6O^{26}$, dans laquelle le cérium est remplacé en partie par des minéraux des groupes du cérium et de l'yttrium.

Système clinorhombique :

$mm = 109^o8'$ $\quad h^1p = 64^o59'$ $\quad d^{\frac{1}{2}}d^{\frac{1}{2}} = 83^o9'$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Cristaux rares, aplatis suivant h^1 ou allongés suivant l'axe binaire ; en masses compactes, bacillaires, ou en grains arrondis.

Clivages irréguliers suivant p et h^1.

Dureté : 6. Densité : 3,5.

Noir de poix avec éclat vitreux un peu gras.

Transparente en lame mince.

Négative ; l'orientation optique est analogue à celle de l'épidote (fig. 435) :

$$n = 1{,}74 \qquad B = 25 \qquad 2V = 65^o \text{ à } 70^o$$

Pléochroïsme énergique :

n_g = brun jaunâtre ; n_m = brun rougeâtre ; n_p = brun verdâtre.

Auréoles pléochroïques très nettes dans la biotite qui l'englobe.

Fusible avec bouillonnement en un verre noir magnétique. Attaquable par l'acide chlorhydrique en faisant gelée ; la solution filtrée, traitée par l'ammoniaque, donne un précipité soluble dans l'acide oxalique avec résidu blanc ; ce résidu calciné, lavé avec de l'acide chlorhydrique dilué, puis chauffé, donne une masse rouge orangé (cérium).

Se trouve principalement dans les granites, les gneiss et les syénites ; plus rarement dans les roches volcaniques (1).

Car. dist. — Le pléochroïsme et la fusibilité sont distinctives des minéraux des groupes du pyrochlore, de l'aeschynite et de la columbite, ainsi que de la gadolinite. En *lame mince* de roche, les cristaux sont fréquemment entourés par une zone d'épidote jaune caractéristique.

Axinite

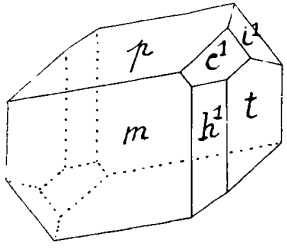


Fig. 514.

On attribue à ce minéral la formule $(Al^2, Fe^2, Bo^2)^3(Ca, Mg, Mn, K^2)^7(SiO^4)^8$; le calcium prédomine sur le fer et le manganèse.

Clinoédrique : $mt = 44^o34'$, $pm = 45^o25'$, $pt = 64^o30'$.

Les cristaux se reconnaissent aisément à leurs formes, car ils portent toujours les faces p, m et t (fig. 514) et les angles mt et pm sont très obtus (2).

(1) Dédiée au minéralogiste écossais Allan ; le nom orthite est donné aux formes bacillaires : *orthos* « droit ».

(2) D'où le nom, de *axis* « hache ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Clivages faciles c^1 et g^1. Cassure inégale.

Dureté : 6,5 à 7. Densité : 3,3.

La bissectrice aiguë, *négative*, est sensiblement normale à i^1 :

$$\gamma = 1{,}688 \qquad \beta = 1{,}685 \qquad \alpha = 1{,}678$$

$B = 10$ environ, $2V = 71°30'$. Les lames de clivage c^1 montrent la bissectrice excentrique.

Violette, brunâtre. Transparente ou translucide. Poussière incolore. Pléochroïsme très net dans les teintes violettes.

Au chalumeau, gonfle et donne une perle claire, devenant noire au feu oxydant. Colore la flamme en vert quand on la chauffe avec un mélange de bisulfate et de fluorine. Attaquable avec gelée après fusion.

L'axinite, toujours bien cristallisée, se trouve dans les schistes cristallins, dans les roches éruptives basiques et dans les gisements métallifères. En Belgique, à Quenast.

Car. dist. — La forme, la couleur et la dureté.

Prehnite

La formule de ce minéral est $Ca^2H^2Al^2Si^3O^{12}$; il s'y trouve aussi Fe^3O^3, MgO, MnO, Na^2O.

Orthorhombique : $mm = 80°4'$. Les cristaux sont ordinairement aplatis suivant p (fig. 515) ; ils se groupent fréquemment en s'empilant irrégulièrement en éventails et en gerbes très tenaces sur la surface desquelles brillent les faces m et h^1. Clivage p très net.

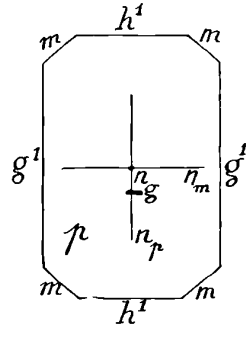


Fig. 515.

Dureté : 6 à 7. Densité : 2,8 à 2,94.

La bissectrice, *positive*, est perpendiculaire à p ; le plan des axes est parallèle à g^1.

$$\gamma = 1{,}649 \qquad \beta = 1{,}626 \qquad \alpha = 1{,}616$$

$B = 33$ $B(p) = 10$ $2V = 67°36$ $2E = 129°58$.

Présente souvent des anomalies optiques ; les plages p sont divisées en secteurs dans lesquels le plan des axes est tantôt parallèle, tantôt perpendiculaire à g^1.

Incolore, blanche, grise, verte. Eclat vitreux, nacré sur p.

Au chalumeau, se gonfle, s'exfolie puis fond aisément en émail blanc ou jaune. Décomposée aisément par les acides après fusion.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Se trouve dans les veines et cavités de roches éruptives basiques. En Belgique, à Quenast (1).

Car. dist. — La forme, les groupements, la fusibilité, les propriétés optiques du clivage. Dans les *lames minces* de roches, forme souvent des sphérolites à haute biréfringence.

Ilvaïte

La formule est : $CaO.H^2O.(FeO)^4.Fe^2O^3.4SiO^2$ avec MnO.

Orthorhombique : $mm = 67°22'$ $a^1a^1 = 67°11'$.

Les cristaux parfois volumineux, allongés et striés verticalement, ont une forme analogue (fig. 516) à celle de la goethite. Masses bacillaires.

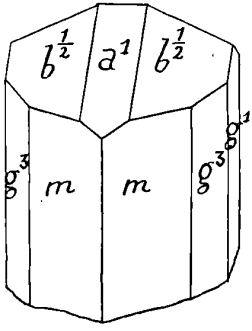


Fig. 516.

Clivages p et g^1 distincts.

Dureté : 5,5 à 6. Densité : 3,9 à 4,1.

Noir de velours ; brun par altération ; poussière noire ; brun jaune en lame extrêmement mince. $n = 1{,}9$. Opaque. Parfois brillant sur les faces terminales.

Facilement fusible en verre noir magnétique. Attaquable avec gelée.

Se trouve dans les filons métallifères (2).

Car. dist. — La forme, la couleur, la fusibilité. Se distingue de la goethite par la couleur de la poussière.

Dewalquite (*Ardennite*)

La composition de ce minéral est incertaine ; sa formule probable est $Mn^4H^5Al^4VaSi^4O^{23}$; l'arsenic remplace en partie le vanadium, la magnésie et la chaux en partie le MnO, le Fe^2O^3 en partie le Al^2O^3.

Orthorhombique ; les cristaux terminés sont très rares. Masses cannelées avec clivage facile pris pour g^1 et plans de séparation pris pour h^1 ; il existe des plans de division e^m visibles sur les faces h^1.

Dureté : 6 à 7 ; très fragile. Densité : 3,60.

Le plan des axes optiques est parallèle à h^1 ; la bissectrice, *positive*, est perpendiculaire à g^1 ; les lames h^1 permettent de con-

(1) Le nom vient de Prehn qui la rapporta du Cap de Bonne-Espérance.

(2) Ilvaïte vient du nom italien de l'île d'Elbe. Appelé aussi *Liévrite*, du nom de celui qui l'a découvert.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

stater le signe ; $b = 16$; $x_{g1} = 1$; $n = 1{,}9$. L'angle 2E est très variable, même d'une plage à l'autre d'une même lamelle, de 0° à 60°.

Jaune, brune ; parfois colorée en noir par de la pyrolusite. Eclat un peu gras. Transparente et jaune en lame mince. Les lames h^1 sont fortement dichroïques.

Au chalumeau, se boursoufle et fond facilement en émail brun clair. Dans le tube, donne des traces d'eau. Inattaquable par les acides. Chauffée avec l'acide phosphorique, donne une solution incolore, qui devient violette par l'addition d'acide sulfurique.

La dewalquite (1) n'a été trouvée qu'à Salm-Château (Belgique), dans des filons quartzeux, avec apatite et albite.

Car. dist. — La couleur, la dureté, les propriétés chimiques.

Carpholite

La composition correspond à la formule $H^4MnAl^2Si^2O^{10}$.

Masses fibreuses en groupes radiés ou parallèles avec clivage parallèle à l'allongement et cassures transversales. L'extinction des lamelles de clivage se fait longitudinalement et cette direction est positive ; le plan des axes est parallèle au clivage qui montre un dichroïsme très net : n_g incolore, n_p jaune d'or ; $n = 1{,}63$.

Dureté : 5. Densité : 2,876.

Jaune (2). Poussière blanche. Transparente en lame mince.

Au chalumeau, gonfle en dégageant une lueur rouge, blanchit, puis fond facilement en un verre blanc transparent. Fondue avec la soude et le nitre, donne une masse verte. Donne de l'eau dans le tube. Peu attaquable.

Se trouve dans certains gîtes métallifères ; dans des schistes cambriens à Neuville (Ardenne Belge).

Tourmalines

Ce sont essentiellement des borosilicates d'alumine avec FeO, MgO et alcalis que l'on peut rapporter à la formule générale : $Al^3(SiO^4)^4\,(O.BOH)^2\,(OH)^9$. On peut y distinguer trois types pour lesquels on admet les formules suivantes :

(1) Décidée au géologue belge G. Dewalque.
(2) Le nom vient du grec *carphos* « jaune ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Type lithique : $3B^2O^3.8Al^2O^3.2(Na,Li)^2O.4H^2O.12SiO^2$

Type ferrifère : $3B^2O^3.7Al^2O^3.4FeO.4Na^2O.4H^2O.12SiO^2$

Type magnésien : $3B^2O^3.5Al^2O^3.\frac{28}{3}MgO.\frac{2}{3}Na^2O.4H^2O.12SiO^2$

Elles renferment parfois du chrome.

Les tourmalines cristallisent dans le système rhomboédrique, groupe antihémiédrique : $pp = 46°52$. Les cristaux portent toujours des prismes, fréquemment allongés ; les faces e^2 sont réduites à trois à cause de l'hémiédrie ou, lorsque les six faces existent, trois d'entre elles sont plus développées que les autres, ce qui donne aux cristaux une section triangulaire caractéristique (fig. 517) ; les six faces d^1 sont habituelles. Les extrémités supérieures des cristaux sont différemment terminées des extrémités inférieures (fig. 105*b*). Clivages p et d^1 extrêmement difficiles, Cassure inégale.

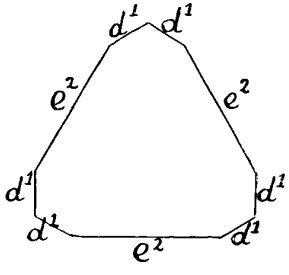


Fig. 517.

Dureté : 7 à 7,5. Densité : 3,02 à 3,20.

Uniaxes et *négatives* :

	ω	ε	*B*
T. lithique	1,6366	1,6173	17,3
T. ferrifère	1,634	1,613	21
T. magnésienne	1,6564	1,6343	22
T. chromifère	1,687	1,641	46

Les tourmalines lithiques sont généralement de couleur claire : rouges, vertes, incolores ; les tourmalines ferrifères sont noires ou vert foncé ; les tourmalines magnésiennes sont vertes ou brunes ; le même cristal, surtout dans les tourmalines claires, présente souvent de grandes variations de couleur, le changement se faisant par zones d'accroissement autour de l'axe vertical ou bien brusquement le long de cet axe. Il arrive que les faces terminales de l'extrémité sont d'une couleur différente du reste du cristal. Transparentes ou opaques ; les variétés transparentes roses sont dites *rubellite*. Ces pierres sont souvent employées en joaillerie.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Toutes les variétés colorées présentent un dichroïsme très intense : le maximum d'absorption a lieu transversalement à l'allongement ; des lames suffisamment épaisses ne laissent passer la lumière que parallèlement à l'axe optique : ainsi deux cristaux superposés ne laissent pas passer la lumière lorsqu'ils sont croisés **(176)**.

Les tourmalines ont des inclusions de zircon avec auréoles pléochroïques de teintes différentes de celle du cristal.

Piézo et pyroélectrique : le pôle analogue se trouve généralement du côté où les arêtes de p correspondent aux faces e^2 les plus développées.

Les tourmalines lithiques sont infusibles, mais, au chalumeau, deviennent blanches et opaques ; les tourmalines ferrifères fondent plus ou moins facilement en une scorie noire, verte ou brune ; les tourmalines magnésiennes fondent en se boursouflant et donnent un émail ou une scorie ; mélangées avec du sulfate de potassium et de la fluorine, colorent la flamme en vert. Insolubles. Attaquables avec gelée après fusion.

Les tourmalines se trouvent dans les granulites, pegmatites, schistes cristallins, dans les calcaires et schistes métamorphisés par les granulites, dans les alluvions. Les belles pierres proviennent de Ceylan [1], du Brésil, de Madagascar. Il se produit souvent, au contact des granulites, de véritables roches appelées *tourmalinites*, et formées de tourmaline et de quartz.

Car. dist. — La forme, la section triangulaire, la dureté ; ensuite l'hémiédrie, le dichroïsme, les variations de teintes. Voir phénacite.

Staurolite (*Staurotide*)

C'est un silicate acide d'alumine et d'oxyde ferreux, contenant en plus MgO et souvent Fe^2O^3, TiO^2, CaO, MnO. La formule adoptée est douteuse : $(AlOH)\ Fe(SiO^4)^2(AlO)^4$.

Orthorhombique : $mm = 50°40'$ $pa^1 = 55°16'$ $ma^1 = 42°2'$.

Les cristaux simples, souvent volumineux, ont la forme mpg^1a^1 (fig. 518). La staurolite présente deux groupements : l'un, très fréquent, se fait par rotation de 90° autour de l'arête ph^1 (fig. 519)

[1] Le nom vient du mot cinghalais *touramaline*.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

qui est donc un axe pseudoquaternaire ; l'autre par rotation de 120° autour de l'arête g^1a^1 (fig. 520) qui est donc pseudoter-

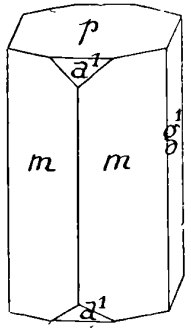


Fig. 518.

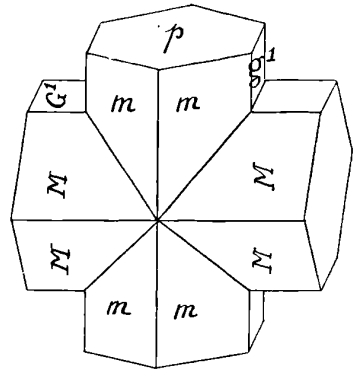


Fig. 519.

naire [1] ; les plans de macle sont respectivement $e^{\frac{3}{2}}$ et $b^1b^{\frac{1}{5}}g^{\frac{1}{2}}$, qui ne se sont pas encore trouvés à l'état de faces naturelles.

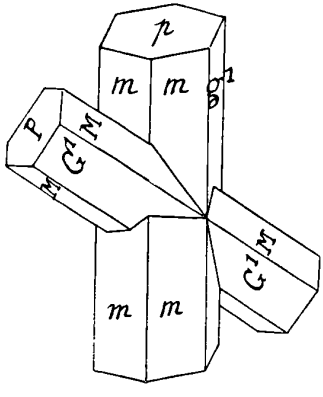


Fig. 520.

Clivage g^1 interrompu. Cassure inégale.

Dureté : 7 à 7,5. Densité : 3,7.

Le plan des axes optiques est parallèle à h^1 ; la bissectrice, *positive*, est perpendiculaire à p :

$$\gamma = 1{,}746 \quad \beta = 1{,}741 \quad \alpha = 1{,}736$$

$$b = 12 \quad 2V = 88°46'$$

$$2H = 113°16' \quad b(m) = 11$$

Brune ou noire. Eclat vitreux, résineux dans la cassure. Translucide sur les bords. Poussière blanche.

Pléochroïsme net : jaune suivant n_g et n_m, incolore suivant n_p.

Infusible. Difficilement attaquable par l'acide sulfurique. Inattaquable par l'acide fluorhydrique.

Présente souvent des inclusions charbonneuses et des altérations micacées pseudomorphes, comme l'andalousite.

---

[1] L'angle de l'arête pg^1 avec l'arête g^1a^1 est égal à 55°14′ ; le réseau de la staurolite est presque cubique : dans le cube, l'angle d'un Λ^4 avec un Λ^3 est de 54°44′. — Le nom du minéral vient de *stauros* « croix ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Se trouve dans les micaschistes avec disthène, andalousite, grenats. Fréquente dans les alluvions.

Car. dist. — La forme et les macles, la couleur, l'éclat de la cassure, la dureté. Se distingue de l'andalousite par sa densité. En *lame mince* : le pléochroïsme et la forme des sections.

B. — SILICATES HYDRATÉS

Groupe des Zéolites

Les zéolites sont des minéraux en général bien cristallisés, incolores ou blancs, colorés rarement par des inclusions, et qui présentent entre eux de très grandes analogies. On les a considérés comme des feldspaths hydratés : ce sont en effet des silicates hydratés d'alumine, de chaux et de soude, parfois avec baryum, potassium ou strontium ; la magnésie et le fer n'y existent qu'à l'état d'impuretés. Cependant les zéolites ne forment pas, comme les feldspaths, une série continue ; elles diffèrent l'une de l'autre par leurs compositions chimiques et par leurs propriétés cristallographiques, qui en font des espèces bien distinctes.

Leurs *caractères distinctifs* sont : la grande fusibilité avec bouillonnement [1], la faible dureté (3,5 à 5,5), la faible densité (2 à 2,4), les faibles réfringence et biréfringence, des clivages faciles avec éclat nacré ou brillant, la facile attaque par les acides avec production de silice gélatineuse ou pulvérulente ; si l'on ajoute que les zéolites sont généralement incolores ou blanches, on verra que ces caractères ne permettent de les confondre avec aucun autre minéral ; le diagnostic d'une espèce à l'autre est basé sur la forme des cristaux et sur les propriétés optiques.

Les zéolites se rencontrent comme produits secondaires dans un grand nombre de roches volcaniques (phonolites, basaltes, etc.), remplissant les fentes ou les cavités amygdaloïdes ; elles résultent de la décomposition ou de l'altération des feldspaths, de la leucite, de la néphéline, de la sodalite, comme aussi de dépôts formés par les eaux thermominérales ; on les trouve également, mais plus rarement, dans les roches plutoniques et sédimentaires, ainsi que dans les filons métallifères. Les transformations engendrant les zéolites doivent jouer un rôle actif mais peu connu dans la terre arable, qui, parfois, en contient de grandes quantités à l'état microscopique et où elles ont une grande importance pour la nutri-

(1) D'où le nom, de *zein* « bouillonner » et *lithos* « pierre ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

tion des plantes en permettant des échanges entre la chaux et la potasse. Enfin une zéolite (la phillipsite) se produit actuellement dans les grandes profondeurs du Pacifique par l'action de l'eau de mer sur des produits volcaniques basiques formant les dépôts des fonds.

Les zéolites contiennent de l'eau en proportion souvent assez forte ; une partie de cette eau se dégage à des températures très basses, une autre à des températures élevées, de sorte qu'elles sont en réalité des silicates acides et hydratés ; il n'est pas toujours possible de préciser la quantité d'eau de cristallisation et la quantité d'eau de constitution : l'eau part graduellement à mesure que s'élève la température. En perdant leur eau, les zéolites perdent leur transparence et deviennent ternes, mais beaucoup d'entre elles possèdent la remarquable propriété de réabsorber, dans une atmosphère humide, l'eau qu'elles avaient perdue et elles reprennent alors leur transparence primitive ; de même, les propriétés optiques, qui avaient été modifiées par le départ de l'eau, redeviennent identiques à celles de la zéolite primitive. Ceci indique que l'édifice cristallin n'est pas détruit quand l'eau est enlevée et que cette eau peut rentrer dans les mailles du réseau comme dans les pores d'une éponge ; on a même pu remplacer l'eau par des gaz tels que l'ammoniaque, l'hydrogène sulfuré, l'anhydride carbonique. Les zéolites, devenues ternes par déshydratation, redeviennent transparentes lorsqu'on les plonge dans l'huile et l'on peut de cette façon étudier leurs propriétés optiques.

Apophyllite

C'est une des rares zéolites sans alumine ; elle contient un peu de fluor et peut être considérée comme un métasilicate de formule : $(Ca, K^2)H^2(Si^3O^8)^2 + aq$. Contient aussi HFl.

Quadratique : $a^1a^1 = 76^0$. Les cristaux ont généralement la forme de la figure 521, soit que les faces a^1 se coupent vers le haut, soit que les faces naturelles p terminent le cristal. Le clivage p est parfait ; le clivage m est moins facile.

Dureté : 4,5 à 5. Densité : 2,37.

Uniaxe et *positive*, quelquefois négative.

$$\varepsilon = 1{,}5368 \qquad \omega = 1{,}5347 \qquad B = 2.$$

Présente fréquemment des anomalies optiques : division des faces p en secteurs légèrement biaxes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Incolore et transparente; blanche et trouble. Eclat vitreux nacré sur *p*.

Dans le tube, donne de l'eau alcaline, s'exfolie (1) et blanchit. Au chalumeau, colore la flamme en rouge et fond en émail blanc bulleux. Décomposée par l'acide chlorhydrique avec dépôt de

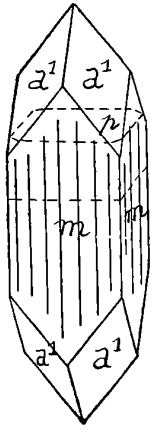


Fig. 521.

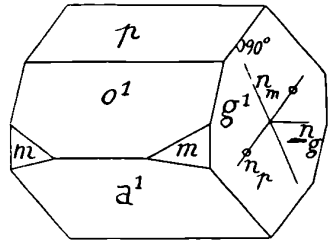


Fig. 522.

silice pulvérulente et de fluorure de calcium : le dépôt recueilli et traité par l'acide sulfurique dégage de l'acide fluorhydrique qui corrode le verre.

Se trouve dans les basaltes et roches analogues.

Car. dist. — La forme, le clivage facile, la faible biréfringence.

Heulandite

C'est un métasilicate acide : $Al^2CaH^4(SiO^3)^6 + 3aq$; une petite quantité de CaO peut être remplacée par SrO.

Clinorhombique : $mm = 43°56'$ $po^1 = 63°40'$ $pa^1 = 66°$.

La figure 522 représente la forme ordinaire des cristaux, qui sont toujours bordés par des faces parallèles à l'axe binaire, plus ou moins allongés suivant cet axe, terminés par g^1 aux deux extrémités, avec des faces *m* triangulaires qui, parfois, se rejoignent. Le clivage g^1 est parfait.

Dureté : 3,5 à 5. Densité : 2,18 à 2,26.

La bissectrice, *positive*, est perpendiculaire à g^1 ; le plan des

(1) Le nom vient de *apophyllein* « se gonfler ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

axes est ordinairement parallèle à p (fig. 522), parfois perpendiculaire ; 2E est très variable ; le plus fréquemment il est de 52°.

$$\gamma = 1{,}505 \qquad \beta = 1{,}499 \qquad \alpha = 1{,}498$$

$$2V = 44°33' \qquad B = 7 \qquad B(g') = 1 \qquad 2v = 0° \text{ à } 92°.$$

Blanche ou jaunâtre, quelquefois rouge ; poussière blanche ; éclat vitreux, nacré sur g^1. Transparente ou translucide.

Au chalumeau, la heulandite (1) blanchit, se gonfle et fond en émail blanc. Elle perd deux molécules d'eau à 150° et la troisième à 180°. Décomposée par les acides avec dépôt de silice pulvérulente.

Se trouve dans les roches basaltiques ; accidentellement dans les micaschistes et les veines métallifères.

Car. dist. — La forme, le clivage et les propriétés optiques.

Phillipsite

C'est un métasilicate de formule $Al^2(Ca, K^2, Na^2)(SiO^3)^4 + 4{,}5aq.$

La phillipsite (2) est clinorhombique : $mm = 60°42'$, $ph^1 = 55°37'$. Les cristaux sont toujours maclés et les macles, assez complexes, s'expliquent comme suit :

a) deux cristaux mpg^1 se maclent suivant p en se pénétrant (fig. 523), donnant à l'ensemble une apparence quadratique : car $m_I\ m_I = 60°42'$ et $m_I\ m_{II} = 59°18'$. Cette macle est dite de la *morvénite* (3).

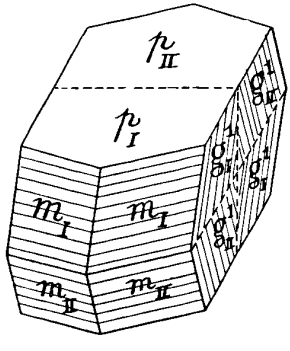


Fig. 523.

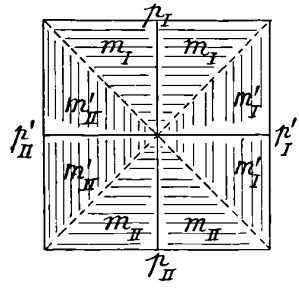


Fig. 524.

(1) Dédiée au minéralogiste anglais Heulandt.

(2) Dédiée au minéralogiste anglais Phillips. Appelée aussi *Christianite*, du nom d'un roi de Danemark.

(3) Du nom d'une variété d'harmotome dans laquelle cette macle simple est fréquente.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

b) Deux de ces groupements se pénètrent, après que l'un d'eux a tourné de 90° autour de l'arête pg^1 ; les faces longitudinales peuvent être p comme dans la figure 524 ou g^1 comme dans la figure 525 : on distingue les deux modes aux stries des faces m et des faces g^1 ; observons que les faces telles que m_I et m'_I (séparées par des pointillés sur les figures) se trouvent à peu près dans le même plan. D'ailleurs il peut exister ou non des angles rentrants le long des arêtes pg^1.

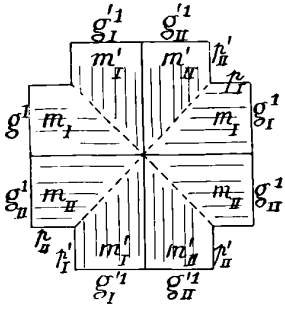


Fig. 525.

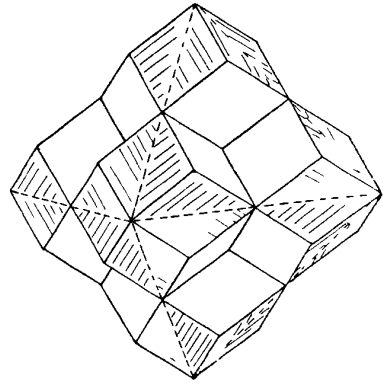


Fig. 526.

c) Trois groupes analogues à l'un des deux précédents se réunissent à angle droit (fig. 526), donnant un ensemble à symétrie cubique ; par suite de la suppression des parties rentrantes (non hachurées sur la figure) l'ensemble ressemble à un rhombododécaèdre (1).

Clivages p et g^1.

Dureté : 4 à 4,5. Densité : 2,2.

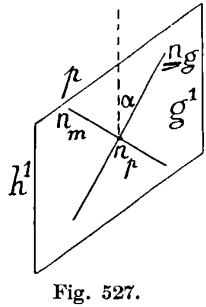


Fig. 527.

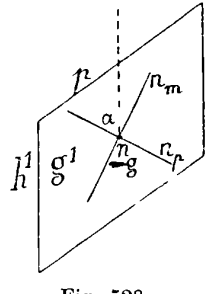


Fig. 528.

(1) Il est facile de rapporter à un cube les diverses face de la phillipsite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1 ; la bissectrice est *positive* et fait dans g^1 (fig. 527) un angle $\alpha = -25^o$ à -44° avec la verticale. $n = 1{,}48$, $2v = 62^o$ à 80°.

Incolore, blanche ; éclat vitreux.

Au chalumeau, fusible en émail blanc. Décomposée avec gelée par les acides.

Se trouve dans les cavités de roches volcaniques ; c'est cette zéolite qui se forme dans les grands fonds du Pacifique (voir p. 592).

Car. dist. — Les groupements sont caractéristiques. (Voir harmotome).

Harmotome

C'est une zéolite barytique, de formule $Al^2(K^2, Ba)H^2(SiO^3)^5 + 4aq$.

Clinorhombique : $mm = 59^o59'$ $ph^1 = 55^o10'$.

Mêmes formes et groupements que la phillipsite, mais les groupements cruciformes sont plus rares ; le groupement de la figure 525, avec angles rentrants (1), est le plus commun.

Clivages g^1 facile, p difficile.

Dureté : 4,5. Densité : 2,4 à 2,5.

Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1, mais, contrairement à la précédente, la bissectrice *positive* est perpendiculaire à g^1 (fig. 528) ; dans g^1, n_p fait avec la verticale un angle $\alpha = +62^o30'$. $n = 1{,}516$, $b = 5$.

Incolore ou blanche ; éclat vitreux.

Au chalumeau, s'émiette et fond en un verre blanc translucide. Décomposée sans gelée par les acides.

Se trouve dans les gîtes métallifères et dans les roches volcaniques.

Car. dist. — Les groupements. Se distinguent de la phillipsite par l'orientation optique et par la densité plus forte.

Stilbite

Sa formule est : $Al^2(Na^2, Ca)\ H^4(SiO^3)^6 + 4aq$.

Clinorhombique : $mm = 61^o10'$ $ph^1 = 50^o50'$.

Les cristaux en apparence simples, présentent la macle de la morvénite (fig. 529), que le microscope seul peut ordinairement

(1) D'où le nom de *harmos* « joint » et *temnein* « couper ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

déceler. Les cristaux sont toujours très aplatis suivant g^1, mais ils se groupent à axes imparfaitement parallèles en formant des sortes de gerbes comprimées par le milieu.

Clivage g^1 parfait, mais donnant des lamelles gondolées.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 2, à 2,17.

Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 ; la bissectrice aiguë, *négative*, n_p (fig. 529) fait un angle de 5° avec la trace de p (soit un angle de — 55° avec la verticale mg^1) :

$$\gamma = 1{,}500 \qquad \beta = 1{,}498 \qquad \alpha = 1{,}494$$
$$B = 6 \qquad 2V = 35°3' \qquad 2e = 52°30'.$$

Blanche, jaune, brune. Poussière blanche. Eclat vitreux, nacré sur g^1 (1).

Au chalumeau, s'exfolie, gonfle et fond en émail blanc. Décomposée sans gelée par les acides.

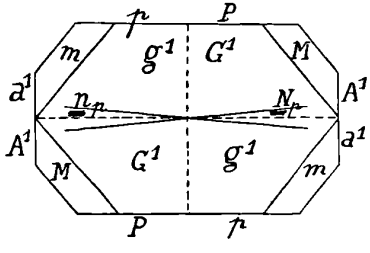


Fig. 529.

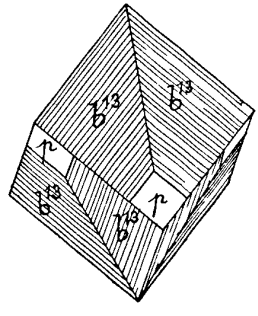


Fig. 530.

Se trouve dans les roches volcaniques, dans les calcaires métamorphiques, dans les produits de sources thermales actuelles.

Car. dist. — Le clivage ondulé, les propriétés optiques.

Chabasie

Sa formule est : $Al^2(Ca, Na^2)(SiO^3)^4 + 6aq$. Une partie de la chaux est fréquemment remplacée par K^2O et la soude Na^2O peut être absente.

Pseudorhomboédrique. Le rhomboèdre a un angle $pp = 85°14'$. Les cristaux ont la forme p, avec fréquemment les faces de l'isoscéloèdre b^2 ou du scalénoèdre b^{13} (fig. 530) très voisin de

(1) Le nom vient du grec *stilbein* « briller ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

p ($b^{13}b^{13} = 5°55'$). Les macles, par pénétration autour de l'axe ternaire, sont communes.

Clivage p distinct.

Dureté : 4 à 5. Densité : 2,08 à 2,15.

Les propriétés optiques indiquent que la chabasie (1) est en réalité triclinique. Les lamelles p montrent fréquemment deux axes optiques peu écartés. $n = 1{,}486$ — $B = 3$.

Incolore, laiteuse, grise. Eclat vitreux ; transparente ou translucide.

Au chalumeau, fond en bouillonnant en un verre plus ou moins opaque. Perd plus de 7% d'eau par exposition dans l'air sec pendant un mois. Décomposée par l'acide chlorhydrique avec dépôt floconneux de silice.

Fréquente dans les cavités et amygdales des roches volcaniques.

Car. dist. — Forme rhomboédrique.

Analcime

Formule : $Al^2Na^2(SiO^3)^4.2aq$.

Pseudocubique. En trapézoèdres a^2 (fig. 110) ou en cubes p portant a^2 sur les angles.

Traces de clivages p.

Dureté : 5 à 5,5. Densité : 2,22 à 2,26.

Les anomalies optiques font présumer que le minéral est triclinique. $n = 1{,}4874$.

Incolore, blanche, rose. Eclat vitreux. Transparente, translucide ou opaque.

L'analcime donne de l'eau dans le tube. Fond en verre incolore. Attaquable avec gelée (2).

Se trouve dans les roches volcaniques et dans les fentes de granulites et schistes cristallins.

Car. dist. — La forme. La dureté, la densité et la réfringence sont inférieures à celles de la leucite, dont elle se distingue de plus par les essais en tube fermé et par l'action des acides. Voir sodalite.

---

(1) Vieux nom pris dans les auteurs grecs.

(2) Le mot analcime vient de *analcis* faible, parce que le minéral développe faiblement de l'électricité par friction.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Mésotypes

Les mésotypes (1) comprennent trois types distincts :

la *natrolite* : $Al^2Na^2Si^3O^{10} + 2aq = N$;
la *scolésite* : $Al^2CaSi^3O^{10} + 3aq = S$;
la *mésolite* : N^1S^m, m étant souvent égal à 2.

La mésolite a donc une composition intermédiaire entre les deux autres types. Cependant, il existe des natrolites calcifères et des scolésites sodiques qui ne peuvent pas être considérées comme des mésolites : les trois espèces ont des propriétés physiques bien caractéristiques et qui en font trois types bien distincts.

Toutes trois se présentent en prismes allongés, en aiguilles, en masses bacillaires ; elles possèdent deux clivages parallèles à l'allongement et dont l'angle est presque droit : 88°45′ pour la natrolite, 88°37′ pour la scolésite, 88°17′ pour la mésolite.

La natrolite est orthorhombique et la forme ordinaire de ses cristaux est $mb\frac{1}{2}$ (fig. 531) ; leur aspect est quadratique ; on a : $mb\frac{1}{2} = 63°11'$.

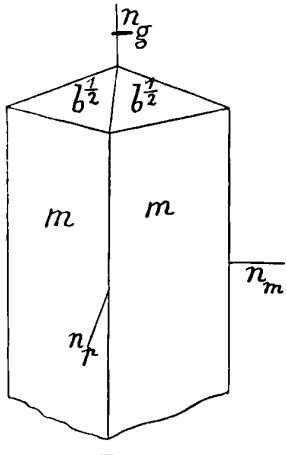


Fig. 531.

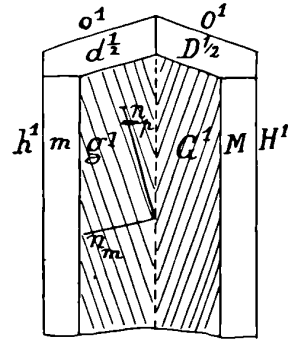


Fig. 532.

La scolésite est clinorhombique, mais ses cristaux, toujours maclés suivant h^1 (fig. 532) ont un aspect orthorhombique ; les

(1) Le mot *mésotype* vient de *mesos* moyen et *tupos* type. parce que Hauy considérait la forme comme intermédiaire entre celle de la stilbite et celle de l'analcime. Scolésite vient de *scolès*, un ver, par suite de l'action du chalumeau ; *mésolite* a une étymologie analogue à mésotype.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

stries sur g^1, à peu près perpendiculaires à l'arête o^1g^1, sont caractéristiques ; on a : $md\frac{1}{2} = 63°25'$.

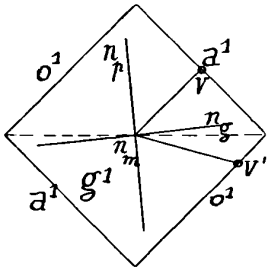


Fig. 533.

Quant à la mésolite, on orientera ses aiguilles en plaçant leur allongement parallèlement à l'axe binaire d'un prisme clinorhombique ; les clivages auront pour notations a^1 et o^1 (fig. 533) ; les aiguilles sont rarement terminées aux extrémités.

La dureté varie de 5 à 5,5, la densité de 2,16 à 2,28.

Les propriétés optiques servent le mieux à distinguer les mésotypes, surtout étudiées au travers des faces de clivage ; elles sont résumées dans le tableau suivant :

	Natrolite (fig. 531)	*Scolésite* (fig. 532)	*Mésolite* (fig. 533)
Bissectrice aiguë	perp. à p (parallèle à l'arête de clivage)	fait un angle = + 15° à 16° avec la verticale	dans g^1, oblique sur a^1
Plan des axes	g^1	perpend. à g^1	g^1
Signe optique	positif	négatif	positif
n	1,4797	1,4952	1,5
2V	62°	35°12′	70° à 75°
Biréfr. max. B	12	7	0,6
Biréfr. du clivage	10	6,5	$X_{o^1} = 0,2$; $X_{a^1} = 0$
Extinction sur le clivage	0°	12°	0°
Signe de l'extinction.	positif	négatif	indét. pour a^1 négatif pour o^1
Apparence en lumière convergente, avec introduction d'un biseau de quartz croisé	lignes d'égal retard se rejoignant en un point situé sur le bord du champ	lignes d'égal retard se rejoignant en un point situé à peu près à la moitié du rayon	plan des axes normal à l'allongement. Un axe optique ppd. à a^1, l'autre oblique sur o^1

Les mésotypes sont incolores, blanches ou grises.

La natrolite est fusible à la flamme d'une bougie ; au chalumeau, la scolésite blanchit et fond en un verre bulleux, la mésolite se gonfle, se tord et donne un émail blanc. Solubles dans les acides avec gelée.

Les mésotypes se trouvent dans les roches volcaniques.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Car. dist. — Les clivages presque droits, les propriétés optiques, l'action du chalumeau. Voir thomsonite.

Thomsonite

C'est une zéolite dont la composition se rapproche de celle d'une mésolite. Sa formule est : $Al^2(Ca,Na^2)(SiO^4)^2 + 2.5aq$.

Orthorhombique : $mm = 89°45'$. Les cristaux, rares, sont allongés verticalement, aplatis souvent suivant g^1 ; masses lamellaires et fibreuses.

Clivage g^1 parfait.

Dureté : 5 à 5,5. Densité : 2,35.

Le plan des axes optiques est parallèle à p ; il est donc perpendiculaire à l'allongement et aux stries verticales de g^1 ; la bissectrice, *positive*, est perpendiculaire à g^1. Dispersion forte : $\rho < v$.

$$\gamma = 1{,}525 \qquad \beta = 1{,}503 \qquad \alpha = 1{,}498$$

$2V = 51°35'$ $2E = 81°40'$ $B = 14$ $B(g^1) = 5$ $2e - 82$ à $94°$.

Incolore, blanche, rose, jaune. Eclat vitreux un peu nacré.

Fusible en émail blanc. Fait gelée avec les acides.

Dans les roches volcaniques basiques.

Car. dist. — Le plan des axes, perpendiculaire à l'allongement, rapproche la thomsonite de la mésolite, mais la bissectrice perpendiculaire au clivage ne permet pas la confusion.

Groupe des Clintonites

Ces minéraux possèdent des propriétés voisines de celles des micas dont ils se distinguent par un clivage moins facile, le manque d'élasticité des lames de clivage, une dureté plus grande, une réfringence plus élevée et une biréfringence plus faible. Par leur composition chimique, ils forment transition entre le groupe des micas et celui des chlorites.

Chloritoïde

On peut considérer ce minéral comme dérivant de l'acide $3SiO^2.11H^2O$: c'est alors le silicate le plus basique que l'on connaisse. Sa formule peut aussi s'écrire : $(Al^2, Fe^2)(Fe,Mg,H^2)SiO^7$. Le *salmite* est une chloritoïde manganésifère.

La chloritoïde est clinoédrique mais pseudohexagonale. Elle possède un clivage moins facile que celui des micas et les lames de clivage sont fragiles.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dureté : 6,5. Densité : 3,52 à 3,57.

Les lames de clivage montrent une bissectrice *positive* peu inclinée; l'angle des axes varie de 65° à 120°; $n = 1{,}741$.

Verte; poussière blanche. Eclat un peu nacré sur le clivage. Pléochroïsme très net dans les teintes bleues et vertes.

Dans le tube, donne de l'eau; au chalumeau, à peine fusible sur les bords en une masse noire magnétique. Décomposée par l'acide sulfurique concentré.

La chloritoïde se trouve dans le schistes cristallins.

Ottrélite

L'ottrélite peut être dérivée de l'acide H^4SiO^4 et sa formule serait alors : $Al^2(Fe,Mn,H^2)^3(SiO^4)^3$.

Elle est triclinique, pseudohexagonale, et possède un clivage peu facile parallèle à la base.

Dureté : 6 à 7. Densité : 3,3. $n = 1{,}73$.

Les lames de clivage montrent une bissectrice négative d'axes peu écartés.

Gris noirâtre.

Donne de l'eau dans le tube. Difficilement fusible; attaquée par l'acide chlorhydrique.

Se trouve en lamelles de quelques millimètres et difficiles à extraire dans des phyllades et des schistes cristallins, notamment dans des massifs cambriens de l'Ardenne.

Groupe des Chlorites

Les chlorites sont des silicates acides d'alumine et de magnésie; elles contiennent aussi de l'oxyde ferreux, parfois Cr^2O^3 et MnO; elles ne contiennent pas d'alcalis. La plupart des chlorites (*orthochlorites*) peuvent être considérées comme des mélanges isomorphes des deux silicates suivants :

Serpentine (Sp) = $Mg^2(SiO^4)^2H^3MgOH$.

Amésite (At) = $Mg(AlO^2)(SiO^4)HMgOH.Al(OH)^2$.

Elles ont une couleur verte, un clivage micacé donnant les figures de choc et de pression des micas; les lames de clivage sont flexibles et non élastiques. Elles sont pléochroïques, la teinte la plus foncée étant dirigée parallèlement à la trace du clivage; leur biréfringence est faible.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les *caractères distinctifs* des chlorites se trouvent dans leur clivage, plus facile que celui des clintonites ; dans leur signe optique qui est généralement positif ; dans l'angle très faible de leurs axes optiques ; dans leur faible biréfringence. Ces caractères, joints au fait que les lames de clivage ne sont pas élastiques, les distinguent aussi des micas.

Les chlorites sont des minéraux très répandus dans les roches éruptives et leurs tufs, dans les schistes cristallins (chloritoschistes) et dans les roches métamorphisées.

Clinochlore

La composition chimique varie entre celles déduites des formules Sp^3At^2 et Sp^1At^1.

Clinorhombique, pseudohexagonale. Une forme commune est celle de la figure 534. Nombreuses macles, fréquemment polysynthétiques. Clivage *p*.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 2,65 à 2,71.

Le plan des axes est parallèle à g^1 ; la bissectrice, *positive*, est un peu inclinée sur le clivage ; $n = 1{,}588$; l'angle des axes est très variable : 0 à 72° ; la biréfringence est faible : 11.

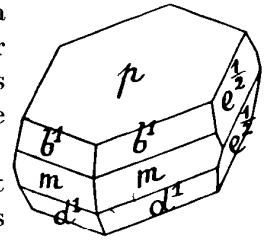


Fig. 534.

Verte, rarement rose ou incolore. Eclat nacré sur *p* ; pléochroïsme net dans les teintes vertes et jaunes.

Dans le tube donne de l'eau ; au chalumeau, blanchit et fond difficilement sur les bords en un verre gris. Décomposée par l'acide sulfurique.

Pennine

Sa composition varie entre celles de Sp^1At^1 et Sp^2At^3.

Clinorhombique, pseudorhomboédrique : les cristaux ont souvent la forme rhomboédrique de la figure 535.

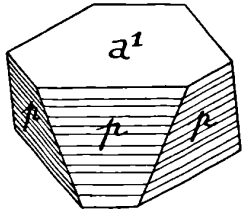


Fig. 535.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 2,65.

La bissectrice est *négative*, parfois positive, et presque perpendiculaire à *p* :

$$\gamma = 1{,}579 \qquad \alpha = 1{,}576 \qquad B = 3.$$

Verte ; éclat nacré sur *p*. Poussière onctueuse. Pléochroïsme net.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dans le tube, donne de l'eau ; fond sur les bords ; décomposée par l'acide sulfurique.

Prochlorite (*Ripidolite*)

La composition varie entre celle de Sp^2At^3 et Sp^3At^7.

Clirnohombique, le minéral ne se trouve qu'en lamelles hexagonales, en petites paillettes enchevêtrées ou en prismes vermiculés. Clivage *p* facile.

Dureté : 1 à 2. Densité : 2,78 à 2,96.

La bissectrice, *positive*, est un peu inclinée sur le clivage ; l'angle 2E est très petit. $n = 1{,}6$.

Verte ; éclat nacré sur le clivage, quelquefois bronzé ; pléochroïsme net.

Dans le tube donne de l'eau ; fond sur les bords en un verre noir et magnétique ; décomposée par l'acide sulfurique.

Groupe de la Serpentine

Ce groupe comprend des silicates de magnésie.

Talc

La formule théorique du talc est $Mg^3H^2(SiO^3)^4$; le FeO, CaO et même NiO sont parfois présents.

Le talc est orthorhombique avec $mm = 120°$, mais il forme ordinairement des agrégats micacés ou des masses plus ou moins compactes. Le clivage micacé donne des lamelles flexibles, mais non élastiques, sur lesquelles on peut produire les figures de choc du mica.

Dureté : 1. Sectile. Densité : 2,7 à 2,8.

Le clivage est perpendiculaire à la bissectrice aiguë, *négative*, d'axes très rapprochés : $2E = 15°$ à $20°$. La biréfringence des lames de clivages est donc très faible, ne donnant ordinairement que des teintes grises : $\gamma = 1{,}589$. $\alpha = 1{,}539$.

Blanche, verte, grise. Eclat nacré. Toucher gras. Transparent ou translucide.

La *stéatite* [1] est du talc compact, au toucher gras, formant une roche schisteuse ; c'est le crayon des tailleurs ; elle peut être pseudomorphe de quartz. La *pierre ollaire* est une stéatite riche en

[1] Le mot était déjà employé par Pline. Le mot talc est un mot arabe.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

chlorite. La *craie de Briançon* est une stéatite d'un beau blanc de lait. La *saponite*, onctueuse, se débitant dans l'eau en lamelles et employée comme savon au Maroc, peut être rapportée à la stéatite.

Donne de l'eau dans le tube, à haute température. Au chalumeau, blanchit et fond difficilement sur les bords. Inattaquable par les acides.

Le talc se trouve dans les roches cristallines ou métamorphiques. Il constitue un élément abondant de roches schisteuses appelées *talcschistes*. On l'exploite pour la fabrication de la poudre du même nom, qui sert à graisser les métaux, à poudrer les gants, à faire les crayons de pastel, etc.

Car. dist. — Le clivage facile à éclat nacré, le toucher gras, la bissectrice négative perpendiculaire au clivage, l'angle très petit des axes optiques. Se distingue des micas blancs en ce que ses lames ne sont pas élastiques, par sa dureté plus faible, par son toucher gras et ses propriétés optiques ; des micas noirs, par l'absence de dichroïsme ; de la pyrophyllite, par le faible écartement des axes optiques et l'action du chalumeau ; de la brucite, par le signe optique.

Sépiolite (*Écume de mer*)

La plupart des analyses conduisent pour ce minéral à la formule $Mg^2H^2(SiO^3)^3 + aq.$; elle contient fréquemment FeO, CaO et même NiO et CuO.

Ce minéral est compact, terreux ou feuilleté ; il est microcristallin.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 2. $n = 1{,}52$.

La sépiolite [1] est blanche, rose ; opaque ou rarement translucide. Eclat terreux, parfois un peu gras. Happe à la langue. A l'état sec, flotte sur l'eau à cause de sa porosité ; se laisse écraser.

Dans le tube, dégage de l'eau. Au rouge, perd toute son eau et devient dure au point de rayer le verre. Au chalumeau, noircit, puis blanchit et fond difficilement sur les bords. Avec le nitrate de cobalt, donne une coloration rose pâle. Décomposée avec gelée par l'acide chlorhydrique.

La sépiolite est employée pour la fabrication de tubes, de pipes, etc. L'exploitation se fait presque exclusivement à Eski-Chekir (Kurdistan) où la sépiolite se trouve en blocs disséminés dans une

[1] Ce mot vient de *sépia* « seiche », dont l'os est poreux et léger.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

brèche serpentineuse, mais ce minéral se rencontre fréquemment en lits incorporés dans des couches sédimentaires.

Serpentine

Les diverses espèces minérales auxquelles on a donné le nom de serpentine sont, en réalité, des roches dont l'élément constitutif principal est l'**antigorite**, jointe ou non à une variété dimorphe qui est le **chrysotile**.

L'antigorite et le chrysotile sont des silicates de magnésie de formule $Mg^3H^2(SiO^4)^2 + aq$, mais qui renferment souvent Al^2O^3 et Fe^2O^3.

L'antigorite est orthorhombique mais pseudocubique ; ses cristaux, que l'on n'a trouvés qu'à Brewster (Etats-Unis) et à Moncaup (Pyrénées), ont la forme du cube modifié par a^1 (fig. 1) ; il existe trois clivages parallèles aux faces du cube et que l'on prend pour plans de symétrie h^1, g^1 et p de la forme orthorhombique. Le clivage h^1 est micacé, les deux autres sont faciles.

Le chrysotile est orthorhombique, mais se présente sous forme de fibres soyeuses agglomérées à axes parallèles.

La dureté de ces deux minéraux varie de 2 à 3 pour le chrysotile et de 3 à 4 pour l'antigorite. Leur densité est de 2,5 à 2,6.

Dans l'antigorite, le plan des axes optiques est parallèle à g^1 et la bissectrice aiguë, qui est *négative*, est perpendiculaire au clivage micacé ; $n = 1{,}570$; $2E = 110°$. La biréfringence maximum ne dépasse pas 9.

Dans le chrysotile, la bissectrice aiguë est *positive* et parallèle à l'axe des fibres, dont l'allongement est donc toujours positif ; l'angle des axes est très petit ; la biréfringence, supérieure à celle de l'antigorite, ne dépasse cependant pas 11.

L'antigorite est verte, grise, jaune, rarement blanche, transparente en lame mince ; l'éclat est gras, un peu vitreux. Le chrysotile est jaune d'or [1] ou verdâtre, avec éclat soyeux ou métallique.

Comme il est dit plus haut, la **serpentine** est une roche dont l'élément essentiel, et parfois unique, est l'antigorite ; elle est compacte, à cassure conchoïdale ou esquilleuse, verte ou jaune, souvent marbrée par suite de son mélange avec de la calcite ; sa dureté est de 2,5 à 4 et même 5 ; sa densité de 2,50 à 2,65. Elle est

---

[1] Le mot chrysotile vient de *chrusos* « or » et *tilos* « fibre » ; le mot antigorite, d'une localité des Alpes, et le mot serpentine indique l'aspect souvent tacheté de la roche.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

toujours le résultat de la transformation de silicates magnésiens : pyroxènes, amphiboles et surtout olivine ; sa structure microscopique, qui peut être maillée, fibreuse ou même sphérolithique, dépend de la composition de la roche originelle (péridotite, etc.).

La *serpentine noble* est jaune et translucide ; la *bastite* est une antigorite lamellaire qui épigénise les pyroxènes ; la serpentine épigénise fréquemment les cristaux d'olivine.

La serpentine donne de l'eau dans le tube, fond difficilement sur les bords et est décomposée par les acides.

Le chrysotile est parfois mélangé à l'antigorite dans les serpentines, mais le plus souvent il remplit les fentes de la roche sous forme de fibres à vif éclat.

L'antigorite, en cristaux microscopiques, se trouve en veinules dans les serpentines, de même que le chrysotile qui est exploité comme asbeste. La serpentine, exploitée comme marbre et pour la fabrication d'objets d'ornements, se trouve incorporée dans les terrains sédimentaires et éruptifs, en masses parfois très volumineuses.

Garniérite (*Nouméite*)

La composition correspond à la formule $(Ni,Mg)^8H^{18}Si^7O^{31}$, dans laquelle NiO se trouverait mélangé à MgO dans la proportion de 3 : 5 ; la teneur en nickel varie de 17 à 31 %.

Ce minéral se trouve en masses terreuses, ternes, happant à la langue ; il est microcristallin ou amorphe. Sa couleur est le vert pâle. Sa dureté et sa densité sont très variables.

Dans le tube, donne de l'eau et noircit. Au chalumeau, devient vert olive et se divise en fragments sans fondre. Dans l'eau, se divise en fragments. Attaqué par l'acide sulfurique à 300° ou par l'eau régale avec dépôt de silice et donnant une liqueur verte. La solution, rendue très légèrement ammoniacale, précipite en rouge cramoisi par le diméthylglyoxyme et, rendue fortement ammoniacale, précipite abondamment par le phosphate de soude. Avec le borax, donne une perle violette au feu oxydant, devenant grise au feu réducteur.

La garniérite (1) est exploitée comme minerai de nickel ; on la trouve en veines, traversant la serpentine en Nouvelle Calédonie.

(1) Dédiée au Français Garnier.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Groupe du **Kaolin**

Ce groupe comprend des silicates d'alumine.

Pyrophyllite

La formule de ce minéral est : $Al^2H^2(SiO^3)^4$.

Clinorhombique (?), mais ne se présente qu'en lames de clivage micacé assemblées de façon à donner des masses radiées ou fibreuses. Ces lamelles de clivage sont flexibles mais non élastiques.

Dureté : 1 à 2. Densité : 2,7 à 2,9.

Les lames de clivage montrent une bissectrice *négative* d'axes très écartés : $2E = 105^o$ à 110° ; la biréfringence du clivage est égale à 8 environ, de sorte que les lames montrent des teintes vives de polarisation (contrairement au talc). $n = 1{,}59$.

Blanche, jaune. Eclat et toucher gras. Translucide.

Donne de l'eau dans le tube. Au chalumeau, infusible mais gonfle énormément en serpentant (1) ; se colore en bleu avec le nitrate de cobalt. Incomplètement décomposée par l'acide sulfurique.

Se trouve dans les schistes cristallins et métamorphiques ; en Belgique, dans les schistes cambriens de l'Ardenne.

Car. dist. — Le grand écartement des axes, l'action du chalumeau, la biréfringence des lames de clivage.

Kaolin (*Lithomarge*)

La formule du kaolin pur est $Al^2H^4Si^2O^9$; il peut renfermer des traces de Fe^2O^3, MgO, K^2O, Na^2O. Souvent très impur.

Clirnorhombique avec $mm = 59^o26'$, mais la cristallinité n'apparaît qu'au microscope en petites lamelles hexagonales montrant une bissectrice aiguë *négative* inclinée de 20° sur les lamelles ; $2V = 90^o$ environ ; $n = 1{,}549$.

La **pholérite** (2), qui a même composition, et montre les mêmes écailles, serait clinoédrique.

Masses onctueuses, plastiques, pulvérulentes.

---

(1) D'où le nom de *pur* « feu » et *phullon* « feuille ».

(2) Le mot pholérite vient de *pholis* « écaillé ». — Le mot kaolin est une corruption du mot chinois Kauling, localité où il était exploité pour la fabrication de la porcelaine dès 185 av. J.-C. En 1710, on retrouva la matière en Saxe et, peu à peu, malgré les précautions prises pour conserver le secret, la fabrication de la porcelaine s'étendit en Europe.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Blanc quand il est pur, le kaolin est souvent gris, jaunâtre ou brunâtre.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 2,62.

Happe à la langue. Forme pâte avec l'eau. Dans le tube, donne de l'eau ; infusible ; chauffé avec le nitrate de cobalt, se colore en bleu ; insoluble dans les acides.

Le kaolin, employé pour la fabrication de la porcelaine et accessoirement du papier et des savons, est un produit d'altération des feldspaths ; il est généralement concentré au voisinage de roches granitiques et granulitiques. La pholérite est fréquente dans les fissures des roches carbonifères du bassin houiller franco-belge.

Les **argiles** peuvent être considérées comme des mélanges de kaolin et d'autres minéraux, quartz, mica, etc., provenant de la désagrégation de roches feldspathiques ; les matières colorantes sont l'oxyde de fer rouge, l'hydroxyde jaune, et des composés organiques qui donnent principalement le *terreau* (bleu, gris, noir). Les argiles contiennent fréquemment des intercalations de pyrite, de gypse, de calcite ; elles sont souvent glauconifères. L'argile grasse est onctueuse ; l'argile maigre est dure au toucher. L'argile desséchée happe à la langue ; elle émet une odeur caractéristique quand on souffle dessus. D'autres indications sur les argiles ont été données précédemment (**417**). (Voir bauxite).

Halloysite

L'halloysite (1) et un kaolin hydraté, de formule : $Al^2H^4Si^2O^9 + n\ aq.$

Elle se présente en petites masses mamelonnées ou sphérolithiques, à l'éclat nacré, cireux ou gras, se laissant couper au couteau. Happe à la langue. Amorphe.

Dureté : 1 à 2. Densité : 2 à 2,25.

Couleur blanche, grise, brune, rouge. Translucide ou opaque.

Donne de l'eau dans le tube. Certains échantillons, plongés dans l'eau, augmentent de volume et deviennent transparents. Infusible. Décomposée par les acides.

L'halloysite est un produit secondaire qui se trouve dans les veines et couches métallifères.

---

(1) Dédiée au géologue belge Omalius d'Halloy.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Allophane

La composition chimique peut être représentée par la formule $Al^2SiO^5 + n\,aq$, n étant égal à 5 ou 6.

L'allophane constitue des masses amorphes mamelonnées stalactitiques ou pulvérulentes ; fraîchement recueillie, elle est tendre et parfois gélatineuse ; en se desséchant, elle devient dure (dureté : 3), fragile et perd sa transparence. Densité, 1,75 à 1,89.

Incolore, blanche ; contient souvent des oxydes métalliques (Fe, Cu, Mn) qui la colorent en vert ou bleu [1]. Eclat vitreux, un peu résineux. Happe à la langue.

Donne beaucoup d'eau dans le tube ; au chalumeau, décrépite et est infusible ; humectée de nitrate de cobalt, se colore en bleu. Décomposée avec gelée par l'acide chlorhydrique.

L'allophane est un produit de décomposition de silicates d'alumine ; on la trouve dans les fissures de roches feldspathiques, dans les gîtes métallifères, dans les fentes et poches de couches sédimentaires. En Belgique, à Visé.

Groupe du Chrysocole

Chrysocole

Le chrysocole a été considéré comme une dioptase hydratée mais, en réalité, c'est un silicate-hydraté et non acide, de formule $CuSiO^3 + 2aq$. Parfois mélangé à des oxydes de calcium, d'aluminium, de cobalt.

Microcristallin, formé de petites fibres uniaxes et d'allongement positif. Masses cireuses, fibreuses, sphérolithiques ou stalactitiques, vertes ou bleues, à cassure conchoïdale. $n = 1{,}5$.

Dureté : 2 à 4. Densité : 2 à 2,42.

Mêmes caractères chimiques que la dioptase, mais perd déjà de l'eau dans l'air sec ; à 100°, elle perd 60 % de son eau et est complètement déshydratée à 250° ; elle reprend aisément son eau, comme les zéolites, dans l'air humide.

Se trouve dans les gisements cuprifères. Le chrysocole [1] est exploité dans les mines du Katanga où il est mélangé, en petites couches alternantes, avec la malachite.

---

(1) D'où le nom, de *allos* « autre » et *phanein* « paraître ».

(2) Le nom vient de *chrusos* « or », parce qu'elle ressemblait à une matière employée pour la soudure de l'or.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Katangite

Ce minéral peut être considéré comme une dioptase hydratée : $CuH^2SiO^4 + aq$; on le trouve en masses terreuses, plus ou moins compactes, happant à la langue, blanchâtres ou bleuâtres.

Un grain placé dans un liquide réfringent se sépare en petites lamelles micacées, à extinctions onduleuses ; les indices sont voisins de 1,59.

Abondant dans les mines de cuivre du Katanga.

Glauconie

C'est un silicate hydraté de fer, d'alumine et de potasse ; sa formule est douteuse.

La glauconie est un produit caractéristique des sédiments accumulés dans la mer. Elle se retrouve donc dans les roches sédimentaires, en grains sphériques, ovoïdes, irréguliers, formés de lamelles enchevêtrées. Clivage micacé. Cryptocristalline ou lamelleuse.

Les grains de glauconie, qui sont vert foncé à noirâtre sont, en coupe mince, verts de différentes nuances.

Biaxe : $2E = 20^o$ à 30°. $B = 20$. $n = 1{,}6$.

Attirable à l'électroaimant. Facilement fusible en un verre noir. Plus ou moins attaquable à chaud par l'acide chlorhydrique.

Les grains de glauconie incrustent les éléments des roches sédimentaires, dans lesquelles elle épigénise souvent les spicules d'éponges.

La glauconie s'altère aisément et donne de l'hydrate de fer : on attribue à cette altération l'origine de nombreux dépôts de *fer des marais*.

Chamosite

Minéral microcristallin, chloriteux, à structure oolithique, qui paraît répondre à la formule : $9SiO^2.5Al^2O^3.16FeO.14\,H^2O$.

Verte à noire ; en lames minces, dichroïque : vert clair à jaunâtre ou incolore.

Bissectrice négative normale à un clivage facile ; $B = 10$ à 12.

Fusible en un verre noir magnétique. Très facilement attaquable par les acides en laissant un squelette de silice qui garde la structure du minéral.

Les oolites de ce minéral, englobant souvent de la magnétite en inclusions, parfois cimentés par de la magnétite, des grenats,

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de la calcite, donnent lieu à des roches qui, sous les noms de *bavalite*, *berthiérine*, *chamoisite*, sont exploitées comme minerais de fer.

Car. dist. — La structure concentrique et la biréfringence distinguent la chamosite de la glauconie.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

V. — TITANATES, NIOBATES, TANTALATES

Quelques-uns des minéraux décrits ici sont aisément reconnaissables à leurs formes et à leurs propriétés optiques : ce sont des titanates et des silico-titanates que nous réunissons dans le groupe du *sphène*. Les autres, qui sont des niobates et des tantalates, infusibles, généralement insolubles dans les acides, opaques ou monoréfringents, sont au contraire difficiles à distinguer l'un de l'autre. Ils constituent trois groupes : le groupe du *pyrochlore*, dont les espèces présentent la forme octaédrique ; le groupe de l'*aeschynite*, dont les espèces présentent rarement des formes cristallines et le groupe de la *columbite*, qui est orthorhombique.

Ces niobotantalates sont caractérisées par une dureté de 5 à 7,5, par une densité élevée variant de 4 à 8 ; ils sont très réfringents et plusieurs d'entre eux sont biréfringents, mais les propriétés optiques y sont voilées par l'intensité de leur couleur qui persiste en lame mince. Ce sont des minéraux des syénites alcalines et des pegmatites. Ils sont très intéressants par la présence, parfois abondante, d'urane qui les rend radioactifs ; mais leur composition chimique est complexe et leurs formules sont encore très incertaines ; on ne peut guère en général les distinguer rapidement l'un de l'autre que par des essais qualificatifs tendant à y déceler la présence et la proportion relative des terres rares qu'ils contiennent. Nous nous bornerons à décrire ci-après quelques-uns d'entre eux, mais nous donnons d'abord une liste des différentes espèces que l'on a caractérisées, avec l'indication des bases et des anhydrides qui prédominent dans chacune d'elles, et dans leur ordre d'importance, d'après les analyses renseignées par Dana et Lacroix. Rappelons que, avec Ce^2O^3, se trouvent aussi La^2O^3 et Di^2O^3 et que, avec Yr^2O^3, se trouve Er^2O^3.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Titanates, Niobates, Tantalates

Système cristallin	Espèces	Densité maximum observée	Composition (1)
Cubique	Perovskite	4,017	$TiO^2.CaO$.
	Dysanalyte	4,13	$TiO^2.CaO.Nb^2O^5$.
Clinorhombique	Tschewkinite	4,55	$Ce^2O^3.TiO^2.SiO^2$.
Cubique	Pyrochlore	4,36	$Nb^2O^5.TiO^2.CaO.ThO^2.Ce^2O^3.Fl$.
	Hatchettolite	4,90	$Nb^2O^5.Ta^2O^5.UO^3.CaO.Fl$.
	Microlite	6,13	$Ta^2O^5.CaO.Nb^2O^5.Fl$.
	Néotantalite	5,196	$Ta^2O^5.Nb^2O^5.FeO.MnO.Fl$.
Quadratique	Fergusonite	5,838	$Nb^2O^5.Y^2O^3.Ta^2O^5$.
	Tapiolite	7,496	$Ta^2O^5.Nb^2O^5.FeO$.
Orthorhombique	Columbite	5,3 à	$Nb^2O^5.FeO$.
	Tantalite	7,3	$Ta^2O^5.FeO$.
Orthorhombique	Samarskite	5,8	$Nb^2O^5.Ta^2O^5.UO^3.Y^2O^3$.
	Yttrotantalite	5,9	$Ta^2O^5.Nb^2O^5.UO^3.Y^2O^3$.
	Ampangabéite	4,29	$Nb^2O^5.UO^3.Ta^2O^5$.
Orthorhombique	Aeschynite	4,93	$Nb^2O^5.TiO^2.Ce^2O^3.ThO^2$.
	Polymygnite	4,77	$ZrO^2.TiO^2.Nb^2O^5.Ce^2O^3.ThO^2$.
Orthorhombique	Euxénite	4,99	$Nb^2O^5.Y^2O^3.TiO^2.UO^3.Ce^2O^3$.
	Polycrase	5,04	$Ta^2O^5.Y^2O^3.TiO^2.UO^3.Ce^2O^3$.
	Betafite	5,00	$Nb^2O^5.UO^3.TiO^2.CaO.Ta^2O^5$.
Cubique	Samiresite	id.	$Nb^2O^5.UO^3.PbO.TiO^2.Ta^2O^5$.
	Blomstrandite	id.	$Ta^2O^5.Nb^2O^5.UO^3.TiO^2.CaO$.
Orthorhombique	Priorite	4,93	Comme euxénite.
	Blomstrandine	4,93	Comme polycrase.
Cubique	Thorianite	9,33	$ThO^2.UO^3$.
Clinorhombique	Baddeleyite	6,025	ZrO^2.
»	Thoreaulite	7,8	$SnO^2.Ta^2O^5$.
Rhomboédrique	Ilménite	5,00	$TiO^2.FeO$.

Le tableau de la page suivante donne une marche analytique simple pour la recherche des bases et anhydrides considérés ici mais nous y ajouterons quelques remarques :

1° Une solution sulfurique concentrée d'un minerai contenant du titane donne, à l'ébullition, avec du zinc, une coloration violette devenant rose par addition d'eau ; dans les mêmes conditions, une solution contenant du niobium donne une coloration bleue et, si les deux éléments sont présents, la coloration violette apparaît avant la coloration bleue ;

(1) Nous avons ajouté dans ce tableau la baddeleyite, la thorianite et l'ilménite qui peuvent aussi être confondues avec les espèces précédentes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le minéral est fondu avec du bisulfate de potassium et repris par l'eau *froide*.

Résidu blanc :

Nb^2O^5 et Ta^2O^5

Ce résidu, traité à chaud par l'acide sulfurique dilué, donne, avec le zinc, une coloration bleue persistante si le niobium prédomine ; la coloration devient bleu grisâtre, si le tantale prédomine. D'ailleurs, le résidu dissous dans HFl, additionné d'un peu de fluorhydrate de fluorure de K, donne des aiguilles de fluotantalate de K, tandis que la liqueur décantée précipite en orangé par la teinture de noix de galle, s'il y a du niobium.

Si la solution contient du TiO^2, elle se colore en jaune par addition de quelques gouttes de H^2O^2 ; on précipite alors TiO^2 par une longue ébullition et on filtre. La solution est additionnée d'ammoniaque ; le précipité formé est dissous dans HCl (sans excès) et additionné d'acide oxalique.

Précipité : Ce, Th, Y. Zr.

On le traite par un excès d'acide oxalique.

Solution : Zr.

La solution est évaporée à sec ; le résidu calciné est dissous par l'acide sulfurique, repris par l'eau et précipité par le phosphate de sodium.

Précipité : Ce, Th, Y, Er.

Le précipité est calciné et dissous dans HCl ; on ajoute un excès de K^2SO^4 *solide* ; au bout de quelque temps, on obtient :

Précipité : Ce Th.

On le dissout dans l'eau bouillante additionnée d'un peu de HCl. Une petite quantité de H^2O^2 donne un pr. blanc gélatineux (Th) et un excès fournit un pr. orangé (Ce).

Solution : Y, Er.

Traitée par l'acide oxalique, elle donne un pr. blanc pour l'Yttrium, rouge clair pour l'Erbium.

Solution : (Zr) Ur, Al, Fe.

Un excès de potasse donne :

Précipité: Ur, Fe.

Ce précipité, additionné d'un excès de carbonate ammonique, est débarrassé de l'urane, dont la solution jaune précipite par ébullition.

Soluion Al.

La solution, acidifiée jusqu'à ce que le précipité formé se dissolve, est traitée par l'ammoniaque. On peut caractériser le pr. formé par le nitrate de Co (bleu de Thénard).

Note. — La chaux et les alcalis doivent être recherchés dans un essai spécial.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

2° Un minerai contenant les acides niobique et tantalique, désagrégé par fusion avec $KHSO^4$, repris par l'eau froide, laisse un résidu blanc de Nb^2O^4 et Ta^2O^4 ; s'il y a en plus du titane, la solution, soumise pendant longtemps à ébullition, précipite TiO^2 en flocons blancs ;

3° Ces minerais sont suffisamment attaqués par H^2SO^4 pour fournir les réactions colorées indiquées ci-dessous, mais cependant plus ou moins troublées par la coexistence de ces divers acides :

	Nb^2O^5	Ta^2O^5	TiO^2
Naphtol α	vert gris	vert de Scheele	verdâtre et violet
Naphtol β	gomme gutte	verdâtre	café brûlé
Brucine	jaune serin	rose thé	rougeâtre
Résorcine	jaunâtre	améthyste	rose puis brun
Morphine	—	—	carmin

4° Un minerai contenant de l'urane, dissous dans un acide ou bien fondu avec $KHSO^4$ et repris par l'eau, additionné d'ammoniaque et d'un excès de carbonate d'ammonium, donne, après filtration, la liqueur étant évaporée à sec et reprise par de l'acide acétique, un précipité blanc jaunâtre lorsqu'on ajoute du phosphate de sodium ; le précipité, repris par un peu de HCl dilué, donne avec le ferro-cyanure de K, un précipité brun rouge (ou une coloration brunâtre, s'il est très dilué) ;

5° Tous les minerais contenant de l'urane impressionnent les plaques photographiques et déchargent l'électroscope (**279**) ;

6° Pour la zircone, voir p. 570.

Groupe du **Sphène**

Sphène (*Titanite*)

La sphène a pour formule $CaTiSiO^5$; la chaux est remplacée partiellement par FeO ; on y trouve aussi Al^2O^3, MnO, MgO, Y^2O^3.

Clinorhombique : $mm = 66°29'$ $ph^1 = 60°17'$ $h^1d^{\frac{1}{2}} = 35°4'$.

Clivage m difficile.

Le sphène est presque toujours en cristaux qui ont des facies très variés, parmi lesquels nous citerons d'abord la combinaison $pd^{\frac{1}{2}}\ m$ (fig. 536) qui est fréquente ; parfois les cristaux s'allongent

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

parallèlement à l'arête $d^{\frac{1}{2}}\ d^{\frac{1}{2}}$, donnant une forme prismatique (fig. 537) dont l'angle est de 43°49′ ; les faces h^1 et p y prennent une

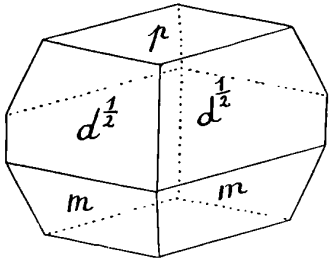


Fig. 536.

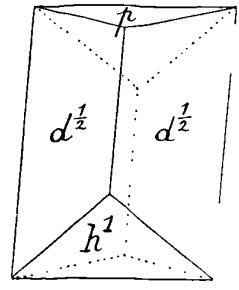


Fig. 537.

forme triangulaire. L'allongement se fait aussi verticalement (fig. 538) et les faces h^1 peuvent se développer en donnant alors des cristaux très aplatis (1). Les cristaux de sphène peuvent aussi se développer à peu près régulièrement dans tous les sens (fig. 539)

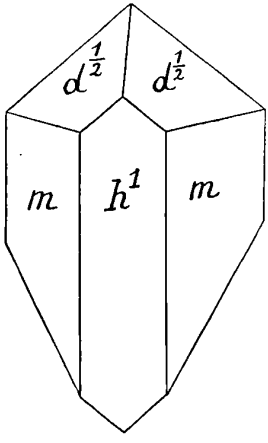


Fig. 538.

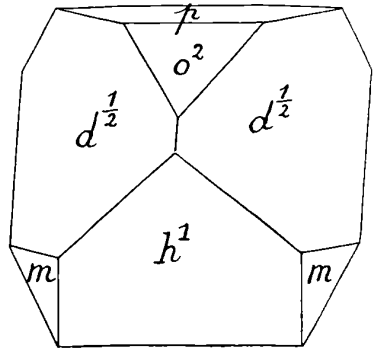


Fig. 539.

et ils portent fréquemment la face o^2 qui est également une face d'aplatissement. Enfin, l'allongement peut se faire parallèlement à l'arête pg^1, mais ces deux faces n'existent le plus souvent qu'en

(1) Ces cristaux ont reçu le nom de *séméline* par suite de leur ressemblance avec les grains de lin (*semen* «semence»). Le mot sphène vient de *sphenos* coin », ce qu'explique la forme des cristaux.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

troncatures très étroites des arêtes du prisme $e^{\frac{1}{2}}$ dont l'angle est de 112°3′ ; ces cristaux sont remarquables par le grand nombre de facettes qui se présentent à l'une de leurs extrémités et dont la figure 540 donne un exemple.

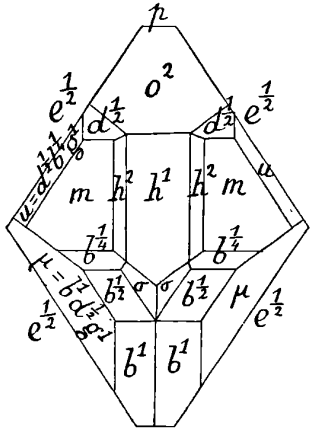


Fig. 540 (1)

La macle la plus commune du sphène se fait parallèlement à h^1 ; cette macle est souvent dite *en gouttière* parce que (fig. 541) les cristaux y sont allongés parallèlement à l'arête ph^1, aplatis parallèlement à h^1 et que les faces p y forment un angle rentrant égal à 59°26′. Cependant l'allongement dans ces macles (fig. 542) se fait aussi verticalement.

Dureté : 5 à 5,5. Densité : 3,4 à 3,56.

Le plan des axes est parallèle à g^1 (fig. 543) ; l'angle α que fait la bissectrice aiguë, *positive*, avec la

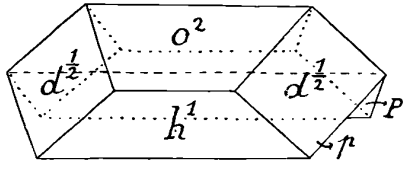


Fig. 541.

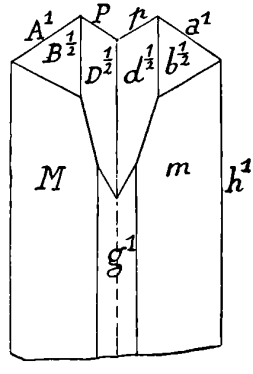


Fig. 542.

verticale, est égal à 51° ; cette bissectrice est perpendiculaire à o^2. Les indices sont :

$$\gamma = 2{,}0093 \qquad \beta = 1{,}8940 \qquad \alpha = 1{,}8879$$

$$2V = 27°9' \qquad 2E = 52°49' \qquad 2e = 32° \text{ à } 88°$$

$$B = 121 \qquad B(p) = 9 \qquad B(h^1) = 39 \qquad B(o^2) = 6 \qquad B(m) = 89$$

(1) Dans cette figure, $\sigma = b^1 \overline{b^3} h^1 = a_3$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La dispersion est très forte avec $\rho > v$. L'allongement (vertical) des faces h^1 et m est positif.

Le sphène est brun, gris, jaune, rose, vert, transparent ou translucide. L'éclat est adamantin. Le pléochroïsme est parfois très sensible dans les variétés colorées, donnant des teintes roses suivant n_g et n_m et jaune verdâtre suivant n_p.

Difficilement fusible avec bouillonnement en un verre incolore ou coloré ; difficilement attaquable par l'acide chlorhydrique concentré ; réactions du titane (voir ilménite).

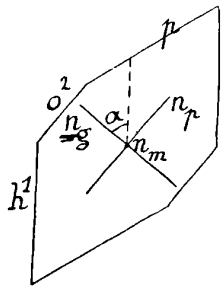


Fig. 543.

Le sphène se trouve dans les fentes et cavités des roches éruptives granitiques et des schistes cristallins ; il est fréquent comme élément accessoire des roches éruptives.

Car. dist. — La forme, les macles, le grand relief et la forte biréfringence. Voir monazite.

Bénitoïte

Composition chimique : $BaTiSi^3O^9$.

Hexagonale tétartoédrique ; ses cristaux ont été décrits précédemment (fig. 86).

Clivage a^1 imparfait ; cassure conchoïdale.

Dureté : 6,5. Densité : 3,65.

Uniaxe et *positive* :

$$\varepsilon = 1{,}804 \qquad \omega = 1{,}757 \qquad B = 47$$

Bleue ou incolore ; très dichroïque.

Assez facilement fusible en un verre transparent. Insoluble dans l'acide chlorhydrique ; attaquable par l'acide fluorhydrique ; désagrégée par fusion avec le carbonate sodique, donne les réactions du titane (voir ilménite).

A été trouvée à San Benito (Californie). Employée en bijouterie.

Car. dist. — La forme des cristaux et la dureté ; ce dernier caractère suffit à la distinguer du saphir.

Astrophyllite

La composition chimique de ce minéral est complexe et peut être représentée par la formule : $(Fe,Mn)^4(Ti,Zr)\ (Na,K)^4(SiO^4)^4$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

L'astrophyllite est orthorhombique mais ne se présente guère qu'en lamelles allongées donnant des masses foliacées ou radiées (1) ; ces lamelles sont dues à un clivage micacé pris pour g^1 ; les lames de clivage ne sont pas flexibles et se clivent aussi suivant une direction normale prise pour p.

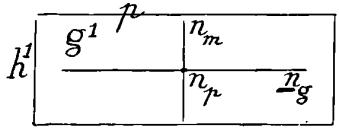


Fig. 544.

Dureté : 3. Densité : 3.35.

La bissectrice obtuse est perpendiculaire au clivage g^1, mais la bissectrice aiguë, qui est parallèle à p (fig. 544), est *positive*.

$n_g = 1{,}733$ $\quad n_m = 1{,}703$ $\quad n_n = 1{,}678$

$B = 55$ $\quad B(g^1) = 30$ $\quad 2v = 70^\circ$ à 75°.

Jaune foncé ou brune ; éclat métalloïde un peu nacré. Pléochroïsme intense dans les teintes jaunes et qui donne $n_p > n_m > n_g$.

Au chalumeau, gonfle et fond en émail noir ; avec le carbonate de soude, donne une masse verte ; un peu attaquable par les acides.

L'astrophyllite est un minéral des syénites.

Car. dist. — Le clivage micacé perpendiculaire à une bissectrice obtuse et l'action du chalumeau. Se distingue du mica par la non-flexibilité de ses lames de clivage, par l'orientation optique et par le pléochroïsme qui donne le maximum d'absorption perpendiculairement à l'allongement.

Pérovskite

C'est le titanate de chaux $CaTiO^3$, dans lequel une partie de la chaux est remplacée par FeO et qui contient aussi des traces de MgO et MnO.

Cubique : ordinairement en cubes ou en octaèdres aux faces striées et décelant des lamelles mimétiques.

Dureté : 5,5. Densité : 4.

Optiquement, la pérovskite (2) est biaxe avec $n = 2{,}39$ et $2V = 90^\circ$ environ ; $B = 6{,}5$.

Jaune, brune, noire et opaque. En lame mince, jaune brunâtre et transparente. Eclat adamantin.

Infusible. Décomposée à chaud par l'acide sulfurique. Réactions du titane.

---

(1) Le nom vient de *astron* « étoile » et *phyllon* « feuille ».
(2) Dédiée à Pérovski, de Pétrograd.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Se trouve dans les calcaires et schistes cristallins et comme élément microscopique de basaltes néphélinitiques et de péridotites.

Car. dist. — La forme, l'éclat, la dureté. En *lame mince*, la coloration, les lamelles hémitropes, la forte réfringence et la faible biréfringence.

Groupe du Pyrochlore

Pyrochlore

C'est essentiellement un niobotitanate de chaux qui contient également du cérium, du fer, du fluorure sodique ; le niobium est remplacé partiellement par du tantale et le titane par du thorium ; il y a parfois de l'uranium.

Ordinairement en octaèdres cubiques, bruns à la surface, bruns ou noirs avec éclat résineux dans la cassure ; en lame mince, couleur jaune d'or. Poussière brun clair. $N = 1{,}96$.

Dureté : 5 à 5,5. Densité : 4,2 à 4,36.

Au chalumeau, infusible mais devient jaune et colore la flamme en jaune rougeâtre ; chauffé fortement, devient incandescent (1). Insoluble dans les acides.

Hatchettolite

C'est un tantaloniobate d'urane, de chaux, de cérine ; il renferme aussi Y^2O^3,TiO^2 et, accessoirement, WO^3,SnO^2,FeO,PbO,GlO, etc. Il diffère du pyrochlore par les réactions très nettes de l'urane, qui le rend toujours radioactif.

Cristaux octaédriques ou sans forme, jaune brunâtre à éclat résineux très vif (2). $N = 1{,}98$.

Dureté : 5. La densité, qui est de 4,90, peut s'abaisser considérablement par suite de l'hydratation secondaire qui le rend jaune paille et très fragile.

Mêmes caractères chimiques que le pyrochlore avec les réactions de l'urane très nettes.

Microlite

C'est un tantalate fluorifère de chaux et de soude, contenant accessoirement Nb^2O^5 et U^2O^3.

---

(1) Le nom vient de *pur* « feu » et *chloros* « gris », par suite du changement de teinte au chalumeau. L'incandescence du pyrochlore au chalumeau est commune à de nombreux minéraux du même genre (renfermant des terres rares) et qui sont dits *pyrognomiques*.

(2) Dédiée au chimiste anglais Hatchett.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En octaèdres parfois modifiés par b^1, p et par des faces trapézoédriques, la microlite (1) est jaune ou brune, transparente ou translucide, parfois opaque, avec éclat résineux.

Dureté : 5,5. Densité : 5,4 à 6,13. $N = 1{,}94$.

Se distingue du pyrochlore par l'absence du titane et la prédominance du tantale.

Betafite

C'est un niobotitanate d'urane, contenant aussi H^2O, Al^2O^3, Fe^2O^3, CaO et, accessoirement, Y^2O^3, Ce^2O^3, ThO^2, MgO.

Se trouve en cristaux parfois volumineux, ayant la forme d'octaèdres modifiés par b^1 (2), ou en masses compactes, noires à brun verdâtre, avec éclat résineux très vif dans la cassure ; altérée en jaune grisâtre à la surface ; très radioactive.

Dureté : 6. Densité : 4,07 à 4,17. $N = 1{,}92$.

Le minéral est attaqué par l'acide chlorhydrique ; il se distingue des minéraux précédents par la richesse en urane.

*Groupe de l'*Aeschynite

Aeschynite

C'est un niobotitanate de terres rares (cérium, lanthane, didymium, thorium) contenant aussi Y^2O^3, Er^2O^3, FeO, CaO (3).

Parfois en cristaux orthorhombiques, le plus souvent en grains ou masses noires à éclat submétallique, brun jaunâtre et transparents en lames minces.

Dureté : 5 à 6. Densité : 4,93 à 5,12. $n = 2{,}205$.

Au chalumeau, devient brune et décrépite violemment. Inattaquable par les acides.

Un minéral de composition analogue, mais plus riche en Y^2O^3, est l'**euxénite** (4) de couleur noir de velours dans la cassure. Un autre minéral également riche en Y^2O^3 est le **polycrase** (5), en cristaux orthorhombiques tabulaires à éclat résineux très vif. Ces deux dernières espèces sont uranifères. La présence du thorium est caractéristique de l'aeschynite.

---

(1) Le mot microlite (petite pierre) est dû à la petitesse des premiers échantillons trouvés.

(2) Trouvée à Betafo (Madagascar).

(3) Le nom vient de *aischunè* « déshonneur », donné par Berzélius qui n'avait pu reconnaître ses constituants.

(4) De *euxenos* « hospitalier », à cause des nombreux métaux rares qu'il contient.

(5) De *polus* « nombreux » et *crasis* « mélange ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Fergusonite

C'est un niobate d'yttrium et de terres rares (erbium, cérium, etc.), uranifère.

Cristaux tétragonaux ressemblant à ceux de la schéélite et parfois volumineux, avec traces de clivages parallèles aux faces d'un quadroctaèdre ; en grains ou masses assez volumineuses.

Brune ou noire à éclat vitreux extrêmement brillant dans la cassure.

Dureté : 5,5 à 6. Densité : 5,5 à 5,8. $n = 2{,}115$.

Infusible. Inattaquable par les acides.

La fergusonite (1) se distingue des précédents par l'absence de TiO^2, la pauvreté en chaux, la haute teneur en yttrium.

Groupe de la Columbite

Columbite, Tantalite

Ce groupe comprend la columbite (ou *niobite*) (2), de formule $FeNb^2O^6$, et la tantalite, de formule $FeTa^2O^6$; mais il existe de nombreux passages entre les deux minéraux, d'après les proportions de Nb^2O^5 et Ta^2O^5 ; il y a également FeO et parfois SnO^2.

Orthorhombique : $mm = 79°17'$ $pe^{\frac{1}{2}} = 60°40''$.

Une forme assez fréquente des cristaux est représentée sur la figure 545 ; mais les cristaux ne sont pas toujours aplatis suivant h^1 : parfois ils ont (fig. 546) un aspect pseudoquadratique par suite

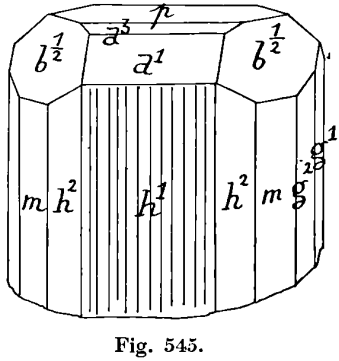


Fig. 545.

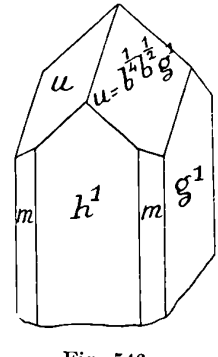


Fig. 546.

(1) Dédiée à Ferguson.

(2) Le niobium avait d'abord été nommé columbium.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de l'égal développement de h^1 et g^1. Macles parallèles à $e^{\frac{1}{2}}$ analogues à celles de la chalcosine.

Clivage h^1 difficile.

Dureté : 6. Densité : 5,3 (columbite) à 7,4 (tantalite).

Biréfringents, mais la coloration persistante en lame mince ne permet pas l'étude des propriétés optiques.

L'indice de réfraction, qui est 2,45 pour la columbite, descend à 2,25 pour la tantalite.

Noirs, avec parfois des irisations superficielles. Opaques. Bruns ou rougeâtres en lame mince. Eclat métallique un peu résineux dans la cassure.

Infusibles. Inattaquables par les acides. Après fusion avec la potasse (dans un creuset en argent), la masse, reprise par l'eau et acidulée par HCl, donne un précipité qui, soumis à l'ébullition avec l'acide sulfurique dilué, devient blanc ; par addition de zinc, il devient bleu à chaud mais se décolore par addition d'eau.

Car. dist. — La densité sert à distinguer les deux minéraux. Le clivage permet la distinction avec le wolfram qui est, de plus, attaquable par l'eau régale. Ces deux minéraux n'ont pas l'éclat vif des autres niobotantalates, mais leurs irisations sont caractéristiques.

Tapiolite (*Struvérite*)

C'est le tantalate de fer $FeTa^2O^6$; la présence du niobium y est constante et, lorsque Nb^2O^5 est abondant, le minéral passe à la **mossite** ; la présence de TiO^2 lui fait donner le nom d'**ilménorutile.**

Quadratiques, isomorphes du rutile et de la cassitérite. Souvent en cristaux allongés (fig. 405), avec plan de macle b^1 parallèle à l'allongement.

Cassure conchoïdale.

Noirs ; éclat adamantin.

Positive. $\varepsilon = 2{,}42 \qquad \omega = 2{,}27$

Dureté : 6. La densité qui est 5 pour l'ilménorutile, s'élève fortement dans les autres variétés et atteint 7,9 dans la tapiolite [1].

Mêmes caractères chimiques que la columbite.

Ces minéraux se trouvent dans les pegmatites.

---

[1] Le nom vient d'une divinité scandinave.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Thoreaulite

C'est le tantalate d'étain $SnO^2.Ta^2O^5$.

Clinorhombique. En cristaux grossiers, assez volumineux, bruns, avec un clivage très facile h^1 à éclat résineux et présentant par places des reflets jaune d'or.

Les lamelles de clivage, jaunes, non dichroïques, paraissent obliques à l'axe optique d'un uniaxe positif, mais, avec un objectif à immersion, on constate qu'elles sont obliques à une bissectrice d'axes très rapprochés. Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 ; la bissectrice aiguë, *positive*, fait avec la normale au clivage un angle d'environ 63° ; $\beta = 2{,}38$; $2\,V = 25°$.

Dureté : 6. Densité : 7,6 à 7,9.

La thoreaulite (1) a été trouvée dans des pegmatites de Manono (Katanga).

(1) Dédiée au professeur Thoreau de Louvain.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

VI. — PHOSPHATES, ARSÉNIATES, VANADATES

Quelques-uns de ces minéraux sont d'origine pneumatolytique, (**446**), mais la plupart constituent des produits d'altération. Ils sont en général bien cristallisés. Leur dureté oscille entre 2 et 5 ; leur densité varie de 2,5 à 4,5 et s'élève rarement à 6 et 7.

Ces minéraux sont presque tous solubles dans les acides. Les solutions nitriques de *phosphates*, traitées par un excès de liqueur molybdique (nitromolybdate d'ammonium), donnent rapidement à chaud un précipité jaune, cristallin, soluble dans l'ammoniaque. Les solutions ammoniacales de phosphates, traitées par un mélange de chlorure de magnésium, chlorure ammonique et ammoniaque (liqueur magnésienne) donnent à froid un précipité blanc, cristallin ; ce précipité, lavé à l'eau froide, se colore en jaune par addition d'une goutte de solution de nitrate d'argent.

Les *arséniates* donnent les mêmes précipités, mais le précipité par la liqueur molybdique est lent à produire même à chaud, si ce n'est après addition de nitrate ammonique, et le précipité obtenu par la liqueur magnésienne se colore en brun chocolat par addition d'une goutte de nitrate d'argent. On peut aussi rechercher préalablement l'arsenic, ce qui se fait dans une solution fortement chlorhydrique et chaude par l'hydrogène sulfuré qui donne un précipité jaune de sulfure d'arsenic soluble dans les sulfures alcalins et reprécipité de ces solutions par les acides chlorhydrique ou sulfurique dilués. La solution nitrique, ainsi débarrassée de l'arsenic, peut alors être traitée par la liqueur molybdique pour la recherche des phosphates. D'ailleurs, tous les composés d'arsenic, calcinés en tube fermé avec du cyanure de potassium, donnent un anneau noir d'arsenic métallique et, chauffés sur le charbon, dégagent des vapeurs blanches à odeur d'ail.

Les *vanadates* finement pulvérisés et désagrégés par le carbonate de sodium donnent des vanadates alcalins solubles dans l'eau ; ces solutions, acidulées par l'acide sulfurique et traitées par l'eau oxygénée, donnent une coloration rouge foncé disparaissant avec un excès du réactif. On peut aussi fondre le minéral avec du carbonate de sodium et du soufre : on obtient un sulfovanadate de sodium, rouge, soluble dans l'eau.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

A. — ANHYDRES

Xénotime

C'est le phosphate d'yttrium YPO^4 ; il contient fréquemment du cérium et des terres rares, ainsi que de l'oxyde ferrique (1).

Quadratique avec $h^1a^1 = 48°49'$; le xénotime est isomorphe du zircon et ses cristaux ressemblent beaucoup à ceux de ce minéral. Ils ont souvent la forme h^1a^1 allongée verticalement (fig. 547) ou la forme ma^1 subaissée (fig. 548). On l'a trouvé associé à des cristaux de zircon (fig. 125).

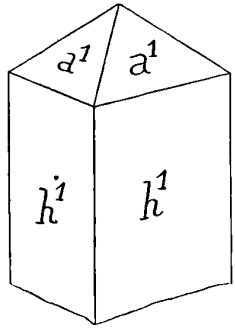


Fig. 547.

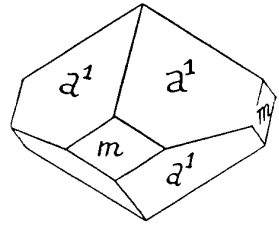


Fig. 548.

Le clivage h^1 est parfait ; la cassure est inégale.

Dureté : 4 à 5. Densité : 4,45 à 4,57.

Uniaxe et *positif* : $\varepsilon = 1{,}8155$ $\omega = 1{,}7207$ $B = 95$.

Jaune ou brun ; rarement incolore. Transparent ou translucide ; opaque en grands cristaux. Eclat résineux ou vitreux.

Infusible et insoluble dans les acides.

Se trouve dans les roches acides, granulites et pegmatites ; se retrouve dans les sables de rivières, mais moins fréquemment que le zircon. A été rencontré en Belgique dans les filons quartzeux de Nil-St-Vincent, avec anatase et monazite, en petits cristaux ayant la forme de la figure 548.

Car. dist. — Se distingue du zircon par sa dureté moins forte, sa réfringence plus faible et sa biréfringence plus élevée.

---

(1) Le nom vient de *xenos* « étranger » et *timè* « honneur », parce que l'on espérait d'abord y trouver un nouvel élément.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Monazite

On attribue à la monazite la formule : (Ce, La, Di) PO^4 ; la proportion des trois métaux varie d'ailleurs considérablement ; de plus, on y trouve souvent Y^2O^3, Al^2O^3, Fe^2O^3, CaO et aussi de la thorine ThO^2 en proportion pouvant atteindre 15% et qui fait rechercher le minéral pour la fabrication des manchons incandescents (1).

Clinorhombique : $h^1m = 43°17'$ $h^1o^1 = 39°12'\frac{1}{2}$ $h^1p = 76°20$ $h^1e^1 = 79°53'$. Les cristaux ont des facies très variés. Ils peuvent être allongés verticalement (fig. 549) et sont souvent alors terminés à une extrémité par une face o^1. Parfois, comme dans les cristaux de Nil-St-Vincent, ils sont aplatis suivant une face h^1 (fig. 550) qui prend une forme rhombique. Ils peuvent être allongés suivant

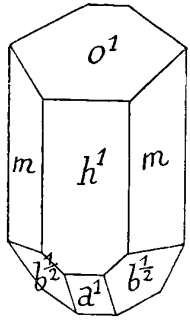


Fig. 549.

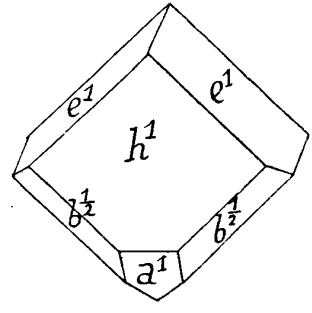


Fig. 550.

l'axe binaire ou également développés dans tous les sens comme dans la figure 551 ; enfin, un allongement fréquent est celui de l'arête $b^{\frac{1}{2}}$ $b^{\frac{1}{2}}$, comme dans la figure 552 qui représente une forme du Katanga. Le développement des faces est souvent variable et ces faces sont parfois ondulées. Il existe une macle par rapport à h^1 qui se fait, soit par accolement, soit par pénétration. Les clivages p, h^1, g^1 se font avec une inégale facilité suivant les provenances. La cassure est inégale.

Dureté : 5 à 5,5. Densité : 4,9 à 5,3.

---

(1) Dans l'application des manchons incandescents pour l'éclairage au gaz(dont le pouvoir éclairant peut passer alors de 133 à 1000 bougies par m^3), la thorine doit être mélangée de cérine : le meilleur mélange reconnu comprend 99,22 de ThO^2 et 0,78 de CeO.

Le cérium, allié au fer, donne un alliage pyrophorique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1 (fig. 553) ; la bissectrice aiguë, *positive*, fait, dans g^1, un angle $\alpha = 2^o$ à 5° avec la verticale ; elle est donc peu inclinée sur p. L'angle des axes est très petit :

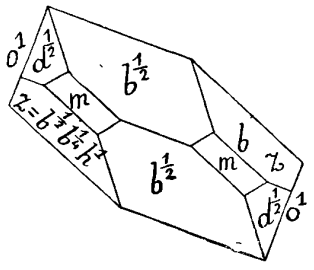


Fig. 551.

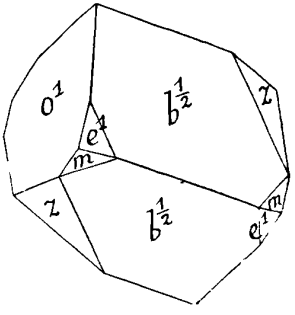


Fig. 552.

$\gamma = 1{,}8411$ $\beta = 1{,}7965$ $\alpha = 1{,}7957$

$2V = 15^o32'$ $2E = 28^o7'$

$B = 45$ $B(h^1) = 45$ $B(o^1) = 24{,}5$ env, $B(p^1) = 2$

Les lames de clivages p permettent de voir la bissectrice aiguë.

Les cristaux examinés au travers de faces o^1 ou $b^{\frac{1}{2}}$ montrent des branches noires traversant le champ, comme s'il s'agissait d'un uniaxe (**217**).

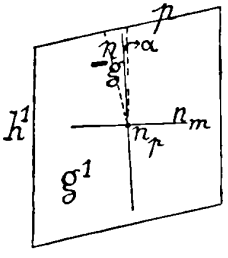


Fig. 533.

La monazite est rouge, brune, jaune ambré, verdâtre et transparente ; parfois brune et opaque ; en lame mince, elle est transparente et incolore ou jaunâtre et montre un dichroïsme faible. Eclat vitreux ou résineux.

Infusible, mais se décolore au chalumeau en devenant grise ou violacée et opaque. A peine soluble dans les acides. Après fusion avec de la soude caustique, et la masse étant reprise par l'eau, on peut caractériser le phosphate dans la solution par le réactif molybdique ; le résidu se dissout dans HCl dilué : la solution donne un précipité avec l'acide oxalique ; ce précipité, calciné sur une lame de platine, prend une coloration rouge-orangé (cérium).

Examinée avec un spectroscope de poche, la monazite présente nettement les raies d'absorption du didymium : on peut placer un

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

petit fragment sur la platine du microscope, y amener au foyer les rayons du soleil à l'aide du condenseur et examiner les raies au spectroscope.

La monazite se trouve en petits cristaux dans les roches granitiques et gneissiques, en grands cristaux dans les pegmatites (1). Elle se concentre dans les sables alluvionnaires et c'est ce genre de dépôt que l'on exploite au Brésil, dans les Carolines (Etats Unis) et au Travancore. Elle est accompagnée de zircon, grenats, tourmalines, topaze, spinelles, or, etc. Elle a été trouvée en quelques cristaux dans les sables de rivières du Congo.

Car. dist. — La forme, l'action du chalumeau, la radioactivité. En cristaux, la monazite peut être confondue avec le sphène, dont elle se rapproche par la couleur, la transparence, la dureté, la grande réfringence et aussi par les angles de ses faces; elle s'en distingue par la densité, la biréfringence et par l'angle 2E. On peut aussi, lorsqu'elle est en grains roulés, la confondre avec le zircon, dont les cristaux sont ordinairement moins arrondis; elle s'en distingue par la dureté, les clivages et les propriétés optiques.

Puchérite

Formule : $BiVO^4$.

Système orthorhombique : $mm = 56°5'$.

En très petits cristaux prismatiques portant de nombreuses facettes.

Clivage p très net.

Dureté : 4. Densité : 6,249.

Brun rougeâtre. Poussière jaune. Eclat vitreux ou adamantin.

Négative. Plan des axes parallèle à h^1. Bissectrice aiguë perpendiculaire au clivage p; $n = 2,5$. $B(p) = 41$.

Décrépite dans le tube. Soluble dans l'acide chlorhydrique concentré en liqueur rouge foncé, qui, additionnée d'eau, devient verte avec dépôt de chlorure basique jaune.

Se trouve dans les filons bismuthifères (2).

Car. dist. — La forme, le clivage et son apparence optique, l'action de l'acide chlorhydrique.

---

(1) Le nom vient de *monadzô* « être seul », parce qu'on considérait le minéral comme très rare.

(2) Trouvée d'abord dans la mine de Pucher (Saxe).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Apatite

L'apatite normale a pour formule : $3Ca^3(PO^4)^2 + CaFl^2$ ou $Ca^4(PO^4)^3Ca(Cl,Fl)$; une partie du fluor est souvent remplacée par du chlore et il existe des apatites exclusivement chlorées, et même des apatites dans lesquelles $CaFl^2$ est remplacée par $Ca(OH)^2$; coexistent également Al^2O^3, Fe^2O^3, MgO, MnO.

L'apatite est hexagonale parahémiédrique : $pb^1 = 40°18'$. La forme habituelle est celle du prisme hexagonal portant les faces b^1 (fig. 554) souvent très allongé verticalement ; la face p peut manquer. Les cristaux peuvent aussi être très aplatis parallèlement à p (fig. 555). L'hémiédrie se manifeste comme il a été

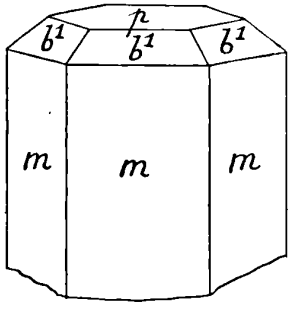


Fig. 554.

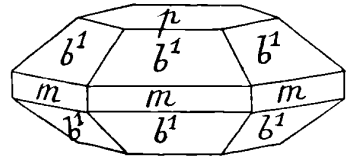


Fig. 555.

indiqué précédemment (fig. 84). Constitue aussi des masses laminaires ou grenues.

Clivage p et m imparfaits. Cassure inégale.

Dureté : 5. Densité : 3,17 à 3,23.

Uniaxe et *négative*.

$$\omega = 1{,}649 \qquad \varepsilon = 1{,}644 \qquad B = 5$$

Incolore et transparente ; blanche, rose, verte (*pierre d'asperge*), violette, jaune, brune ; translucide ou opaque. Poussière blanche. Eclat vitreux (1). Chauffée, devient parfois phosphorescente.

Fond difficilement sur les bords. Humectée avec l'acide sulfurique, colore la flamme en vert bleuâtre. Les types chlorés fondus avec du sel de phosphore préalablement saturé d'oxyde de cuivre colorent la flamme en bleu. Les types fluorés fondus avec du sel de phosphore dans le tube ouvert dégagent du fluor. Soluble dans

(1) L'apatite colorée et transparente a souvent été confondue avec le béryl, la tourmaline, etc. D'où le nom de *apatein* « décevoir ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

l'acide nitrique ; la solution précipite en jaune avec le réactif molybdique et en blanc avec l'acide sulfurique.

L'apatite renferme souvent des inclusions d'épidote.

L'apatite se trouve en inclusions microscopiques, généralement allongées verticalement, dans de nombreux minéraux de roches éruptives et métamorphiques (1) ; elle s'isole en cristaux dans les fentes des mêmes roches, dans celles des schistes cristallins et dans les filons métallifères, spécialement stannifères ; elle constitue aussi des masses importantes en lentilles dans les pyroxénites et des cipolins.

L'apatite est exploitée pour les besoins de l'agriculture, mais l'industrie emploie surtout à cet effet les phosphates en nodules et les craies phosphatées que nous rassemblerons sous le nom de *phosphorites* (p. 654).

Car. dist. — La forme, la dureté, les propriétés optiques et l'éclat, ainsi que les réactions chimiques. En *lame mince*, la forme, la faible biréfringence, l'uniaxie ; se distingue du quartz et de la néphéline par sa réfringence et du quartz, en plus, par sa faible biréfringence et son signe ; en inclusions dans la magnétite, le mica noir, les pyroxènes, amphiboles, feldspaths, quartz.

Groupe de la **Pyromorphite**

Ce groupe comprend trois minéraux isomorphes entre eux :

la **pyromorphite**	$3Pb^3(PO^4)^2 + PbCl^2$
la **mimétite**	$3Pb^3(AsO^4)^2 + PbCl^2$
la **vanadinite**	$3Pb^3(VaO^4)^2 + PbCl^2$

Les acides phosphorique, arsénique et vanadinique peuvent se remplacer l'un et l'autre ; le PbO est parfois remplacé en partie par CaO et FeO.

Les cristaux ont une forme hexagonale parahémiédrique semblable à celle de l'apatite ; l'angle pb^1 est de 40°22′ pour la pyromorphite, de 39°50′ pour la mimétite, de 39°26′ pour la vanadinite ; la parahémiédrie se manifeste surtout dans ce dernier minéral. Les cristaux sont presque toujours allongés verticalement et ont la forme mp ou mpb^1 (fig. 554). Ils peuvent former des assemblages à axes imparfaitement parallèles. La **campylite** est une

(1) Spécialement à micas noirs et amphiboles.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

	Pyromorphite	*Mimétite*	*Vanadinite*	*Cérusite*	*Anglésite*
Dans le tube fermé	donne un sublimé de $PbCl^2$	donne un sublimé de $PbCl^2$	décrépite et donne un faible sublimé.	décrépite, jaunit puis devient rouge, redevient jaune à froid.	décrépite ; fond à la flamme d'une bougie.
Au chalumeau, sur le charbon	fusible sans réduction et cristallise par refroidissement. Enduits blanc et jaune. Colore la flamme en vert bleuâtre	fusible avec vapeurs arsénicales. Se réduit en globules de Pb, avec enduits blancs.	fond et se réduit en donnant un enduit jaune	très fusible et se réduit.	fond en une perle blanche à chaud et opaque à froid ; donne un hépar avec la soude
Avec le sel de phosphore saturé d'oxyde de cuivre	colore la flamme en bleu d'azur	id.	id.		
Densité	7,05 à 7,12	6,98 à 7,18	6,46	6,46 à 6,54	6,35
γ α β	2,050 2,042 8	2,135 2,118 17	2,354 2,299 55 (1)	2,0780 1,8034 274,6	1,8928 1,8764 16,4
Acide nitrique	soluble	soluble	soluble ; une goutte de la solution, évaporée à sec, laisse un résidu rouge foncé	soluble avec effervescence ; la solution précipite par H^2SO^4 et par HCl	soluble dans un excès

(1) La biréfringence diminue jusqu'à 49, suivant la teneur en As^2O^3.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

mimétite phosphorée dont les faces *m* courbées donnent aux cristaux la forme de barillets.

La dureté est de 3,5 à 4.

Uniaxes et *négatifs*.

L'éclat, résineux ou vitreux, est distinctif de celui de l'apatite. La pyromorphite est incolore ou jaune, le plus souvent grise ou brune ; la vanadinite est jaune, rouge ou brune avec faces très brillantes ; la mimétite est incolore, jaune, brune ou verte [1] ; les trois espèces sont transparentes ou translucides.

Le tableau de la page 633 donne les caractères qui permettent de les distinguer entre elles ainsi qu'avec la cérusite ($PbCO^3$) et l'anglésite ($PbSO^4$).

Ce sont des minéraux secondaires des filons plombifères ; la pyromorphite est très commune ; la vanadinite est plutôt rare.

Amblygonite

Ce minéral, qui constitue la principale source du lithium, a une composition se rapportant à la formule $Li(AlFl)PO^4$. Dans la *montebrasite*, une partie du fluor est remplacée par le groupe OH.

Clinoédrique : $ph^1 = 75°30'$, $pe^{\frac{1}{2}} = 74°40'$, $mt = 74°5'$.

Clivages : *p* parfait, h^1 facile, $e^{\frac{1}{2}}$ net, *m* difficile.

Dureté : 6. Fragile. Densité : 3,1.

Optiquement *négative*. La bissectrice n_p est perpendiculaire à *p* dans l'amblygonite, et fait un angle de 12° avec la normale à la base dans la montebrasite. $n = 1{,}6$. — $(\gamma - \beta) = 4$ à 9. — $2V = 54°36'$ à 84°. — $2E = 86°26'$ (ambl.).

Blanche, grise, jaunâtre ou rosée. Translucide.

Eclat nacré sur *p*, vitreux sur h^1, gris dans la cassure.

Donne plus ou moins d'eau acide dans le tube fermé. Facilement fusible en gonflant et donne à la flamme une couleur rouge jaune, avec trace de vert ou une couleur rouge vif ; l'essai devient blanc et opaque en refroidissant. Attaquable par l'acide sulfurique.

Se trouve dans les pegmatites et dans certains gisements d'étain.

Diagnostic. — La fusibilité et la densité permettent aisément de la distinguer des feldspaths.

---

[1] Le mot pyromorphite vient de *pur* « feu » et de *morphè* « forme », à cause de l'action du chalumeau ; le mot mimétèse vient de *mimètis* « ressemblance » ; le mot campylite vient de *campulos* « courbe ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

B. — BASIQUES

Olivénite

La formule est :

$$Cu^3(AsO^4)^2 + Cu(OH)^2 \quad \text{ou} \quad Cu(AsO^4)(CuOH).$$

Orthorhombique : $mm = 87°28'$ $pe^1 = 35°29'$.

En petits cristaux ayant la forme de la figure 556 ; parfois, ils se raccourcissent verticalement et prennent l'aspect d'un octaèdre régulier analogue aux cristaux de libéthénite de la figure 557. Forme aussi des concrétions diverses.

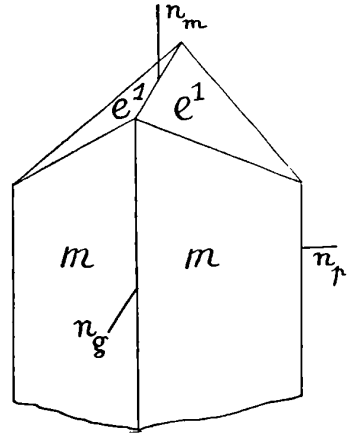


Fig. 556.

Dureté : 3. Densité : 4,3.

La bissectrice aiguë, *positive* (fig. 556), est perpendiculaire à h^1 ; le plan des axes est parallèle à p ; l'angle des axes est très grand : $2H_r = 105°$.

$\gamma = 1{,}829$ $\beta = 1{,}788$

$\alpha = 1{,}747$

Vert olive, noirâtre à la surface. Eclat vitreux ou soyeux.

Donne de l'eau dans le tube ; au chalumeau, fond en colorant la flamme en vert bleuâtre puis cristallise en refroidissant ; sur le charbon, donne des vapeurs arsénicales. Soluble dans les acides et dans l'ammoniaque.

Se trouve dans les filons métallifères.

Car. dist. — La forme, la couleur, l'action du chalumeau et des acides. Voir libéthénite et clinoclase.

Libéthénite

Formule : $Cu^3(PO^4)^2 + Cu(OH)^2$ ou $Cu(PO^4)(CuOH)$.

Orthorhombique : $mm = 87°40'$ $e^1e^1_{sup.} = 70°8'$.

La figure 557 représente une forme fréquente ; les cristaux sont parfois allongés verticalement.

Dureté : 4. Densité : 3,7.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le plan des axes optiques est parallèle à p (fig. 558) ; la bissectrice, *négative*, est normale à g^1,

$$\gamma = 1{,}789 \qquad \beta = 1{,}745 \qquad \alpha = 1{,}702$$

$$2V = 85^o \qquad B = 87$$

un axe optique est visible au travers des faces m.

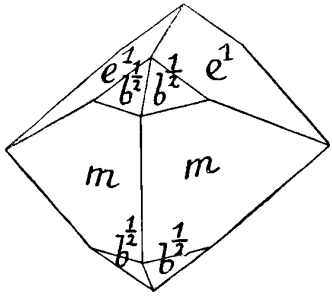


Fig. 557.

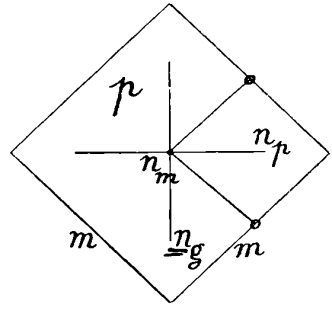


Fig. 558.

Verte. Eclat vitreux ou résineux.

Dans le tube, donne de l'eau et noircit. Fusible en scorie noire cristalline. Colore la flamme en vert. Soluble dans les acides et l'ammoniaque.

Se trouve dans les gîtes métallifères (1).

Car. dist. — La forme, la couleur, l'action du chalumeau et des acides. Ne peut souvent se distinguer de l'olivénite que par la présence de l'acide phosphorique.

Adamine

Formule : $Zn^3(AsO^4)^2 + Zn(OH)^2$ ou $Zn(AsO^4)(ZnOH)$. Contient souvent du cuivre et du cobalt.

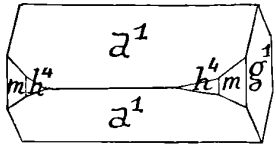


Fig. 559.

Orthorhombique :

$$mm = 88^o27' \qquad a^1a^1 = 72^o40'.$$

Cristaux ordinairement allongés (fig. 559) suivant l'arête a^1a^1 ; forme aussi des croûtes cristallines.

Clivage a^1.

Dureté : 3,5. Densité : 4,345.

(1) Trouvée d'abord à Libethen (Hongrie).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La bissectrice aiguë, *positive*, est perpendiculaire à g^1 ; le plan des axes est parallèle à p.

$$\gamma = 1{,}773 \qquad \beta = 1{,}744 \qquad \alpha = 1{,}708$$
$$2V = 82°13'$$

Jaune, verte, ou rose. Eclat vitreux, adamantin sur a^1.

Pléochroïsme net, surtout dans les variétés roses : $n_p > n_g$.

L'adamine [1] dégage de l'eau dans le tube et devient opaque. Sur le charbon, donne une faible odeur d'arsenic et un enduit blanc. Soluble dans l'acide chlorhydrique étendu.

C'est un minéral secondaire des gîtes de zinc et de cuivre.

Car. dist. — L'action des acides sert à distinguer ce minéral de la calamine, lorsque les formes ne sont pas discernables.

Tarbuttite

Formule : $Zn^3(PO^4)^2 + Zn(OH)^2$ ou $Zn(PO^4)(ZnOH)$.

Système clinoédrique : $pm = 55°50'$, $mt = 84°34'$, $pt = 76°31'$.

Cristaux petits mais très nets, souvent chargés de facettes. Clivage p très net.

Dureté : 3,75. Densité : 4,135.

Incolore et transparente ; éclat vitreux, perlé sur le clivage.

Négative, très fortement biréfringente.

$$\gamma = 1{,}713 \qquad \beta = 1{,}705 \qquad \alpha = 1{,}660$$

$$2V = 50° \qquad 2E = 92° \qquad B = 53 \qquad b(p) = 14{,}5$$

Les lames de clivage montrent une bissectrice excentrique avec de nombreuses courbes d'égal retard.

Décrépite en tube fermé et donne un peu d'eau ; fusible en perle claire, jaunâtre, devenant grise en refroidissant. Soluble dans les acides.

La tarbuttite [2] a été trouvée dans la mine de Broken Hill (Rhodésie), où elle accompagnait la hopéite.

Car. dist. — La forme et la beauté des cristaux ; l'apparence optique du clivage.

---

[1] Dédiée au minéralogiste français Adam.

[2] Dédiée à M. Tarbutt, directeur de la mine de Broken-Hill.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Descloizite

La formule de ce minéral peut s'écrire : $(Pb,Zn)^3(VaO^4)^2 + (Pb,Zn)(OH)^2$; il contient aussi FeO et MnO ; certaines variétés, dites *cuprodescloizite*, tiennent jusque 11 % de CuO.

Orthorhombique : $mm = 66°37'$ $b^{\frac{1}{2}}$ $b^{\frac{1}{2}}_{ant.} = 54°30'$.

Les cristaux sont ordinairement très petits ; la figure 560 représente la forme des cristaux du Katanga ($S = b^{\frac{1}{14}} b^{\frac{1}{4}} h^{\frac{1}{5}}$) ; les faces *m* sont parfois prédominantes.

Dureté : 3,5. Densité : 5,8 à 6,2 (cuprodx).

Le plan des axes est parallèle à g^1 ; la bissectrice, *négative*, est normale à *p*.

$$\gamma = 2,35 \qquad \beta = 2,26 \qquad \alpha = 2,18$$

$$2v = \pm 90° \qquad B = 170$$

Les lames g^1 sont dichroïques dans les teintes jaunes ou brunes.

Jaune, rouge, brune. Eclat résineux. Poussière orangée ou verdâtre. Transparente ou opaque.

Dans le tube, donne de l'eau. Sur le charbon, donne un globule de plomb dans une scorie noire. Soluble dans l'acide nitrique ; la solution, évaporée à siccité, laisse un résidu rouge foncé ; ce résidu, repris par l'acide sulfurique, précipite du sulfate de plomb ; la liqueur décantée additionnée de bicarbonate de soude, donne des tétraèdres réguliers de bicarbonate double de zinc et de soude.

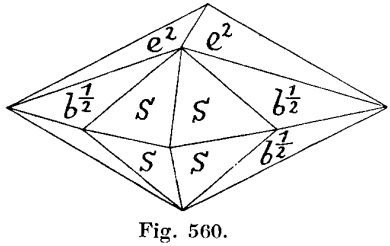


Fig. 560.

Minéral rare des filons métallifères, la descloizite (1) a été trouvée en beaux cristaux isolés à Ruwe (Katanga).

Car. dist. — Les réactions indiquées sont caractéristiques.

(1) Dédiée à l'illustre minéralogiste français Des Cloizeaux.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Pseudomalachite (*Lunnite*)

Formule : $Cu^3(PO^4)^2 + 3Cu(OH)^2$ ou $PO^4(CuOH)^3$.

Le système cristallin est douteux, probablement clinorhombique. Masses concrétionnées, globulaires, réniformes, botryoïdes, de couleur verte ; la teinte est généralement plus foncée à la surface qu'à l'intérieur des masses.

Dureté : 4,5 à 5. Densité : 4 à 4,4.

Biaxe et *négative* ; la bissectrice est à peu près perpendiculaire à un clivage imparfait.

$$\gamma = 1{,}805 \qquad \beta = 1{,}758 \qquad \alpha = 1{,}719$$

Transparente en lame mince, la pseudomalachite présente un pléochroïsme net dans les teintes vertes et jaunes. Eclat vitreux.

Se trouve dans les gîtes métallifères.

Caractères chimiques de la libéthénite.

Car. dist. — Se distingue de la malachite par les propriétés optiques des lames de clivage et par les caractères chimiques (pas d'effervescence dans les acides). Voir cornètite.

Cornètite

Ce minéral est un phosphate de cuivre de même composition que le précédent ; il contient un peu d'arsenic et les cristaux du Katanga montrent du cobalt. Par ses propriétés cristallographiques, il se rapproche de la libéthénite.

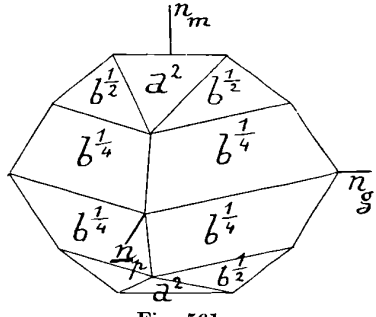


Fig. 561.

Orthorhombique :

$mm = 89°6'$ $\quad m b^{\frac{1}{4}} = 24°33'$.

Les cristaux ont la forme de la figure 561 ; parfois, les faces m existent et les cristaux s'allongent verticalement.

Dureté : 5,5.

Plan des axes optiques parallèle à p ; la bissectrice, *négative*, est normale à h^1.

$$n = 1{,}81$$

$$2E = 55° \qquad B(m) = 50{,}4 \qquad B = 55$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Couleur bleu d'azur.

Soluble dans l'acide chlorhydrique.

La cornètite [1] a été trouvée sur les grès cuprifères des gisements de cuivre du Katanga.

Car. dist. — La forme et la couleur. Se distingue de l'azurite par sa solubilité sans effervescence dans l'acide chlorhydrique et par sa dureté ; de la linarite par l'absence de plomb et la forme des cristaux ; de la pseudomalachite par sa forme orthorhombique et par l'angle 2E plus petit.

Clinoclase

Formule : $Cu^3(AsO^4)^2 + 3Cu(OH)^2$ ou $AsO^4(CuOH)^3$.

Clinorhombique : $mm = 124^o$ $pm = 85^o33'$.

Les cristaux peu distincts sont groupés en associations plus ou moins sphériques. Clivage p parfait [2].

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 4,2.

Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 ; la bissectrice, *négative*, est à peu près perpendiculaire au clivage p ;

$$n = 1{,}91 \qquad 2H = 84^o \text{ à } 87^o. \qquad B = 140$$

La dispersion des axes est très forte ; dans l'air, on a $2E = 140^o$ à 141° pour les rayons verts, tandis que les rayons bleus subissent la réflexion totale : $\rho < v$.

Vert noirâtre à vert de gris. Transparente en lame mince. Eclat vitreux, nacré sur p. Pléochroïsme intense : n_g bleu ; n_m vert bleuâtre.

Caractères chimiques de l'olivénite.

Minéral des gîtes métallifères.

Car. dist. — La couleur est distinctive de l'olivénite.

Dufrénite

Formule : $Fe^2(PO^4)^2 + Fe^2(OH)^6$ ou $PO^4Fe^2(OH)^3$; la dufrénite [3] contient également Al^2O^3, CuO, CaO, MgO.

Orthorhombique, mais très rare en cristaux ; constitue des masses fibroradiées, fibrolamellaires, mamelonnées. Les fibres se

---

(1) Dédiée au géologue belge J. Cornet.

(2) Le nom vient de *clinos* « incliné» et *cladzein* « briser ».

(3) Dédiée au minéralogiste français Dufrénoy.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

clivent facilement suivant un plan pris pour h^1 et moins facilement suivant g^1 et p.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 3,3.

Le plan des axes optiques est parallèle au clivage facile; *négative*. $n = 1{,}885$.

Vert foncé, jaune ou brune par altération. Poussière jaune serin. Transparente en lame mince. Eclat soyeux.

Facilement fusible en verre noir. Dans le tube, donne de l'eau. Soluble dans l'acide chlorhydrique.

Se trouve dans les gîtes métallifères et, accidentellement, dans les pegmatites.

Car. dist. — La fusibilité et l'apparence optique.

Lazulite

Formule : $Al^2(PO^4)^3 + (Mg,Fe)(OH)^2$ ou $(PO^4)^2(AlOH)^2(Mg,Fe)$.

Clinorhombique : $mm = 88°32'$ $ph^1 = 89°14'$.

Les cristaux, souvent assez gros, ont la forme de la figure 562; parfois ils deviennent tabulaires suivant une face $b^{\frac{1}{2}}$. Macle h^1 avec plan horizontal de contact. Masses compactes granuleuses. Clivage m imparfait.

Dureté : 5 à 6. Densité : 3.

Le plan des axes est parallèle à g^1. La bissectrice, *négative*, fait un angle $\alpha = +\ 9°45'$ avec la verticale.

$\gamma = 1{,}639$ $\beta = 1{,}632$ $\alpha = 1{,}603$

$B = 36$ $2V = 51°35'$ $2v = 69°$

$2e = 133°$ env.

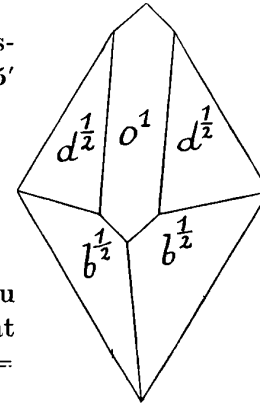


Fig. 562.

Bleue. Poussière blanche. Translucide ou opaque. Transparente en lame mince. Eclat vitreux. Pléochroïsme intense : $n_g = n_m =$ bleue; $n_p =$ incolore.

Dans le tube, donne de l'eau et blanchit. Au chalumeau, se gonfle sans fondre et colore la flamme en bleu verdâtre. Avec le nitrate de cobalt, devient bleue. Inattaquable.

La lazulite (1) se trouve dans les fentes traversant les schistes

(1) Du mot arabe *azul* « bleu ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

cristallins. Elle constitue dans l'Afrique équatoriale française, avec le disthène, une roche spéciale traversant des quartzites micacés.

Car. dist. — La forme, la dureté et le pléochroïsme.

C. — HYDRATES

Struvite

C'est le phosphate ammoniaco-magnésien : $NH^4Mg(PO^4) + 6aq$; il renferme aussi FeO et MnO.

Orthorhombique antihémiédrique ; les cristaux manifestent toujours l'hémiédrie comme le montre la figure 563 : $mm = 59°3'$, $pe^1 = 42°22'$.

Clivage p facile.

Dureté : 2. Densité : 1,65 à 1,7.

Plan des axes parallèle à p ; bissectrice *positive* perpendiculaire à g^1 ; $n = 1{,}502$.

Pyroélectrique.

La struvite est jaune ou brune et transparente. Elle s'effleurit à l'air en devenant blanche et opaque.

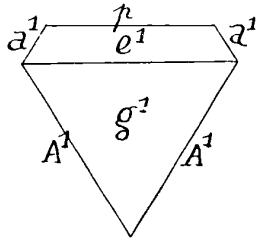


Fig. 563.

Dans le tube, donne de l'eau et de l'ammoniaque et devient opaque. Fusible en colorant la flamme en vert et en donnant un globule qui, humecté de nitrate de cobalt, devient rouge. Soluble dans les acides. Traitée par la soude caustique, dégage de l'ammoniaque.

La struvite (1) se trouve dans les gisements de guano et se forme également dans la tourbe imprégnée du lavage d'excréments et dans les fumiers.

Car. dist. — L'hémiédrie, la faible dureté, l'efflorescence à l'air et la solubilité.

Hopéite

Les analyses de ce minéral conduisent à la formule

$$Zn^3(PO^4)^2 + 4aq.$$

Orthorhombique : $mm = 59°49'$ $\quad a^1b^{\frac{1}{2}} = 20°6'$.

(1) Dédié au ministre russe Struve.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La figure 564 représente la forme ordinaire ; les cristaux sont plus ou moins aplatis suivant h^1. Clivage h^1 très net, g^1 net mais irrégulier, p difficile.

Dureté : 2,5. Densité : 3,03.

Le plan des axes est parallèle à p ; la bissectrice aiguë, *négative*, est normale à g^1.

$\gamma = 1{,}5927 \quad \beta = 1{,}5919 \quad \alpha = 1{,}5822$

L'angle $2e$ des axes varie dans une même plage de 0° à 51°47′ dans les cristaux de Rhodésie et à 89°7′ dans ceux de Moresnet.

De même pour les biréfringences, on a :

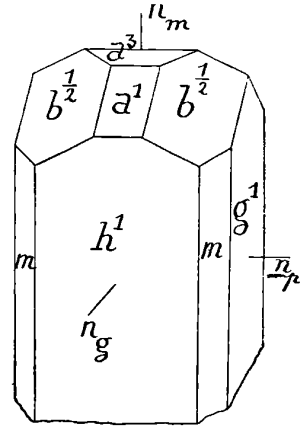


Fig. 564.

	b	$b(g^1)$	$b(h^1)$
Moresnet	11,5	2,2	9,3
Rhodésie	10,5	0,8	9,7

Incolore et transparente ; brunâtre et translucide. Eclat nacré sur h^1.

Donne de l'eau dans le tube. Difficilement fusible en un verre incolore. Soluble dans les acides.

D'abord signalée en quelques cristaux dans des cavités de calamine de Moresnet, la hopéite [1] a été trouvée à Broken-Hill (Rhodésie) avec des ossements fossiles dans des cavernes d'un gîte zincifère.

Car. dist. — La forme, les clivages, les propriétés optiques. L'éclat des faces h^1 est distinctif de celui de la calamine.

Vivianite

La formule de ce minéral est $Fe^3(PO^4)^2 + 8aq$, mais il contient aussi Fe^2O^3 ainsi que CaO et MgO.

Clinorhombique : $mm = 71°50'$ $ph^1 = 75°42'$ $h^1o^1 = 39°20'$

La figure 565 représente une forme fréquente.

Le clivage g^1 est très facile, donnant des lames flexibles par suite d'un clivage presque horizontal que l'on obtient aisément en

[1] Dédiée au chimiste anglais Hope.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

rayant une lame à peu près verticalement (**290**). Traces de clivage suivant g^1.

Dureté : 1,5 à 2. Sectile. Densité : 2,58 à 2,69.

Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1 (fig. 566) ; la bissectrice aiguë, *positive*, fait, dans g^1, un angle $\alpha = + 28°30'$ avec la verticale.

$\gamma = 1,6267$ $\beta = 1,5930$ $\alpha = 1,5768$

$2V = 70°44'$ $B = 49,9$ $B(g^1) = 34$ $2v = 73°10'$.

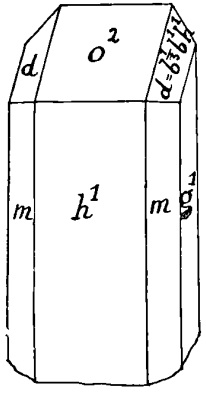


Fig. 565.

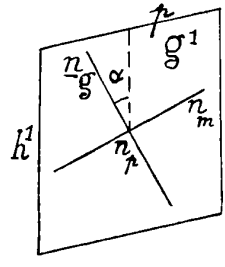


Fig. 566.

Incolore, mais le plus souvent bleue ou verte. Transparente ou translucide. Pléochroïsme intense visible au travers des cristaux n_g et n_m = jaune verdâtre ; n_p = bleu. Eclat vitreux, nacré sur g^1. Aspect parfois terreux.

Dans le tube, donne de l'eau, s'exfolie et blanchit. Colore la flamme en bleu et fond en un globule noir magnétique. Soluble dans l'acide chlorhydrique.

De beaux cristaux de vivianite (1) se trouvent sur la pyrrhotine ou la pyrite dans les gîtes de cuivre et d'étain ; ce minéral se trouve aussi dans les fentes de roches diverses, spécialement des roches sédimentaires où elle épigénise fréquemment des ossements, des graines et des tiges fossiles. Elle constitue également des masses pulvérulentes et des rognons sphériques cristallins.

Car. dist. — La forme, le clivage, la flexibilité des lames et les propriétés optiques. Voir turquoise.

(1) Dédiée au minéralogiste anglais Vivian.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Erythrite

La formule est $Co^3(AsO^4)^2 + 9aq$; le minéral contient aussi FeO, CaO, NiO.

L'érythrite est isomorphe de la vivianite, mais ses cristaux terminés sont très rares ; ordinairement, elle se trouve en lamelles g^1 de clivage allongées et flexibles, ou en globules fibroradiés.

Dureté : 1,5 atteignant 2,5 sur g^1. Densité : 2,948.

Le plan des axes optiques et la bissectrice aiguë, *négative*, sont perpendiculaires à g^1.

$\gamma = 1{,}669$ $\beta = 1{,}662$ $\alpha = 1{,}626$

$B = 73$ $B(g^1) = 37$ $2V = 89^o$ $2h = 103^o$ env.

Rose fleur de pêcher (1). Eclat vitreux, nacré sur g^1. Pléochroïsme intense dans les teintes roses.

Donne de l'eau dans le tube et devient bleue ; à haute température, devient noire en dégageant un sublimé de As^2O^3. Facilement fusible en une masse grise. Sur le charbon, donne des vapeurs arsénicales. La perle de borax est bleue. Soluble dans l'acide chlorhydrique en donnant une liqueur rose.

L'érythrite est un produit d'altération des sulfures de cobalt.

Car. dist. — Le clivage et ses propriétés optiques, la couleur et le pléochroïsme (voir annabergite).

Annabergite

La formule est $Ni^3(AsO^4)^2 + 8aq$, avec CoO, CaO, FeO.

Masses capillaires et terreuses. Isomorphe de l'érythrite.

Dureté : 2. Densité : 3,1.

La bissectrice aiguë, *négative*, est perpendiculaire à des lamelles d'un clivage facile. $n = 1{,}687$. — $(\gamma - \beta) = 29$.

Verte. Pléochroïsme net dans les teintes vertes.

Donne de l'eau dans le tube et noircit. Au chalumeau, donne des vapeurs arsénicales et un bouton métallique. Soluble dans les acides et dans l'ammoniaque. La solution, neutre ou très légèrement ammoniacale, précipite en rouge cramoisi par le diméthylglyoxyme.

L'annabergite (2) est un produit d'altération des sulfures de nickel.

Car. dist. — La couleur et l'action de la chaleur en tube fermé sont distinctives de l'érythrine.

(1) Le mot vient du grec *eruthron* « rouge ».
(2) Trouvée d'abord à Annaberg (Suède).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Scorodite

Formule : $Fe^2(AsO^4)^2 + 4aq$.

Orthorhombique : $mm = 81°47'$ $\quad mb^{\frac{1}{2}} = 34°27'$.

Les cristaux, rares, sont allongés verticalement et terminés ordinairement par $b^{\frac{1}{2}}$ (fig. 567). Forme aussi des croûtes cristallines.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 2,87.

Le plan des axes optiques est parallèle à h^1 (fig. 568) ; la bissectrice, *positive*, est verticale.

$$\alpha = 1{,}765 \qquad \beta = 1{,}742 \qquad \gamma = 1{,}738$$
$$B = 27 \qquad 2E = 130° \text{ env.}$$

Dispersion très forte avec $\rho > v$.

Verte ou bleue et transparente. Poussière blanche. Eclat vitreux.

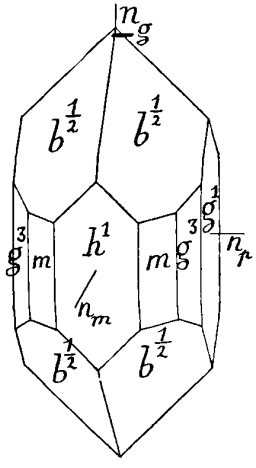


Fig. 567.

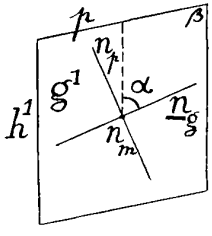


Fig. 568.

Dans le tube, donne de l'eau. Sur le charbon, donne une odeur aliacée (1) et une masse noire. Soluble dans l'acide chlorhydrique. Insoluble dans l'acide nitrique.

Ce minéral est un produit d'altération du mispickel.

Car. dist. — La couleur, la forte dispersion et la forme.

(1) D'où le nom de *scorodon* « ail ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Koninckite

Formule : $Fe^2(PO^4)^2 + 6aq$.

La koninckite (1) ne s'est trouvée qu'en petites fibres formant des globules recouverts d'un enduit jaunâtre sur la richellite de Visé ; les aiguilles constitutives sont transparentes et s'éteignent parallèlement à l'allongement qui est *négatif*. Elles se clivent perpendiculairement à leur longueur. Le plan des axes et la bissectrice sont parallèles à l'allongement. $B = 12$.

Dureté : 3,5. Densité : 2,3. $n = 1,58$.

Fusible en globule noir. Soluble dans les acides concentrés.

Car. dist. — Voir wavellite.

Chalcolite (2)

La formule admise est $Cu(UO^2)^2(PO^4)^2 + 8aq$ (3) ; une partie du phosphore est remplacée par l'arsenic.

Quadratique : $pb^1 = 71°11'30''$. Les cristaux sont petits et aplatis ; le plus souvent l'uranite forme des agrégats lamellaires à cause du clivage basique p qui est micacé. Le clivage h^1 existe également ; il est visible au microscope.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 3,5.

Uniaxe et *négative*. $\omega = 1,592$, $\varepsilon = 1,582$.

Vert émeraude, vert d'herbe avec reflets jaunâtres. Eclat nacré sur p. Transparente en lame mince. Dichroïsme net avec $n_g > n_p$.

Dans le tube, donne de l'eau. Fusible en globule noir. Soluble dans l'acide nitrique ; la solution précipite en jaune et se colore en bleu par l'ammoniaque. Très radioactive.

L'uranite, exploitée comme minerai d'urane et de radium, est un minéral des granites et des granulites où il se trouve concentré dans des fentes argileuses. Se rencontre également dans les gisements stannifères. En beaux cristaux, dans les gîtes de pechblende du Katanga.

Car. dist. — La couleur, le clivage, l'uniaxie, la radioactivité, la présence du cuivre (voir autunite et chalcophyllite.)

---

(1) Dédiée au paléontologue belge De Koninck.

(2) Appelée aussi *uranite* et *torbernite*.

(3) Certaines analyses décèlent douze molécules d'eau dont quatre sont éliminées dans un dessiccateur et huit à 100° : le minéral deviendrait alors orthorhombique (*métatorbernite*).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Autunite

La formule admise est : $Ca(UO^2)^2(PO^4)^2 + 8aq$; une partie du phosphore étant remplacée par l'arsenic, le minéral passe alors à l'*uranospinite* ; l'*uranocircite* est une autunite dans laquelle BaO remplace CaO. Radioactive (1).

Orthorhombique : $mm = 89°17'$ $pb^1 = 70°54'$.

Lames et masses écailleuses parallèles à un clivage basique p micacé. Les lamelles sont parfois maclées par deux individus parallèlement à m.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 3,05 à 3,19.

Biaxe. La bissectrice, *négative*, est normale au clivage.

$\gamma = 1{,}577$ $\beta = 1{,}575$ $\alpha = 1{,}553$

$B = 24$ $B(p) = 2$ $2V = 33°12'$ $2e = 50°$ à $60°$

Dispersion forte avec $\rho > v$.

Jaune avec reflets verdâtres. Transparente en lame mince.

Pléochroïsme net : incolore suivant n_p, jaune d'or suivant n_g et n_m. Eclat nacré sur g^1 ; les cristaux se ternissent par exposition à l'air.

Dans le tube, donne de l'eau. Fusible en globule noir. Soluble dans l'acide nitrique. La solution nitrique précipite en jaune par l'ammoniaque, puis en blanc par addition d'oxalate ammonique.

L'autunite, recherchée comme minerai d'urane et de radium, se trouve disséminée dans les pegmatites et les aplites et concentrée dans les fentes de ces roches.

Car. dist. — La couleur, le clivage, la radioactivité, la biaxie et l'absence de cuivre la distinguent de l'uranite.

Saléite

La composition de ce minéral correspond à la formule :

$$Mg(UO^2)^2\ (PO^4)^2 + 8\ aq.$$

Orthorhombique. Lames et masses écailleuses pseudoquadratiques. Clivage p parfait.

Dureté : 2,5. Densité un peu inférieure à 3,3.

La bissectrice, *négative*, est normale au clivage. Dispersion marquée $\rho > v$.

$\alpha = 1{,}559$ $\beta = 1{,}570$ $\gamma = 1{,}574$

$2V = 61°$ $B(p) = 4$

(1) L'actinium, l'ionium et le polonium ont aussi été décelés dans l'autunite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Jaune citron.

La saléite [1] accompagne, dans les gîtes uranifères du Katanga, la chalcolite avec laquelle elle forme souvent des groupements réguliers.

Parsonsite

Formule : $2\ PbO.UO^3.P^2O^5.H^2O$.

Clinorhombique ou clinoédrique.

Minéral pulvérulent, brun, à éclat gras, presque incolore et transparent en lames minces mais chargé de grains bruns ; les lamelles s'éteignent à 12° de l'allongement et cette direction est positive.

$n = 1{,}86$. Densité : 6,23. Radioactive.

La parsonsite [2] provient des gîtes uranifères du Katanga.

Dewindtite (*Stasite*) [3]

Formule : $4\ PbO.8UO^3.3P^2O^5.12H^2O$.

Petites masses pailletées, jaune d'or, trouvées au Katanga sur la chalcolite.

Au microscope, on constate de petits prismes biréfringents, très aplatis suivant un clivage allongé positivement. $n = 1{,}763$, $B = 3$.

Densité : 5,03.

Radioactif.

Provient des gîtes uranifères du Katanga.

Carnotite

Formule : $K^2(UO^2)(VaO^4)^2 + 3aq$.

Orthorhombique mais microcristalline. $n = 1{,}9$.

Soluble dans l'acide nitrique.

Radioactive.

La carnotite [4] a été exploitée, pour l'extraction de radium, au Colorado où elle se trouve en très petits grains disséminés dans un grès siliceux.

---

[1] Dédiée au géologue belge A. Salée.

[2] Dédiée au minéralogiste américain Parsons.

[3] La stasite avait été dédiée au chimiste belge Stas et la dewindtite au géologue belge Dewindt mort au Congo ; il a été reconnu que ces deux minéraux sont identiques.

[4] Dédiée à l'ingénieur français Ad. Carnot.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dumontite

Formule : $2PbO.UO^3.P^2O^5.5H^2O$.

Masses prismatiques jaunes accompagnant le chalcolite du Katanga (1).

Orthorhombique, avec plan des axes normal à l'allongement. $n = 1{,}89$.

Radioactive.

Provient des gîtes uranifères du Katanga.

D. — BASIQUES HYDRATÉS

Chalcophyllite

Formule : $Cu^3(AsO^4)^2 + 4Cu(OH)^2 + 10aq$.

Rhomboédrique : $pp = 110°12'$. Petites lamelles hexagonales dues à un clivage micacé a^1 (2).

Dureté : 2. Densité : 2,66 à 2,74.

Uniaxe et *négative*.

$\omega = 1{,}6323$ $\quad \varepsilon = 1{,}5745$ $\quad B = 57{,}8$

Verte, bleue; éclat nacré sur a^1.

Dans le tube, décrépite et donne de l'eau. Autres caractères, comme l'olivénite. Soluble dans les acides et l'ammoniaque.

Se trouve dans les gîtes métallifères.

Car. dist. — La couleur et l'uniaxie. Se distingue de l'uranite par ses contours non quadratiques et l'absence d'urane. Voir herrengrundite.

Ludlamite

Formule : $2Fe^3(PO^4)^2 + Fe(OH)^2 + 8aq$.

Clinorhombique : $mm = 131°23'$ $\quad pm = 85°41'$.

La forme ordinaire est pm. Clivages : p parfait et h^1 net.

Dureté : 3 à 4. Densité : 3,12.

Le plan des axes est le plan de symétrie g^1; la bissectrice *positive* fait avec la verticale un angle $\alpha = -67°5'$. Les lames p laissent donc voir la bissectrice obtuse.

$\gamma = 1{,}697$ $\quad \beta = 1{,}675$ $\quad \alpha = 1{,}653$

$2V = 82°22'$ $\quad 2h = 97°50'$ $\quad x_p = 14$

Verte et transparente. Eclat vitreux.

(1) Dédiée au géologue belge André Dumont.

(2) Le nom vient de *chalcos* « cuivre » et *phullon* « feuille ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

En tube fermé, décrépite, devient bleue et donne de l'eau. Soluble dans l' acide chlorhydrique.

Se trouve sur la pyrite des gîtes métallifères (1).

Car. dist. — La couleur et les propriétés optiques.

Wavellite

Formule : $2Al^2(PO^4)^2 + Al^2(OH)^6 + 5aq$ ou $(PO^4)^2(AlOH)^3.5aq$.

Orthorhombique : $mm = 78°15'$ $a^1b^{\frac{1}{2}} = 18°14'$. Les cristaux sont rarement terminés ; la wavellite constitue des masses à aiguilles rayonnées ou des mamelons fibroradiés, parfois très tenaces. Clivages m et g^1.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 2,32 à 2,34.

La bissectrice, *positive*, est parallèle à l'axe vertical, c'est-à-dire à l'allongement des fibres ;

$\gamma = 1{,}552$ $\beta = 1{,}534$ $\alpha = 1{,}525$

$B = 26$ $2V = 71°48'$ $2E = 126°58'$.

Incolore, blanche, verte, brune. Poussière blanche. Eclat vitreux.

Dans le tube, donne de l'eau. Infusible et tombe en poussière au chalumeau ; humectée de nitrate de cobalt et chauffée se colore en bleu. Soluble dans les acides et dans la potasse.

La wavellite (2) se trouve dans les fentes des roches sédimentaires et dans les gisements de fer et de manganèse. En Belgique, dans le massif cambrien de Stavelot. S'emploie en Pensylvanie pour la fabrication du phosphore au four électrique.

Car. dist. — La forme, la dureté, l'allongement positif (distinctif avec la koninckite).

Turquoise

La formule admise pour la turquoise (3) est $Al^2(PO^4)^2 + Al^2(OH)^4 + 2aq$ ou $PO^4Al^2(OH)^3 + 2aq$, mais le minéral contient toujours du CuO (de 2 à 7%) qui lui donne sa couleur.

Microcristalline ; constitue des masses compactes ou concrétionnées. $n = 1{,}62$.

Dureté : 6. Densité : 2,84. Fragile.

Bleu de ciel ou vert de pomme. Poussière blanche. Transparente en lame mince. Eclat un peu cireux.

(1) Dédiée au minéralogiste anglais Ludlam.
(2) Dédiée à Wavel qui l'a découverte.
(3) Mot persan.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dans le tube, décrépite, donne de l'eau et devient brune ou noire. Au chalumeau, tombe en poussière, devient noire ou brune et colore la flamme en vert, si elle a été humectée d'acide chlorhydrique. Soluble dans les acides.

La turquoise se trouve en veinules dans des roches éruptives ou sédimentaires. On l'exploite surtout en Perse et au Turkestan.

Car. dist. — La couleur, la dureté et les caractères chimiques. On donne souvent pour turquoise l'**odontolite** qui n'est qu'un ossement fossile coloré en bleu par de la vivianite ; la couleur de l'odontolite pâlit rapidement, sa densité (3) est plus élevée et elle ne contient pas de cuivre.

Pharmacosidérite

La formule est : $3Fe^2(AsO^4)^2 + Fe^2(OH)^6 + 12aq$; elle contient aussi CuO (1).

Cubique tétraédrique ; la forme ordinaire est pa^1 (fig. 53) ; clivage p imparfait.

Dureté : 2,5. Densité 2,8 à 3.

Pseudocubique et formée de cristaux pyramidés ayant pour bases les faces du cube ; 2E est très petit ; $n = 1{,}676$.

Le plus souvent verte, parfois jaune ou brune. Eclat adamantin.

Caractères chimiques de la scorodite qu'elle accompagne dans ses gisements.

Car. dist. — La forme et les propriétés chimiques.

Cacoxène

La formule est : $Fe^2(PO^4)^2 + Fe^2(OH)^6 + 9aq$ (2).

Se présente exclusivement en croûtes formées d'aiguilles fibro-radiées ou de sphérolites, jaune paille, à éclat soyeux.

Dureté : 3 à 4. Densité : 2,35.

Les fibres, transparentes, ont la bissectrice aiguë, *négative*, parallèle à l'allongement ; pléochroïsme net dans les teintes jaunes. $\gamma = 1{,}645$. $\alpha = 1{,}582$ — Positive.

Caractères chimiques de la vivianite.

Le cacoxène se trouve dans les gîtes métallifères.

---

(1) Le nom vient de *pharmacon* « poison » (à cause de l'arsenic) et de *sideron* « fer ».

(2) Le nom vient de *cacos* « mauvais » et *xenos* « étranger » parce que le minéral était considéré comme nuisible dans la fabrication du fer.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Delvauxine

La formule de ce minéral serait : $Fe^2(PO^4)^2 + Fe^2(OH)^2 + n\,aq$; il contient aussi CaO, As^2O^5 et Va^2O^5 ; placé dans un dessiccateur, il perd de l'eau jusqu'à n'en contenir plus que 10 à 11%.

La delvauxine (1) constitue des masses réniformes, brunes, tenaces, rayées par l'ongle. $n' = 1{,}716$.

Donne de l'eau dans le tube ; difficilement fusible en globule noir magnétique. Soluble.

A été trouvée dans les filons et amas métallifères de Belgique, à Visé, Angleur, etc.

Richellite

Ce minéral a pour formule : $(FlOH)^2O[Fe^3(PO^4)^2] + 3Fe^2(PO^4) + 36\,aq$.

Elle constitue des masses amorphes, compactes ou stratoïdes, jaunes, à éclat résineux.

Dureté : 2,5. Densité : 2.

A 100°, elle perd de l'eau. Chauffée dans un creuset de platine, elle dégage HFl en devenant incandescente. Facilement fusible et soluble dans les acides.

Trouvée à Richelle (Visé) avec allophane, halloysite et asbolane.

E. — CARBONATÉS, SULFATÉS

Destinézite

La composition de ce minéral correspond à la formule $Fe^2(PO^4)^2 + Fe^2(SO^4)^2 + 12\,aq$; cependant, comme sa poussière rougit le papier du tournesol, c'est, en réalité, un phosphate acide :

$$(HSO^4.OH)^2.O.Fe^2(PO^4)^2 + 10\,aq.$$

La destinézite (2) se présente en masses réniformes, terreuses, tachant les doigts, blanc jaunâtre, dont la poussière montre au microscope de petites lamelles hexagonales s'éteignant obliquement et qui sont clinorhombiques, avec $b = 26$ à 30 et $n = 1{,}65$ environ.

Dureté : 3. Densité : 2,1.

La destinézite est probablement un produit de cristallisation secondaire d'un minéral amorphe, de composition analogue mais moins hydraté, appelé **diadochite** (3).

(1) Dédiée au géologue belge Delvaux.

(2) Dédiée au paléontologue belge Destinez, qui l'a découverte.

(3) Du mot *diadechomai* « remplacer » parce que le phosphore y remplace l'arsenic d'un arséniate de fer très rare, la *sidérétine*. Ce nom est mal choisi.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Au chalumeau, s'émiette, fond en une scorie noire et colore la flamme en vert bleuâtre. Donne beaucoup d'eau dans le tube. Soluble dans l'acide chlorhydrique.

La diadochite est un produit de formation récente qui se trouve dans les galeries de mine. La destinézite a été trouvée dans les ampélites d'Angleur.

Phosphorites

Nous englobons sous ce nom tous les phosphates minéraux que l'on exploite pour les besoins de l'agriculture : chaque récolte enlève en effet au sol une grande quantité de phosphore qui doit lui être restituée. Les phosphates minéraux (1) sont utilisés sous forme de *superphosphates* (mélanges de phosphate monocalcique et de sulfate de chaux), de scories phosphatées et de phosphates naturels (apatite, etc.) moulus. Les superphosphates s'obtiennent par traitement chimique des phosphorites.

Les phosphorites se trouvent sous forme de rognons ou nodules, de grosseurs très inégales ; elles sont produites surtout par l'intervention d'êtres organisés et se sont concentrées dans diverses parties ou poches de bancs sédimentaires ; certains gisements sont considérés comme dus à des filons hydrothermaux.

Au point de vue minéral, les phosphorites sont des phosphates de chaux, carbonatés, et souvent fluorés, contenant aussi de l'alumine et du fer. On y a reconnu quelques espèces bien définies :

La *dahlite* [$3Ca^3(PO^4)^2 + 2CaCO^3 + aq$] constitue des croûtes fibreuses, des stalactites, des concrétions enchevêtrées très tenaces ; ses fibres sont uniaxes et d'allongement négatif.

La *francolite* [$(CaFl)^2Ca^8(PO^4)^6 + CaCO^3 + aq$] est pseudohexagonale ; une variété fibreuse est la *staffélite*.

La *collophanite* [$xCa^3(PO^4)^2 + yCaCO^3 + 2aq$], plus ou moins fluorée, amorphe, mélangée d'impuretés, constitue plutôt une roche qu'un minéral. C'est l'élément principal du *guano* des Antilles et du Pacifique, dû à l'accumulation dans des cavernes de déjections d'oiseaux.

La *quercyite* est un mélange de collophanite et de dahlite ou de francolite.

La densité des phosphorites varie de 2,69 à 3,1 ; leur dureté de 4 à 5. Elles sont solubles dans les acides.

---

(1) On en a consommé plus de huit millions de tonnes en 1933.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les *craies phosphatées* sont des craies à grains de phosphorite constitués par de la colophanite ou de la staffélite.

Les *coprolithes* sont des nodules considérés comme des restes organiques ; ils dégagent souvent une odeur bitumineuse lorsqu'on les brise.

De grands dépôts de phosphorites se trouvent en Tunisie, en Algérie, au Maroc, en Floride, dans le Tennessee et dans des îles du Pacifique.

En Belgique, les dépôts phosphatés existent sous forme de craies phosphatées dans le Hainaut et de sables phosphatés dans les poches de la craie blanche de la Hesbaye.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

VII. — ANTIMONIATES

Nadorite

La formule : $PbSb^2O^4 + PbCl^2$, correspondant à 30,5% de Sb et 52,4 de Pb, répond à la plupart des analyses du minéral, mais on peut aussi considérer la nadorite comme un oxychlorure : SbOCl + PbO.

Orthorhombique : $h^1b^{\frac{1}{2}} = 46°11'30''$ $g^1b^{\frac{1}{2}} = 58°52'$.

Clivage h^1. Les cristaux sont aplatis suivant h^1 et présentent des séries de faces a^m voisines de h^1 ; les formes sont courbes ; rares sont les cristaux nets qui ont aussi la forme $h^1g^1b^{\frac{1}{2}}$ avec macles e^1 dans lesquelles les cristaux joints sont croisés presque à angle droit. Masses laminaires groupées en éventail.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 7,02.

Le plan des axes optiques est parallèle à p. La bissectrice, *positive*, est perpendiculaire à g^1. Au travers de h^1, on a constaté $2H > 145°$ et une dispersion $\rho > v$ très forte.

$$n_g = 2{,}40 \qquad n_m = 2{,}35 \qquad n_p = 2{,}30$$

Jaune ou brune ; poussière jaune ; éclat résineux et adamantin ; pléochroïsme net : n_g incolore, n_m jaune pâle, n_p jaune verdâtre. S'altère en passant à la **bleiniérite** (y PbO + z Sb^2O^5 + n *aq*), jaune de paille à éclat résineux.

Dans le tube, décrépite et donne un sublimé blanc. Sur le charbon, donne un globule de plomb avec enduit blanc. Avec le sel de phosphore imprégné d'oxyde de cuivre, colore la flamme en bleu d'azur. Soluble dans l'acide nitrique additionné d'acide tartrique et dans l'acide chlorhydrique.

A été exploitée au Djebel Nador en Algérie.

Car. dist. — La couleur, l'éclat, les essais chimiques.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

VIII. — NITRATES

Les seuls nitrates minéraux importants sont la nitratine et le nitre. On connaît les nombreuses applications des composés nitrés : l'acide nitrique et l'ammoniaque employés dans l'industrie chimique, le salpètre dans la fabrication des poudres, les cyanures dans l'industrie métallurgique, les nitrates dans l'agriculture.

Tous les nitrates, traités à chaud par du cuivre et de l'acide sulfurique dégagent des vapeurs rutilantes. Si l'on verse une goutte d'une solution de nitrate dans un verre de montre contenant quelques milligrammes d'une solution sulfurique de brucine, on obtient une coloration rouge intense, passant peu à peu à l'orangé puis au jaune rouge. Dans les mêmes conditions le sulfate de diphénylamine se colore en bleu : cependant les vanadates colorent aussi en bleu ce dernier réactif.

Les composés nitrés s'obtenaient par le lavage des vieux plâtras ou encore dans les nitrières artificielles dans lesquelles les nitrates se forment par l'intervention de microorganismes dits *nitromonades*. Actuellement, on extrait les nitrates d'importants gisements américains et on les produit aussi par l'action de l'arc électrique sur l'azote de l'air.

Nitratine

C'est le nitrate sodique $NaNO^3$.

Il cristallise en rhomboèdres de 73°30′ avec clivage p ; ordinairement en incrustations, croûtes et lits cristallins.

Dureté : 1,5 à 2. Densité : 2,24 à 2,30.

Uniaxe et *négatif*.

$\omega = 1{,}5874$ $\quad \varepsilon = 1{,}3361$ $\quad B = 251$ $\quad B(p) = 120.$

Blanc, brun, jaune. Eclat vitreux. Transparent.

Sur le charbon, déflagre et colore la flamme en jaune intense. Soluble dans l'eau. Déliquescent.

Constitue au Chili, dans les déserts des hautes altitudes, de vastes dépôts où il est mélangé, sous le nom de *caliche*, à du gypse, du sel gemme, de la glaubérite, des iodates, etc.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Nitre (Salpètre)

C'est le nitrate potassique KNO^3 ; parfois il s'y ajoute de la chaux et de l'eau et le minéral devient la **nitrocalcite.**

Orthorhombique : $mm = 61°10'$ $pe^1 = 35°2.$

Clivage e^1 parfait. Cristaux et groupements analogues à ceux de l'aragonite.

Dureté : 2. Densité : 2,09 à 2,14.

Le plan des axes est h^1 ; la bissectrice *négative* est perpendiculaire à p.

$\gamma = 1{,}5064$ $\beta = 1{,}5056$ $\alpha = 1{,}3346$

$2V = 7°8'30''$ $2E = 10°46''$ $B = 172.$

Blanc ou incolore ; éclat vitreux. Translucide.

Déflagre violemment sur le charbon et colore la flamme en violet. Très soluble dans l'eau. Non déliquescent.

C'est le salpètre que l'on produisait dans les nitrières. On le trouve sous forme d'efflorescences à la surface des vieux murs, dans les caves et sur les parois des cavernes qui ont été habitées.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

IX. — BORATES

Ces minéraux sont des produits de fumeroles et se retrouvent dans les gîtes d'évaporation. Sauf pour la boracite et la colemanite, leur dureté est faible, inférieure à 2 ; la densité varie de 1 à 3.

Les *borates*, humectés d'acide sulfurique, donnent à la flamme une coloration verte. Cette coloration s'obtient également en introduisant dans la flamme avec le fil de platine le minéral pulvérisé et mélangé avec du bisulfate de potassium et de la fluorine. Avec ces minéraux solubles dans l'acide chlorhydrique, le papier de curcuma prend une teinte rouge brique, après dessiccation à 100° ; cette coloration devient bleue ou vert bleuâtre par addition d'une goutte d'une solution de carbonate de sodium.

Sassoline

C'est l'acide borique $H^6B^2O^6$.

Clinoédrique avec clivage basal, la sassoline [1] constitue des écailles nacrées, blanches, au toucher onctueux, à saveur saline. La bissectrice, *négative*, est perpendiculaire au clivage.

Dureté : 1. Densité : 1,5.

$\gamma = 1{,}459$ $\quad \beta = 1{,}456$ $\quad \alpha = 1{,}340$

$2V = 7°$ $\quad 2E = 10°$ $\quad B = 119$

Donne de l'eau dans le tube. Fusible en un verre clair. Soluble dans l'eau et dans l'alcool : la solution alcoolique brûle avec une flamme verte.

Se trouve dans les *soffioni* [2] de Toscane et au Stromboli.

Boracite

La composition correspond à la formule $Mg^6B^{16}O^{30} + MgCl^2$. Il y a aussi FeO.

---

[1] Se produit surtout aux lagunes de Sasso, près Sienne.

[2] Les soffioni, ou soufflards, sont des dégagements de vapeurs d'eau chargée de divers éléments chimiques, qui se déversent dans les bassins appelés lagunes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Cubique tétraédrique ; la combinaison ordinaire est pb^1a^1, mais les facies changent suivant que prédominent les faces cubiques (fig. 53), tétraédriques (fig. 115) ou rhombododécaédriques (fig. 569). La *stassfurtite* est une boracite massive et compacte.

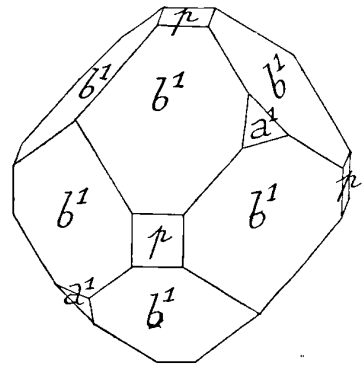


Fig. 569.

Dureté : 7 (dans les cristaux.) Densité : 2,9.

Pseudocubiques,les cristaux de boracite sont constitués par des pyramides rhombiques (fig. 217), biaxes, *positives*, dont le plan des axes est dirigé comme l'indique la figure précitée, avec $B = 10,7$, $n = 1,667$, et $2v = 83°50'$. — A 250°, la boracite devient isotrope.

Pyroélectrique.

Incolore, blanche, jaune, grise. Eclat vitreux ou adamantin. Transparente ou translucide.

Fusible en une perle blanche cristalline et colore la flamme en vert. Réaction du chlore avec le sel de phosphore. Soluble dans l'acide chlorhydrique.

Se trouve dans les gisements d'anhydrite, de gypse et de sel gemme.

Car. dist. — La forme et la dureté.

Colemanite

La formule de ce minéral est : $Ca^2B^6O^{11} + 5aq$. Il renferme également Al^2O^3, Fe^2O^3 et MgO.

Clinorhombique :

$$mm = 72°4' \qquad pm = 73°49' \qquad ph^1 = 69°51'.$$

Clivage g^1 parfait. Les cristaux sont souvent très modifiés ; la figure 570 représente une combinaison fréquente. Constitue aussi des masses compactes et granulaires (*pricéite* ou *pandermite*).

Dureté : 4 à 4,5 ; 3 dans la pricéite. Densité : 2,417 à 2,428.

Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1 (fig. 571). La bissectrice, *positive*, fait, dans g^1, un angle $\alpha = 82°34'$.

$$\gamma = 1,61398 \qquad \beta = 1,59202 \qquad \alpha = 1,58626$$

$$B = 28 \qquad b(g^1) = 15 \text{ à } 22.$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Blanche ou incolore. Eclat adamantin.

Décrépite, s'exfolie et fond facilement en colorant la flamme en vert jaunâtre. Soluble à chaud dans l'acide chlorhydrique avec séparation d'acide borique par refroidissement.

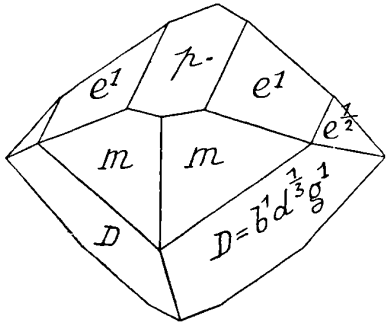


Fig. 570.

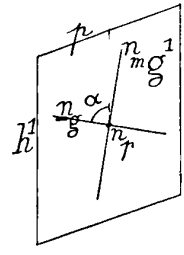


Fig. 571.

La colemanite (1) provient de Californie. La pricéite se trouve en rognons et lentilles dans des sédiments tertiaires de l'Asie Mineure.

Car. dist. — La forme, le clivage, les propriétés optiques.

Borax

Formule : $Na^2B^4O^7 + 10aq$.

Clinorhombique isomorphe du pyroxène. Les cristaux ont la forme des figures 476 et 477. Clivages h^1 parfaits, m et g^1 difficiles.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 1,69 à 1,72.

Le plan des axes est perpendiculaire à g^1 ; la bissectrice, *négative*, fait dans g^1, un angle $\alpha = 56°0'$.

$$\gamma = 1{,}4715 \qquad \beta = 1{,}4686 \qquad \alpha = 1{,}4468$$

$$2V = 39°37' \qquad 2E = 59°40'$$

$$B = 24{,}7 \qquad B(h^1) = 22{,}7 \qquad B(g^1) = 21{,}8$$

Ces chiffres correspondent aux rayons jaunes ; α, 2V et n varient d'après les couleurs.

Blanc ou gris. Eclat vitreux ou résineux, parfois terreux (*tinkal*) ; saveur alcaline.

Gonfle et fond en un globule incolore. Soluble dans l'eau.

Le borax est retiré des lacs desséchés du Thibet, de Californie et de Névada.

(1) Dédiée à Coleman et à Price, ingénieurs américains.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Béchillite

La formule de ce minéral est $CaB^4O^7 + 4aq$. La *hayésine* [1] est une béchillite contenant 6 molécules d'eau.

Elle constitue des incrustations blanches et soyeuses ; la hayésine se trouve en rognons floconneux soyeux.

Les fibres du minéral sont transparentes et allongées suivant n_m : l'allongement est donc de signe variable.

Dureté : 1.

Donne de l'eau dans le tube. Fond en colorant la flamme en jaune rougeâtre, et en vert lorsqu'elle a été humectée d'acide sulfurique. Soluble dans les acides.

Se trouve dans les soffionis de Toscane et dans des dépôts superficiels où se rencontre aussi l'ulexite.

Car. dist. — Voir ulexite.

Ulexite

C'est un borate sodique, de formule : $Na^2Ca^2B^{10}O^{18} + 16\ aq.$

Constitue des rognons cotonneux, blancs, à éclat soyeux.

Les fibres sont transparentes et à allongement positif (distinctif de la hayésine).

Dureté : 1. Densité : 1,65. $n = 1{,}5$.

Caractères chimiques de la béchillite, mais donne à la flamme une coloration jaune.

L'ulexite [2] se trouve dans les plaines élevées et désertiques des Andes, où elle résulte de la concentration d'eaux superficielles donnant lieu à la cristallisation de borates, sulfates et chlorures.

---

(1) Dédiée à Hayes, qui l'a découverte. C'est Bechi qui découvrit la Bechillite.
(2) Dédiée au chimiste allemand Ulex.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

X. — URANATES

Uraninite (Péchurane)

Les minéraux compris sous ce nom ont des compositions très complexes et qui rendent leurs formules encore incertaines. Ce sont essentiellement des uranates d'uranyle U^3O^8 mais avec des proportions variables des oxydes UO^3 et UO^2, contenant aussi du plomb, du thorium ou du zirconium, des métaux des groupes du cérium et de l'yttrium, etc. Ils renferment également de l'azote, de l'hélium et du polonium, ce qui les rend très intéressants, ainsi que du radium, ce qui les rend très importants au point de vue industriel.

La *clévéite* [1], parfois en cristaux cubiques, contient une forte proportion d'UO^3 ; l'*uranniobite*, en cristaux octaédriques, contient principalement UO^2 et ThO^2 ; la *pechblende* est massive et compacte.

Ces minéraux, de dureté 5,5, de densité 9 à 9,7, à éclat submétallique, sont gris, verdâtres, bruns ou noir de velours et opaques.

Infusibles. Avec le borax ou le sel de phosphore , donnent une perle jaune au feu oxydant, grise au feu réducteur. Plus ou moins solubles dans les acides nitrique et sulfurique. Attaqués à chaud par l'acide phosphorique sirupeux en donnant une solution vert émeraude. Très radioactifs.

Ce sont des éléments accidentels de granites et de pegmatites. La pechblende a été exploitée principalement dans les filons métallifères de Bohême. Elle l'est actuellement au Katanga.

Gummite

La composition de ce minéral est complexe. Avec UO^3, il contient PbO, Fe^2O^3, SiO^2, CaO, H^2O et, accessoirement, MnO^2, MgO, BaO, etc., ainsi que du radium.

Se trouve en masses compactes, rouge de brique ou jaunâtres, à rayure jaune, paraissant constituée par un mélange de produits d'altération de la pechblende. Les fentes traversant la gummite sont souvent remplies de petites aiguilles jaunes constituées par

---

[1] Dédiée au chimiste suédois Cléve. D'après Ramsay, la clévéite de Ryfylke (Norwège) contient 1,5 cm^3 d'hélium par gramme.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

des phosphates (*uranospinite*) ou des arséniates (*uranocircite*) d'urane et de baryum ou chaux, et par de la becquerélite.

Becquerélite

La composition de ce minéral correspond à la formule : $UO^3.2H^2O$; une partie de UO^3 est remplacée par PbO.

Orthorhombique, avec clivages p et m. Les cristaux, comportant beaucoup de facettes (fig. 572), sont agglomérés. Couleur ambrée.

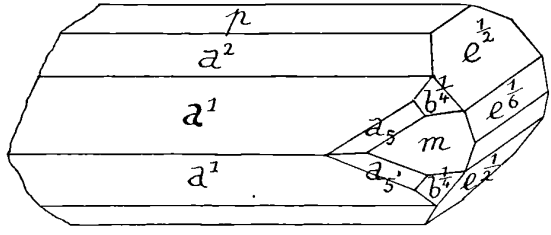


Fig. 572.

Le clivage basal est normal à une bissectrice aiguë *négative* ; le plan des axes est parallèle à h^1.

$\gamma = 1{,}830$	$\beta = 1{,}820$	$\alpha = 1{,}735$
$B = 95$	$b(p) = 14$	$2e = 57°38'$

Se trouve dans les cavités de la pechblende du Katanga (1).

Schoepite

La composition de ce minéral est identique à celle de la becquerélite.

Cristaux jaunes ou bruns, orthorhombiques, souvent aplatis suivant la base.

Le plan des axes est parallèle à g^1 et la bissectrice aiguë, *négative*, est normale à p qui est une direction de clivage ;

$\gamma = 1{,}735$	$\beta = 1{,}714$	$\alpha = 1{,}690$
$B = 45$	$B(p) = 21$	

L'angle des axes est très grand : $2E = 119°31'$.

Accompagne la pechblende du Katanga (2).

(1) Dédiée à H. Becquerel.
(2) Dédiée au professeur A. Schoep, de Gand.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Curite

Formule : $2PbO.5UO^3.2H^2O$.

Cristaux aciculaires ou agrégats cristallins de couleur brune ou rougeâtre, jaune en lames minces. Ces aiguilles s'éteignent positivement suivant leur allongement. $n = 2{,}1$.

Densité : 7,19.

Soluble dans l'acide nitrique en solution jaune. Soluble à chaud dans l'acide chlorhydrique, mais laisse déposer en refroidissant des aiguilles de $PbCl^2$.

La curite [1] accompagne la pechblende au Katanga.

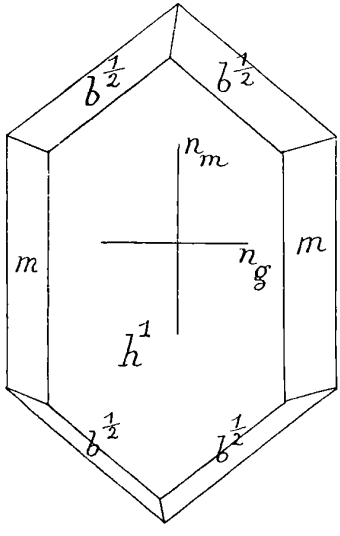


Fig. 573.

Fourmariérite

Formule : $5UO^2.PbO.10H^2O$.

Cristaux orthorhombiques (fig. 573), aplatis suivant h^1. Clivage h^1. Couleur rouge.

Le plan des axes est parallèle à p et la bissectrice, *négative*, est normale à h^1. $\beta = 1{,}92$. L'angle des axes est très grand. La biréfringence du clivage h^1 est 18.

Accompagne la pechblende du Katanga [2].

Kasolite

Formule : $3PbO.3UO^3.3SiO^2.4H^2O$.

Ce minéral se présente en agrégats cristallins, parfois fibro-radiés. Les cristaux sont clinorhombiques (fig. 574) et allongés suivant l'axe binaire : $mh^1 = 61°$, $ph^1 = 76°20'$.

Clivage facile : p.

Couleur ambrée, jaune ou brune, parfois rouge aux extrémités des cristaux.

Dureté : 4,5. Densité : 5,96.

Le plan des axes optiques est normal à g^1 ; la bissectrice, *positive*, est verticale.

$\gamma = 1{,}950$ $\beta = 1{,}910$ $\alpha = 1{,}895$

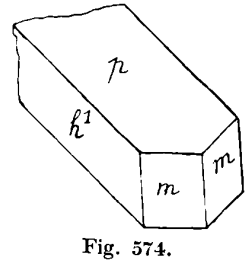


Fig. 574.

(1) Dédiée à P. Curie.
(2) Dédiée au géologue P. Fourmarier.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Soluble en jaune dans l'acide nitrique avec dépôt de silice.

La kasolite (1) est un des produits d'altération de la pechblende du Katanga.

Uranotyle

La composition de ce minéral paraît être : $2CaO.5UO^3.5SiO^2.15H^2O$.

Il se présente en petits cristaux aciculaires, verts ou jaunâtres, probablement orthorhombiques. Le plan des axes est dirigé suivant l'allongement qui est de signe positif. Pléochroïsme faible. La biréfringence est grande. Les indices sont $> 1{,}67$.

Tapisse les fentes de la pechblende.

Sklodovskite

Minéral de composition analogue au précédent mais contenant MgO au lieu de CaO.

Il se présente également en cristaux aciculaires, mais le plan des axes est normal à l'allongement, qui est donc de signe variable et les indices sont compris entre 1,61 et 1,65.

Accompagne la pechblende du Katanga (2).

---

(1) Du nom du gîte uranifère du Katanga.
(2) Dédiée à Madame (Sklodovska) Curie.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

XI. — SULFATES, CHROMATES, TUNGSTATES, MOLYBDATES

Beaucoup de ces minéraux sont d'origine pneumatolytique ou hydrothermale et se rencontrent dans les gîtes filoniens ; d'autres résultent d'évaporations salines et plusieurs sont des produits d'altération. Leur dureté est généralement assez faible, variant de 1,5 à 3 ; la densité oscille de 2 à 4 mais atteint 6 et 7 pour quelques-uns.

La plupart des *sulfates* sont solubles dans l'eau ou dans les acides ; les sulfates insolubles sont désagrégés par le carbonate de sodium. Une solution de sulfates est caractérisée par le précipité blanc, cristallin et très lourd qu'elle donne avec le chlorure de baryum. D'ailleurs tous les sulfates peuvent être aisément décelés par la réaction de l'*hépar* (p. 217).

Les *chromates*, fondus avec du carbonate de sodium, donnent, après dissolution de la masse dans l'eau, filtration et addition d'acide acétique, un précipité jaune avec le nitrate de plomb ; la coloration jaune peut être masquée s'il y a du phosphore, du soufre ou de l'arsenic ; dans ce cas, un peu de précipité donne avec le borax une perle verte.

Les *tungstates*, finement pulvérisés, sont fondus avec du carbonate de sodium. La masse reprise par l'eau filtrée, contient du tungstate alcalin que l'on caractérise par le chlorure stanneux qui donne, en présence d'acide chlorhydrique et à chaud, une coloration bleue foncée.

Les *molybdates*, pulvérisés, placés sur une lame de platine et humectés d'un peu d'acide sulfurique concentré sont chauffés jusqu'à dégagement de vapeurs acides ; on laisse refroidir, on humecte d'un peu d'alcool et le liquide prend une belle coloration bleue par addition d'eau (un peu d'haleine suffit). Chauffés avec l'iodure de soufre sur un bâton de plâtre, les molybdates donnent un enduit bleu outremer et les *tungstates* un enduit vert bleuâtre.

Enfin, un minéral, fondu avec un peu de carbonate de soude et placé dans un verre de montre contenant quelques milligrammes

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

des substances suivantes, donne des colorations très nettes permettant de reconnaître WO^3 et MoO^3 :

	WO^3	MoO^3
Hydroquinone	carmin	brun
Morphine	—	vert
Naphtol	rose pâle	violet devenant vert sale

Thénardite

C'est le sulfate sodique Na^2SO^4.

La thénardite (1) est orthorhombique, avec $mm = 61°43'1/2$, $b^{\frac{1}{2}}\ a^1 = 28°20'30''$. Le clivage basal p est très net. La forme ordinaire des cristaux est donnée par la figure 575 ; les faces a^1 manquent souvent.

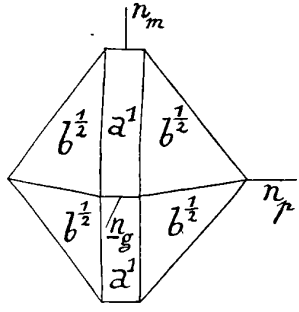


Fig. 575.

Dureté : 2,4. Densité : 2,68 à 2,69.

Le plan des axes optiques (fig. 575) est parallèle à p ; $n = 1{,}477$; $2V = 83°$ à $90°$; les lamelles de clivage, par l'introduction du quartz en lumière convergente, montrent des branches colorées traversant le champ parallèlement au polariseur (224).

Incolore, blanche, grise, jaunâtre. Eclat vitreux. S'altère très aisément à l'air en se recouvrant d'aiguilles blanches.

Colore la flamme du chalumeau en jaune intense. Sur le charbon, donne l'hépar. Soluble dans l'eau ; la solution précipite en blanc par le chlorure barytique.

La thénardite est un produit des lacs desséchés.

Glaubérite

C'est le sulfate double $Na^2SO^4.CaSO^4$.

Clinorhombique avec $mm = 96°58$, $md^{\frac{1}{2}} = 32°29'$, $ph^1 = 67°49'$.

Le clivage basal p est facile. La forme ordinaire des cristaux est $pm\ d^{\frac{1}{2}}$ (fig. 576), mais ils peuvent être aplatis parallèlement à p ou très allongés suivant l'arête $d^{\frac{1}{2}}d^{\frac{1}{2}}$.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 2,7 à 2,85.

(1) Dédiée au chimiste français Thénard.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le plan des axes est perpendiculaire à g^1 (fig. 577) ; la bissectrice, *négative*, fait, dans g^1, l'angle $\alpha = 30^\circ$ environ. $n = 1{,}54$. Le clivage p laisse voir cette bissectrice ; l'angle des axes varie de 9° à 16°, du bleu au rouge, et diminue lorsque la température augmente.

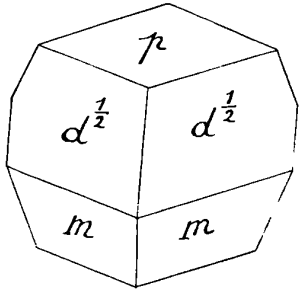


Fig. 576.

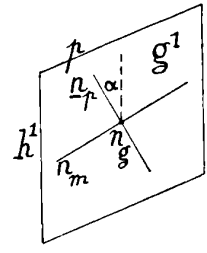


Fig. 577.

La glaubérite (1) est incolore, grise ou rouge, par suite d'inclusions ferrugineuses.

Au chalumeau, décrépite, blanchit et fond en un émail blanc qui cristallise par refroidissement. Dans l'eau, devient opaque et se dissout en laissant un résidu de $CaSO^4$ soluble dans un excès.

La glaubérite s'altère aisément à l'air humide en se recouvrant de gypse. C'est un minéral des gisements salifères dus à l'évaporation des mers et lacs salés.

Barytine

Ce minéral a pour formule $BaSO^4$, mais une partie de BaO peut être remplacée par SrO. Les échantillons renferment souvent aussi des inclusions ferrugineuses, argileuses, bitumineuses, etc.

Orthorhombique :

$$mm = 78^\circ 22' 1/2 \qquad pe^1 = 52^\circ 43' \qquad pa^2 = 38^\circ 51' 1_2$$

Les clivages p et m sont parfaits.

Les cristaux, souvent volumineux, ont des facies très divers.

Les formes les plus fréquentes sont p, m, a^2, h^1, g^1 et $b^{\frac{1}{2}}$. Les figures 67 et 578 représentent des cristaux aplatis suivant p et avec prédominance des faces m. Les cristaux sont aussi très souvent allongés suivant l'arête pa^2 (fig. 579) ou suivant l'arête pe^1

(1) Dédiée au chimiste allemand Glauber.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(fig. 580), en gardant, ou non, l'aplatissement parallèlement à p. Plus rarement, ils sont allongés verticalement (fig. 581) et ont reçu le nom de *volnyme* lorsqu'ils sont, en ce cas, aplatis suivant h^1.

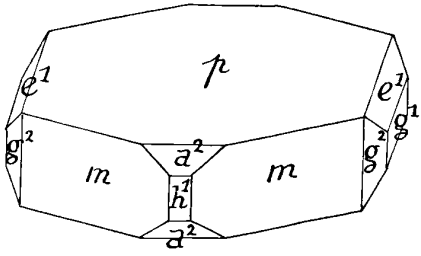


Fig. 578.

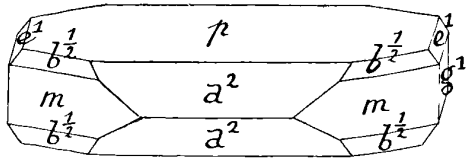


Fig. 579.

Les cristaux de barytine s'assemblent fréquemment pour donner des masses lamellaires ou crêtées ; déjà, l'examen des grands cristaux montre, par des successions d'angles rentrants, visibles surtout sur h^1 ou sur g^1, qu'ils sont composés de petits individus

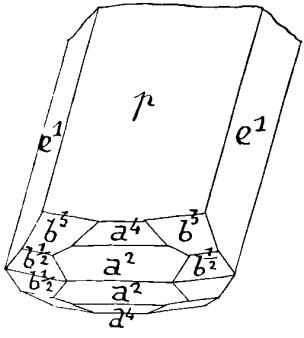


Fig. 580.

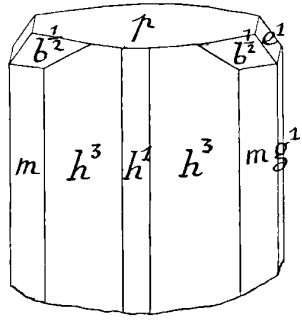


Fig. 581.

assemblés parallèlement : la figure 582 montre, par exemple, l'aspect g^1 du cristal de la figure 578. Dans les *barytines crêtées*, des tablettes rectangulaires, semblables à celle de la figure 583, s'assemblent parallèlement, avec les faces p dans le même plan, et ces assemblages se réunissent entre eux en subissant de petites rotations autour des arêtes pe^1 et pa^2, donnant finalement des groupements sphériques sur lesquels brillent les faces a^2 et e^1. Parfois, comme dans la barytine crêtée de Villers-en-Fagne, les formes dominantes des petits individus composants sont p et m. Lorsque les éléments sont microscopiques, on obtient des barytines con-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

crétionnées à structure fibreuse, telle que la variété dite *pierre de Bologne*. La barytine constitue aussi des masses laminaires ou

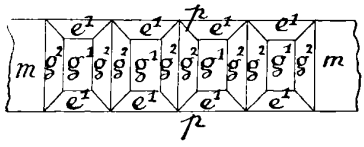


Fig. 582.

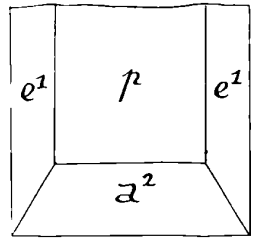


Fig. 583.

grenues. Il existe des pseudomorphes de barytine en quartz, pyrite, calcite, sidérite, etc.

Dureté : 2,5 à 3,5. Densité : 4,3 à 4,6 (1).

Le plan des axes optiques (fig. 584) est parallèle à g^1 ; la bissectrice, *positive*, est normale à h^1.

$\gamma = 1{,}6491$	$\beta = 1{,}6381$	$\alpha = 1{,}6369$
$2V = 36°45'$	$2E = 62°10'$	$2e = 64°$ à $77°$
$B = 12$	$B(m) = 5{,}6$	$b(p) = 9$ à 11

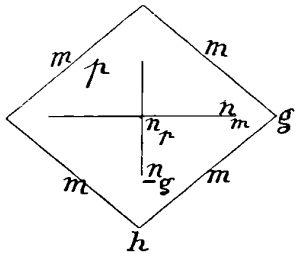


Fig. 584.

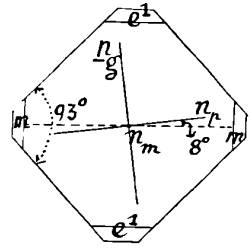


Fig. 585.

Incolore, jaune, bleue et transparente ; blanche, rouge, brune et opaque ; éclat vitreux, souvent nacré sur *p*.

Décrépite et fond en colorant la flamme en vert jaunâtre. Sur le charbon, avec le carbonate de soude, donne l'hépar ; la masse réduite, dissoute dans l'acide chlorhydrique, permet l'essai de coloration de la flamme (vert jaunâtre). Insoluble dans les acides. Bouillie en poudre fine dans une solution concentrée

(1) Le nom du minéral vient de *barus* « lourd ».

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

de carbonate sodique et de sulfate de potassium, reste inaltérée (distinction avec la célestine). Un fragment chauffé dans une perle de carbonate sodique, repris par l'eau, filtré, dissous dans un peu d'acide chlorhydrique, donne, par évaporation sur un porte-objet, des cristaux clinorhombiques de $BaCl^2.2aq$, dont la forme est indiquée sur la figure 585 : l'orientation optique, indiquée sur la figure, et le signe *positif* peuvent y être vérifiés par les méthodes indiquées en optique ; ces cristaux sont fréquemment traversés de lamelles hémitropes parallèles à *p*. La barytine est parfois radioactive.

La barytine se trouve principalement dans les gîtes métallifères ; on la rencontre aussi en masses concrétionnées dans les formations sédimentaires ou en cristaux dans les fentes de ces roches ; elles existe rarement dans les géodes de roches volcaniques. En Belgique, de beaux échantillons ont été trouvés à Vierves, Villers-en-Fagne, Fleurus, Rumelange, Rocheux, Hornu, etc.

Car. dist. — La forme, les clivages, la densité. Voir célestine.

Célestine

Ce minéral, de formule $SrSO^4$, est souvent très pur ; parfois, il contient CaO, plus rarement BaO.

Orthorhombique, sa forme est proche de celle de la barytine :

$$mm = 75°50' \qquad pe^1 = 52° \qquad pa^2 = 39°24'\tfrac{1}{2}$$

Les clivages *p* et *m* sont très faciles. Les cristaux sont, le plus souvent, allongés suivant l'arête pe^1 (fig. 586), mais les autres facies de la barytine se rencontrent également et la célestine forme aussi des masses laminaires et surtout fibreuses.

Dureté : 3 à 3,5. Densité : 3,95 à 3,99.

L'orientation optique est la même que celle de la barytine (fig. 584) :

$\gamma = 1{,}63092$	$\beta = 1{,}62367$	$\alpha = 1{,}62198$
$2V = 51°44'$	$2E = 90°12'$	$2e = 89°$ à $105°$
$B = 8{,}9$	$b(p) = 7{,}4$	$B(m) = 4{,}4$

Incolore, blanche, parfois d'un beau bleu [1]. Poussière blanche. Transparente, translucide ou opaque. Eclat vitreux.

[1] Le nom vient de la couleur bleu de ciel.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Décrépite au chalumeau, fond en une perle blanche et colore la flamme en rouge pourpre. Sur le charbon, donne une masse peu fusible qui, traitée par l'acide chlorhydrique et par l'alcool, donne nettement la couleur rouge à la flamme et qui peut donner la réaction du soufre (*hépar*). Avec la soude, sur le charbon, donne l'hépar. Bouillie en poudre fine dans une solution concentrée de carbonate sodique et de sulfate de potasse, se transforme en carbonate qui, traité par l'acide chlorhydrique, se dissout et donne la coloration rouge à la flamme. Traitée comme la barytine dans une perle de carbonate sodique, donne des cristaux microscopiques de $SrCl^2 + 6aq$ en aiguilles hexagonales allongées et de signe négatif.

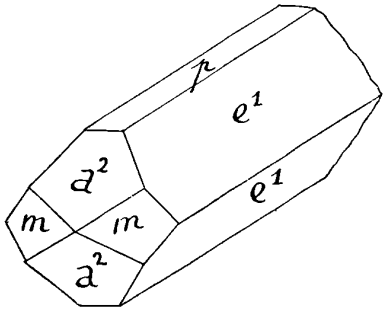


Fig. 586.

La célestine se trouve dans les gîtes sédimentaires, spécialement dans les dépôts de gypse, de sel et d'argile, et dans les fentes qui les traversent. Elle ne se rencontre qu'accidentellement dans les gîtes métallifères et dans les amygdales de roches éruptives.

Car. dist. — La forme, les clivages, la coloration de la flamme. La distinction avec la barytine peut se baser sur la biréfringence des lamelles p, sur la forme des cristaux de chlorures, sur l'action d'une solution de carbonate sodique et sur la différence de grandeur des indices, comparés (**167**) à celui d'un liquide tel que la tétrabromure d'acétylène ($n = 1{,}636$).

Anglésite

C'est le sulfate de plomb $PbSO^4$.

Orthorhombique :

$mm = 76°16'30''$ $\quad pe^1 = 52°12'15''$ $\quad pa^2 = 39°23'30''$.

L'anglésite se présente presque toujours en beaux cristaux avec nombreuses modifications ; la figure 587 représente un cristal de Sardaigne allongé verticalement, mais l'allongement se fait aussi suivant pa^2 ou suivant pe^1. Parfois le rhomboctaèdre $y = b^{\frac{1}{3}} b^1 b^{\frac{1}{2}}$ prédomine (fig. 588). Les faces h^1 portent souvent de fortes stries verticales.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 6,12 à 6,39.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le plan des axes (fig. 587) est parallèle à g^1 et la bissectrice, *positive*, est perpendiculaire à h^1 :

$$\gamma = 1{,}886 \qquad \beta = 1{,}875 \qquad \alpha = 1{,}869$$

$$2V = 75°52',5 \qquad b = 16 \qquad b(p) = 10 \qquad b(h^1) = 6$$

$$b(a^1) = 3{,}6 \qquad b(m) = 9{,}5$$

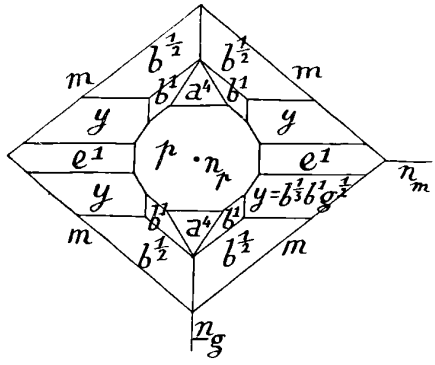


Fig. 587.

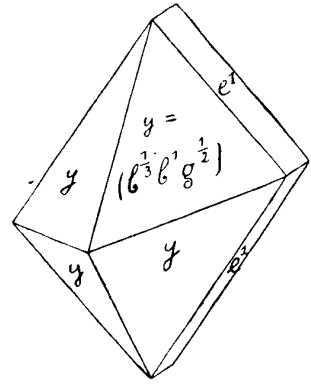


Fig. 588.

Un cristal, examiné à travers a^2, montre le pôle excentrique d'un axe optique.

Incolore et transparente ; blanche et opaque ; plus rarement brune, noire ou verte. Eclat adamantin.

L'anglésite est peu soluble dans l'acide nitrique, soluble dans le citrate d'ammoniaque.

L'anglésite (1) est un produit d'altération de la galène et se trouve dans les gîtes de plomb.

Car. dist. — La forme et la beauté des cristaux. Voir p. 633.

Anhydrite

C'est le sulfate anhydre de chaux $CaSO^4$.

Orthorhombique :

$mm = 83°33'$

$e^1g^1 = 33°41'$.

Le clivage p est parfait, les clivages h^1 et g^1 faciles. Les cristaux ont habituellement la

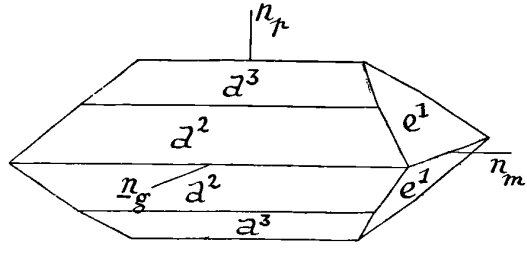


Fig. 589.

(1) Reconnu d'abord à Anglesea (Ecosse).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

forme de solides de clivage, mais parfois ils présentent des modifications comme dans la figure 589.

Dureté : 3 à 3,5. Densité : 2,899 à 2,985.

L'orientation optique (fig. 589) est analogue à celle de la barytine.

$\gamma = 1{,}6138$ $\beta = 1{,}5757$ $\alpha = 1{,}5700$

$B = 43{,}8$ $B(h^1) = 5{,}7$ $B(p) = 38{,}1$

$2V = 43°6'$ $2E = 70°49'$

Blanche, grise, rouge, violette. Poussière grisâtre. Translucide ou opaque par suite d'inclusions ferrugineuses. Eclat nacré sur p, gras sur h^1, vitreux sur g^1.

Facilement fusible en émail blanc. Sur le charbon, se réduit en sulfure et donne l'hépar. Un peu soluble dans l'eau, soluble dans l'aide chlorhydrique.

S'altère aisément en se transformant en gypse et en augmentant alors considérablement de volume (de 1 à 1,623).

L'anhydrite se trouve dans les dépôts de gypse et de sel, accessoirement dans les filons métallifères.

Car. dist. — Les trois clivages orthogonaux et inégalement faciles, l'éclat et les propriétés optiques.

Crocoïse

C'est le chromate de plomb $PbCrO^4$.

Clinorhombique : $mm = 86°19'$ $pm = 80°57'$ $ph^1 = 77°33'$.

Le clivage m est distinct, les clivages p et h^1 sont difficiles. Les cristaux sont toujours très allongés verticalement et parfois fortement modifiés (fig. 590).

Dureté : 2,1 à 3. Sectile. Densité : 5,9 à 6,1.

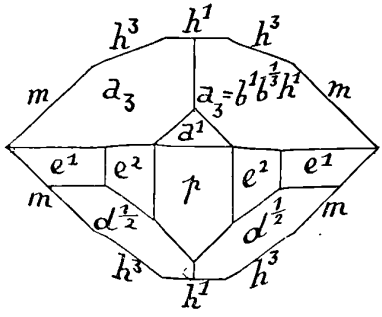


Fig. 590.

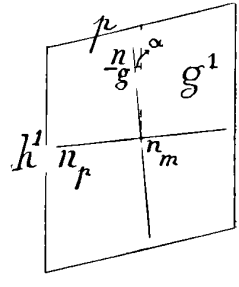


Fig. 591.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le plan des axes est parallèle à g^1 (fig. 591) ; la bissectrice, *positive*, fait l'angle $\alpha = 5°30'$.

$$\gamma = 2{,}66 \qquad \beta = 2{,}37 \qquad \alpha = 2{,}31$$
$$2V = 54°3' \qquad 2H = 97°35'.$$

Les teintes de polarisation sont cachées par la couleur du minéral. Rouge de différentes nuances ; rayure orangée (1) ; pléochroïsme net dans les teintes jaune et jaune rougeâtre.

Dans le tube, décrépite, noircit, mais reprend sa couleur en refroidissant. Sur le charbon, donne des grains de plomb dans une scorie verte. Chauffée avec l'acide chlorhydrique, dégage du chlore et donne, surtout après addition d'alcool, une solution verte avec dépôt de chlorure de plomb. Se dissout dans la potasse.

La crocoïse se trouve en cristaux dans les fentes des roches granitiques et gneissiques. Elle est souvent accompagnée de petites aiguilles vertes de **Vauquelinite** (2) dont la formule est :

$$2(Pb,Cu)CrO^4 + (Pb,Cu)(PO^4)^2.$$

On la trouve associée à l'or, la galène, la pyrite, etc.

Car. dist. — La forme allongée, la dureté et la couleur. L'action de la chaleur en tube fermé suffit à la distinguer du réalgar et du cinabre.

Kaïnite

C'est le sulfate double hydraté : $MgSO^4.KCl + 3aq$.

Clinorhombique ; ses cristaux sont aplatis parallèlement à la base, avec clivages h^1 et g^1 ; mais, le plus souvent, elle constitue des masses cristallines ou grenues. Optiquement négative.

$$\gamma = 1{,}516 \qquad \beta = 1{,}505 \qquad \alpha = 1{,}494$$
$$2V = 85° \qquad B = 22$$

Blanche ou incolore, parfois rouge ; éclat vitreux.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 2.

Non déliquescente. Soluble dans l'eau.

La kaïnite est activement exploitée dans les dépôts salifères de Stassfurt, de la Galicie et de la haute Alsace.

Car. dist. — Voir sel gemme.

---

(1) Le nom vient de *crocon* « safran ».
(2) Dédiée au chimiste Vauquelin.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Leadhillite

La formule de ce minéral est : $PbSO^4.2PbCO^3.Pb(OH)^2$.

Clinorhombique avec $mm = 120°34'$, $ph^1 = 89°32'$, $pm = 89°46'$; le clivage p est parfait. Les cristaux sont aplatis parallèlement au clivage.

Dureté : 2,5. Densité : 6,25 à 6,44.

Le plan des axes est parallèle à h^1 et la bissectrice, *positive*, est normale au clivage facile ; $n = 2,0$. — $2E = 21°$ environ.

Blanche, jaune ou verdâtre ; éclat résineux,nacré sur le clivage.

Donne un peu d'eau dans le tube ; au chalumeau, se gonfle et fond en une masse jaune qui devient blanche en refroidissant. Donne l'hépar et des globules de plomb sur le charbon. Attaquée avec effervescence par l'acide nitrique en laissant un résidu blanc de $PbSO^4$.

Trouvée d'abord à Leadhills (Ecosse) ; se rencontre avec cérusite dans les gîtes plombifères.

Car. dist. — La leadhillite ressemble à la cérusite, mais son éclat nacré, son clivage perpendiculaire à une bissectrice et la présence du soufre permettent de la distinguer aisément (voir lanarkite).

Lanarkite

La formule est $PbSO^4.PbO$.

Clinorhombique, avec $mm = 81°54'$, $ph^1 = 88°19'$. Le clivage p est parfait. Les cristaux sont toujours très allongés suivant ph^1 et les lames de clivage sont flexibles.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 6,3 à 6,8.

Les lames de clivage montrent le pôle d'un axe optique avec nombreuses courbes d'égal retard ; le plan des axes (g^1) est transversal à l'allongement ; *négative*. $n = 2,0$. — $2E = 105°$.

Blanche ou verdâtre. Eclat résineux, nacré sur p.

Au chalumeau, fond aisément et cristallise en refroidissant. Soluble en partie dans l'acide nitrique, avec résidu de $PbSO^4$.

La lanarkite [1] est un minéral secondaire des gîtes de plomb.

Car. dist. — Les propriétés optiques du clivage permettent de distinguer la lanarkite de la leadhillite.

---

[1] Le nom vient du Comté de Lanark (Ecosse).

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Brochantite

C'est un sulfate basique, de formule : $CuSO^4 + 3Cu(OH)^2$.

Orthorhombique : $mm = 75°28'$; $pa^{\frac{1}{2}} = 51°32'$. Le clivage g^1 est parfait. Les cristaux sont de deux types : allongés verticalement (fig. 592) et portant alors généralement les faces m, g^1, a^1, parfois $a^{\frac{1}{2}}$, ou allongés horizontalement et constitués par le rhomboctaèdre k (fig. 593).

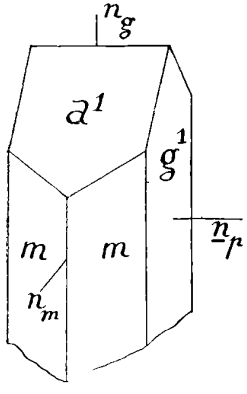


Fig. 592.

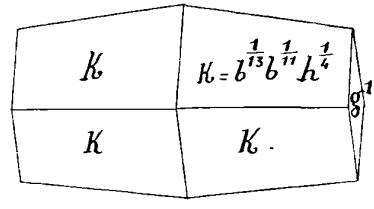


Fig. 593.

Dureté : 3,5 à 4. Densité : 3,91.

Le plan des axes (fig. 592) est parallèle à h^1 et la bissectrice, *négative*, est normale à g^1.

$$\gamma = 1{,}800 \qquad \beta = 1{,}771 \qquad \alpha = 1{,}728$$

$$2V = 77° \qquad 2H = 95° \qquad B = 72 \qquad B(g^1) = 29$$

Verte et pléochroïque dans les teintes vertes. Eclat vitreux.

Dans le tube, donne de l'eau, puis de l'acide sulfurique et noircit. Sur le charbon, donne un globule de cuivre (Voir ci-dessous).

La brochantite [1] se trouve en petits cristaux dans les parties hautes des gisements cuprifères.

Car. dist. — La forme, la couleur, le clivage et les caractères chimiques. La distinction avec l'atacamite et la malachite peut se faire par les caractères suivants.

---

[1] Dédiée à Brochant de Villers, minéralogiste et géologue français.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

	Malachite	*Atacamite*	*Brochantite*
Clivages	Un clivage transversal un peu oblique sur la bissectrice négative. Un clivage suivant l'allongement parallèle au plan des axes et montrant la macle.	Un clivage parallèle à l'allongement et perpendiculaire à la bissectrice négative.	Un clivage parallèle ou transversal à l'allongement et perpendiculaire à la bissectrice négative.
Acide chlorhydrique	soluble avec effervescence	soluble sans effervescence	soluble sans effervescence
En tube fermé	donne de l'eau et noircit	donne de l'eau et un sublimé gris	donne de l'eau, puis H^2SO^4 et noircit
Ammoniaque	soluble	insoluble	soluble
Au chalumeau	colore la flamme en vert émeraude	fusible et colore la flamme en bleu.	colore la flamme en blanc bordé de vert.

Linarite

La formule de ce minéral est : $PbSO^4 + Cu(OH)^2$.

Clinorhombique : $mm = 61°41'$ $ph^1 = 77°13'$. Clivage h^1 très facile et p facile. Les cristaux sont souvent très aplatis suivant p ou a^1.

Dureté : 2,5. Densité : 5,3 à 5,45.

Le plan des axes est perpendiculaire à g^1 (fig. 594) et la bissectrice, *négative*, fait un angle $\alpha = -10°$.

$\gamma = 1{,}8593$ $\beta = 1{,}8380$ $\alpha = 1{,}8090$

$2V = 80°2'$ $B = 50$ $B(h^1) = 49$ $B(p) = 25$

Couleur bleu d'azur foncé. Pléochroïsme net.

Dans le tube, décrépite et noircit ; fond sur le charbon en donnant des globules métalliques et un enduit plombeux ; avec le borax, sur le charbon, donne des globules de cuivre. Soluble dans l'acide nitrique étendu avec dépôt de $PbSO^4$.

La linarite se trouve dans les gîtes de plomb et cuivre.

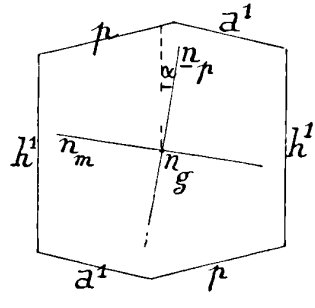


Fig. 594

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Car. dist. — Par sa couleur, la linarite ressemble à l'azurite ; le signe de la bissectrice est différent ; la présence du plomb et l'absence d'effervescence dans l'acide nitrique, sont distinctifs (Voir cornétite).

Kiesérite

C'est le sulfate de magnésie $MgSO^4 + aq$.

La kiesérite est clinorhombique, mais constitue généralement des masses cristallines ou grenues.

Dureté : 3 à 3,5. Densité : 2,569.

$\gamma = 1{,}584$ $\beta = 1{,}533$ $\alpha = 1{,}520$

Optiquement *positive*. Blanche, grise ou jaune.

Donne de l'eau dans le tube. Fusible. Sur le charbon, donne l'hépar. Soluble très lentement dans l'eau. Soluble dans l'acide nitrique.

La kiesérite [1] se trouve à Stassfurt, avec la carnallite et le gypse, en lits alternant avec le sel gemme. Elle est souvent accompagnée de **polyhalite** ($2CaSO^4.MgSO^4.K^2SO^4.2aq$).

Gypse

La formule du gypse est : $CaSO^4 + 2aq$.

Clinorhombique : $mm = 68°30'$ $ph^1 = 66°10'$. Le clivage g^1 est parfait, donnant des lamelles très minces et très brillantes ; le clivage p a un aspect fibreux et serait dû en réalité à un clivage e^1 ; le clivage h^1, d'aspect vitreux, s'obtient aisément par pression.

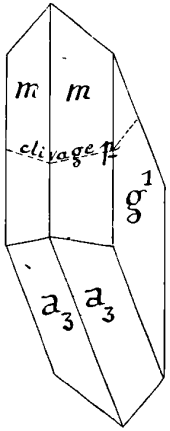


Fig. 595.

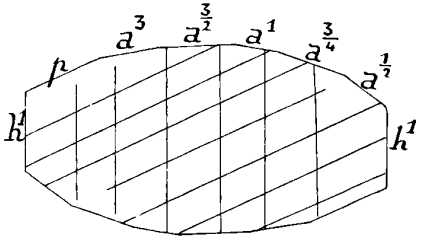


Fig. 596.

[1] Dédiée au professeur Kieser, de Iéna.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La forme ordinaire des cristaux de gypse est représentée sur la figure 595, mais les cristaux présentent fréquemment aussi, d'autres faces modifiantes ; ces cristaux sont parfois très allongés soit suivant l'arête *mm*, soit suivant l'arête a_3a_3. Il arrive également que, entre les faces *m* et a_3, s'établissent une série de faces en zone, donnant lieu à des formes arrondies ; ces cristaux peuvent alors prendre, dans la section g^1, une forme analogue à celle de la figure 596 : on passe ainsi aux *gypses lenticulaires*.

La macle la plus fréquente se fait parallèlement à h^1 (fig. 597) ; les gypses lenticulaires présentent ordinairement une macle parallèle à a^1_2 (fig. 598) ; ces cristaux maclés sont dits *fers de lance*. Les deux macles se distinguent par la position, relativement au plan de macle, des clivages h^1 et *p*, comme l'indiquent les figures.

Le gypse forme aussi des masses laminaires, fibreuses, grenues. La *sélénite* est un gypse laminaire à éclat subnacré ; l'*albâtre* est un gypse finement grenu, blanc, semi-transparent.

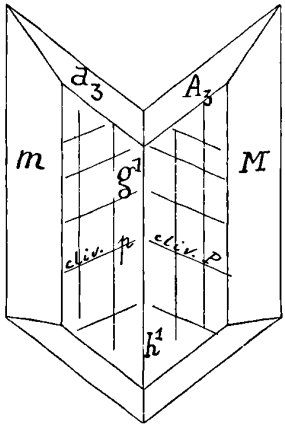


Fig. 597.

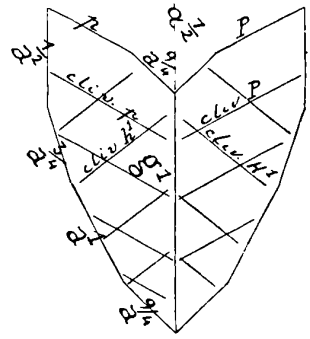


Fig. 598.

Dureté : 1,5 à 2. Densité : 2,314 à 2,328.

Le plan des axes est parallèle à g^1 (fig. 599) et la bissectrice, *positive*, fait, dans g^1, l'angle $\alpha = -52°30'$.

$$\gamma = 1{,}5305 \qquad \beta = 1{,}5229 \qquad \alpha = 1{,}5208$$

$$2V = 58°1'30'' \qquad b = 9 \text{ à } 10.$$

Incolore, gris, jaune. Des inclusions lui donnent des teintes très diverses. Transparent, translucide ou opaque. Eclat vitreux, nacré sur h^1.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Dans le tube, donne de l'eau et devient opaque. Fusible en colorant la flamme en rouge. Sur le charbon, donne un hépar. Très soluble dans l'acide chlorhydrique ; la solution rendue ammoniacale, précipite en blanc avec l'oxalate ammonique.

Le gypse (*pierre à plâtre*) (1) est exploité dans des formations sédimentaires résultant de l'évaporation d'eaux salées ; il y est accompagné, ou non, d'autres sels analogues (sel gemme, carnallite, etc.). Le gypse forme aussi, dans des régions désertiques, des dépôts dus à la cristallisation du minéral amené à la surface par des eaux de profondeur. Le gypse se trouve accidentellement, mais souvent en beaux cristaux, dans les marnes et argiles sédimentaires, ainsi que dans les filons métallifères : il résulte alors de l'action sur des minéraux calciques de l'acide sulfurique produit par l'oxydation de la pyrite.

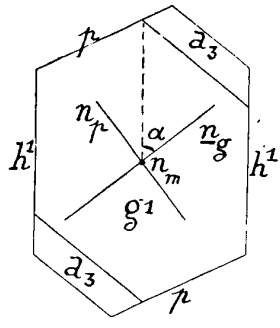


Fig. 599.

Les belles variétés d'albâtre viennent de Toscane. Le gypse se trouve en Belgique dans des argiles crétacées et tertiaires, dans les fentes des schistes houillers et d'ampélite.

Car. dist. — La forme, les macles, les clivages, la dureté, la biréfringence de g^1.

Epsomite

Formule : $MgSO^4 + 7aq$.

Système orthorhombique :

$mm = 90°34'$ $\quad e^1e^1$ sur $p = 120°34'$ $\quad mb^{\frac{1}{2}} = 50°56'\frac{1}{2}$

Cristaux souvent allongés verticalement et montrant l'hémiédrie sphénoïdique (fig. 600). Très fréquemment en aiguilles allongées, soyeuses, accolées ou empilées ; en masses grenues ou stalactiformes.

Clivages g^1 parfait, e^1 facile, m difficile.

Dureté : 2,25. Densité : 1,68.

Incolore ; transparente ou translucide. Eclat soyeux dans la cassure. Saveur amère.

(1) Pour la formation d'un bon plâtre, le gypse ne doit pas être chauffé au-dessus de 400° ; il donne alors un produit hydraté de formule $CaSO^4 + \frac{1}{2}aq$. La déshydratation du gypse donne deux substances, l'une triclinique, l'autre hexagonale, géométriquement orientées sur le gypse.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Plan des axes optiques parallèle à p (fig. 600) ; bissectrice, *négative*, perpendiculaire à g^1.

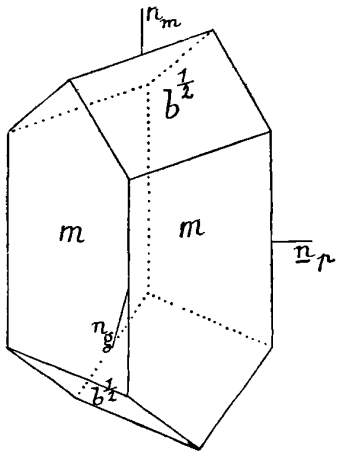


Fig. 600.

$\gamma = 1{,}4608$ $\beta = 1{,}4553$

$\alpha = 1{,}4321$

$B = 28{,}7$ $B(g^1) = 5{,}5$

$B(e^1) = 11{,}3$ $B(m) = 9$

$2V = 51°15'$ $2E = 78°1'$

Polarisation rotatoire lévogyre.

Fond dans son eau de cristallisation : donne de l'eau acide dans le tube ; avec le nitrate de cobalt, donne au chalumeau une coloration rose. Très soluble dans l'eau.

Dans l'air sec, blanchit et devient opaque.

L'epsomite [1] est un produit de dépôts marins et de lacs salins, ainsi que de sources thermales. Se forme accidentellement dans les galeries de mines et sur les planchers et parois de grottes stalactiques.

Mélantérie

Ce minéral, de formule $FeSO^4 + 7aq$, est le produit de la décomposition de la pyrite, de la marcasite et de la chalcopyrite ; il se forme partout où existent ces minéraux ; c'est lui qui donne aux pyrites de fer leur saveur métallique et astringente ; on le trouve en efflorescences et aiguilles clinorhombiques, incolores ou verdâtres. Il est très soluble dans l'eau, ce qui le fait disparaître rapidement des affleurements. La solution précipite en vert par l'ammoniaque et en bleu par le ferrocyanure de potassium.

Chalcanthite (*Cyanose*)

Ce minéral, de formule $CuSO^4.5aq$, résulte de la décomposition des minéraux sulfurés de cuivre ; cristaux d'un beau bleu, clinoédriques, fragiles, solubles dans l'eau, à saveur métallique et désagréable. Se forme dans les parties ouvertes de gîtes sulfurés de cuivre.

---

[1] Trouvée d'abord à Epsom.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Herrengrundite

La formule de ce minéral est :

$$CuSO^4 + CaSO^4 + 3Cu(OH)^2 + 3aq.$$

Clinorhombique avec clivage p parfait, il se présente en lamelles montrant souvent au microscope les macles de l'aragonite.

Dureté : 2,5. Densité : 3,132.

La bissectrice est *négative* et presque normale au clivage micacé ; $2E = 65^o$ à 66°.

$$\gamma = 1,660 \qquad \beta = 1,649 \qquad \alpha = 1,585$$

Verte ou bleue. Eclat nacré sur p.

L'herrengrundite est un produit d'altération qui se rencontre dans les gîtes métallifères.

Noircit sur le charbon. Soluble dans les acides.

Car. dist. — La bissectrice négative la distingue nettement de la chalcophyllite qui est uniaxe.

Alunite

La formule de ce minéral est $K^2SO^4.Al^2(SO^4)^3.2Al^2(OH)^6$, parfois avec un peu de soude.

Rhomboédrique : $pp = 90^o50'$. Les cristaux, rares, sont des rhomboèdres basés, formant des groupements crêtés. Masses lamellaires, compactes, grenues. Clivage a^1 net. Cassure inégale.

Dureté : 3,5 à 4. Fragile. Densité : 2,65.

Uniaxe *positive* :

$$\varepsilon = 1,592 \qquad \omega = 1,572 \qquad B = 20.$$

Blanche, grise, rougeâtre.

Dans le tube fermé, décrépite au rouge sombre et dégage de l'eau acide. Chauffée avec le nitrate de cobalt, reste infusible et se colore en bleu. Soluble dans l'acide sulfurique.

Constitue des veines dans des roches trachytiques ; l'alunite est exploitée surtout à Tolfa (Italie).

Car. dist. — Les propriétés optiques et les essais pyrognostiques : ceux-ci sont distinctifs de la brucite.

Jarosite

C'est un sulfate basique dont la composition est représentée par : $K^2SO^4 + 3FeSO^4 + 6Fe(OH)^2$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Rhomboédrique : $a^1p = 53°20'$. Clivage a^1 distinct. Petits cristaux ayant souvent la forme de la figure 601. Parfois en petites masses compactes.

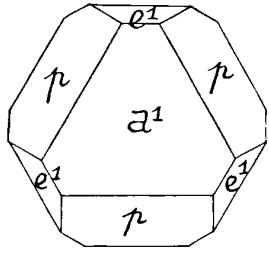


Fig. 601.

Dureté : 3. Densité : 3,15 à 3,29.

$\omega = 1{,}820$ $\varepsilon = 1{,}715$

La jarosite est légèrement biaxe et *négative*.

Jaune, brun de girofle. Eclat vitreux ou terne.

Ne perd son eau qu'à haute température. Après calcination, laisse dissoudre K^2SO^4 dans l'eau. Soluble dans les acides.

Se trouve dans les gîtes métallifères.

Car. dist. — La forme. le clivage et l'apparence optique.

Uranopilite

C'est un sulfate basique d'urane : $(UO^2)SO^4 + 4(UO^2)(OH)^2 + 10aq$.

Clinorhombique mais en aiguilles microcristallines.

Jaune canari avec reflets verdâtres.

Le plan des axes optiques fait un angle de 72° avec la direction d'allongement. Signe positif. Indices compris entre 1,618 et 1,635. — $2V = 52°$.

Très soluble dans les acides. Une goutte de solution chlorhydrique traitée sur un porte objet par une goutte de chlorure calcique donne avec des cristaux de gypse des cristaux isotropes en forme de cubes ou du cuboctaèdres.

Ce minéral a été trouvé dans des gîtes uranifères et notamment à Kasolo (Katanga).

Wolfram

La composition de ce minéral correspond à la formule : $(Fe,Mn)WO^4$. Le rapport FeO : MnO varie ordinairement de 4 à 1, mais il peut aussi varier de 9 à 2/3. Il contient aussi CaO,MgO et souvent Nb^2O^5 ou Ta^2O^5.

Clinorhombique : $mm = 79°23'$, $ph^1 = 89°22'$, $h^1o^2 = 61°54'$. Clivage facile, mais irrégulier suivant g^1. Les cristaux, souvent

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

volumineux, sont aplatis suivant h^1 (fig. 602) avec faces verticales striées verticalement ; ils sont souvent terminés d'un côté de l'axe binaire par une face de clivage. Le wolfram existe aussi en masses laminaires très allongées, dans du quartz, ou en masses grenues.

Dureté : 5 à 5,5. Fragile. Densité : 7,1 à 7,5.

Noir, opaque. Eclat métallique, résineux sur g^1.

Très difficilement fusible au chalumeau en globule cristallin et magnétique. Avec le sel de phosphore, donne au feu de réduction une perle rouge qui devient verte par addition d'étain. Soluble dans l'eau régale avec séparation d'acide tungstique jaune, qui se dissout dans l'ammoniaque. En poudre fine, complètement soluble dans l'acide sulfurique ; l'addition d'eau précipite l'acide tungstique jaune ; s'il y a Nb^2O^5 ou Ta^2O^5, l'eau régale laisse ces corps indissous sous forme floconneuse ; la solution sulfurique traitée à l'ébullition par du zinc se colore en bleu.

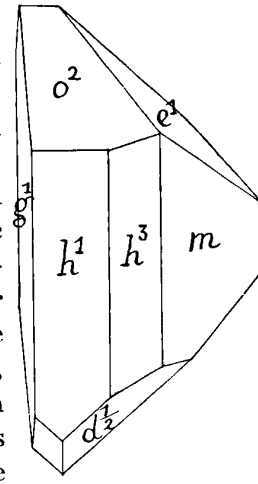


Fig. 602.

Le wolfram, employé en métallurgie, est un minéral des granites et des pegmatites qui se concentre dans des filons quartzeux traversant ces roches ; il accompagne souvent la cassitérite. On le retrouve dans les alluvions.

Car. dist. — La forme, le clivage, la couleur, l'éclat, la densité. Le clivage est distinctif de la columbite, ainsi que l'action de l'eau régale (voir wulfénite).

Schéélite

C'est le tungstate de chaux $CaWO^4$; il renferme souvent MgO, MnO, Ta^2O^5, Nb^2O^5, Fl.

Quadratique parahémiédrique : $a^1a^1 = 79°55'\frac{1}{2}$. Le clivage a^1 est facile ; traces de clivage suivant p. Les cristaux ont la forme de quadroctaèdres (fig. 603) ou celle de tablettes aplaties suivant p (fig. 604). Ils montrent souvent l'hémiédrie (fig. 78). Masses grenues.

Dureté : 4,5 à 5. Fragile. Densité : 5,9 à 6,1.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Uniaxe et *positive.*

$\varepsilon = 1{,}9\overset{34}{\cancel{23}}$ $\qquad\qquad$ $\omega = 1{,}918$

$B = 16$ $\qquad\qquad$ $B(a^1) = 13$

Blanche, jaune, brune, orangée, Transparente ou translucide. Eclat vitreux ou adamantin. Poussière blanche.

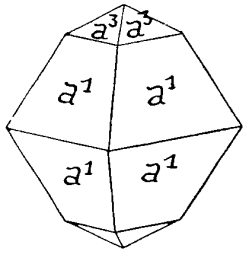


Fig. 603.

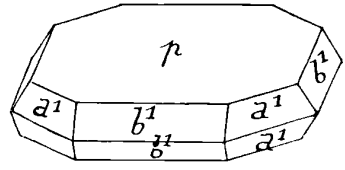


Fig. 604.

Les écailles minces fondent au chalumeau sur le charbon. Une perle de borax, saturée de schéélite,devient blanc de lait et cristalline. Soluble dans les acides nitrique et chlorhydrique avec dépôt d'une poudre jaune soluble dans l'ammoniaque. La solution chlorhydrique, chauffée avec un peu d'étain ou de zinc, devient bleu indigo ; de même la solution sulfurique chauffée avec du zinc.

La schéélite (1) se rencontre surtout dans les filons d'étain et de wolfram, mais on la trouve aussi dans d'autres filons métallifères et dans les roches granitiques ou pegmatitiques.

Car. dist. — La densité, la forme, l'éclat et l'action des acides. (Voir wulfénite).

Stolzite

C'est le tungstate de plomb $PbWO^4$.

Quadratique : $a^1a^1 = 80^\circ 15'$. Les cristaux ont la forme des cristaux de schéélite.

Dureté : 2,75 à 3. Densité : 7,87 à 8,13.

Grise, jaune, brune, rouge. Translucide.

Uniaxe et *négative.*

$\omega = 2{,}269$ $\qquad$ $\varepsilon = 2{,}182$ $\qquad$ $B = 87$

Décrépite au chalumeau et fond en une perle cristalline. Sur le charbon, avec la soude, donne des globules de plomb. Soluble dans l'acide nitrique avec dépôt d'acide tungstique.

(1) Dédiée au chimiste suédois Scheele.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La stolzite (1) se trouve en petits cristaux dans les gîtes métallifères.

Car. dist. — L'action du chalumeau permet aisément de distinguer la stolzite de la schéélite.

Wulfénite (*Mélinose*)

C'est le molybdate de plomb $PbMO^4$.

Quadratique parahémiédrique : $a^1a^1 = 80°22'$. Clivage a^1 assez net. Ordinairement les cristaux ont la forme pb^2 (fig. 605). Parfois ils ont le facies octaédrique. Masses cristallines réticulées, laminaires, grenues et très fragiles.

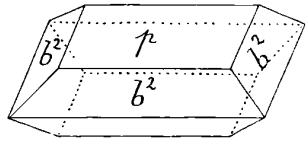


Fig. 605.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 6,7 à 7.

Uniaxe et *négative*.

$\omega = 2{,}402$ $\qquad$ $\varepsilon = 2{,}304$

$B = 98$ $\qquad$ $B(a^1) = 81{,}5$

Jaune de miel (2), grise, verte ou d'un beau rouge vif (3). Pléochroïsme net dans les variétés colorées.

Au chalumeau, décrépite, prend une couleur foncée qui disparaît par refroidissement. Fond sur le charbon en laissant des globules de plomb. Soluble dans l'acide chlorhydrique en une liqueur verte, avec dépôt de chlorure de plomb et d'acide molybdique ; le résidu humecté d'eau et mélangé de zinc, prend une coloration bleu foncé qui ne disparaît pas par addition d'eau. Chauffé avec l'acide sulfurique et l'alcool, prend une belle coloration bleue.

Se trouve dans les gîtes métallifères contenant du plomb.

Car. dist. — La forme différencie la wulfénite de la pyromorphite ; la présence du plomb la distingue de la schéélite (voir p. 668).

---

(1) Dédiée au minéralogiste Stolz.

(2) Le mot *mélinose* vient de *mel* « miel ». Le mot wulfénite vient du nom du minéralogiste autrichien Wulfen.

(3) La couleur rouge est due à du vanadium.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

XII. — SELS ORGANIQUES

Les sels organiques proprement dits que l'on peut classer parmi les espèces minérales sont en très petit nombre. Nous n'en décrirons que deux, la Whewellite et la Mellite. D'autres, dérivés de l'acide oxalique $H^2C^2O^4$, constituent certains éléments du guano (voir p. 654) et se rencontrent aussi accidentellement dans quelques gisements de lignite.

Whewellite

C'est un oxalate hydraté de chaux $CaC^2O^4 + aq$ [1].

Il cristallise dans le système clinorhombique avec $mm = 79°$ et $pd^{\frac{1}{2}} = 53°51'$. Les clivages m et a^1 sont distincts (ma^1 50°40').

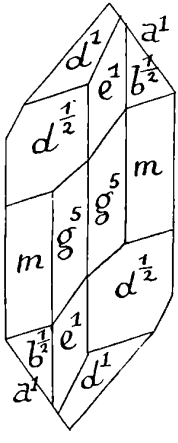


Fig. 606.

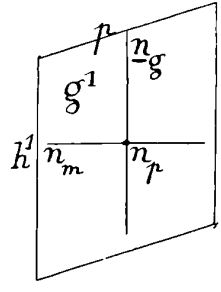


Fig. 607.

Les cristaux sont ordinairement allongés verticalement avec formes g^m, d^m et e_m (fig. 606).

Dureté : 2,5. Très fragile. Densité : 2,46.

---

(1) On rencontre dans les tissus végétaux des cristaux quadratiques, d'un oxalate de chaux $Ca\ C^2O^4 + 3aq$.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Le plan des axes optiques (fig. 607) est perpendiculaire à g^1 et la bissectrice, *positive*, est verticale :

$\gamma = 1{,}6497$ $\beta = 1{,}5552$ $\alpha = 1{,}4900$

$2V = 84^o$ $B = 159{,}7$ $B(m) = 122$ $B(a^1) = 31$.

Incolore, blanche ; transparente ou translucide. Eclat un peu gras, nacré sur g^1.

Au feu, dégage $CO^2 + H^2O$, ne laissant que 38% de CaO. Soluble sans effervescence dans l'acide chlorhydrique. Soluble dans l'acide sulfurique avec dégagement impétueux de gaz.

Ce minéral ne s'était rencontré que dans quelques gîtes de lignite ; il a été retrouvé dans des filons de cuivre de St-Sylvestre (Alsace).

Car. dist. — La dissolution sans effervescence dans l'acide chlorhydrique distingue la whewellite des carbonates. La très forte perte au feu est distinctive des autres minéraux.

Mellite

C'est un mellate d'alumine, dérivant de l'acide mellique, $C^6(CO^2H)^6$; sa formule est : $C^6(CO^2)^6Al^2 + 18aq$.

Quadratique ; généralement en quadroctaèdres a^1 (fig. 608) avec a^1a^1 (sur p) = 93°6'. Le clivage a^1 est imparfait. Cassure conchoïdale. Rarement en masses grenues.

Dureté : 2 à 2,25. Sectile.
Densité : 1,63 à 1,65.

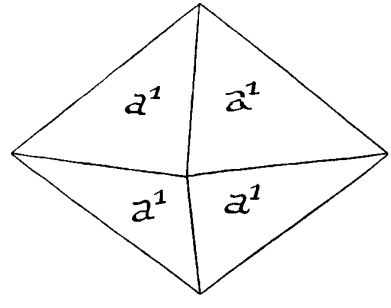


Fig. 608.

Uniaxe et *négative* :

$\omega = 1{,}5393$ $\varepsilon = 1{,}5110$

$B = 28$ $B(a^1) = 1{,}35$.

Jaune de miel, rougeâtre ou brune. Pléochroïsme net dans les teintes jaunes. Eclat résineux.

Au chalumeau, sans brûler laisse de l'alumine blanche (qui se colore en bleu par le nitrate de cobalt). Donne de l'eau dans le tube. Décomposée par l'eau bouillante. Soluble dans l'acide nitrique.

La mellite se rencontre dans les gisements de combustibles minéraux.

Car. dist. — La forme, la sectilité, la faible densité et l'action du chalumeau.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

XIII. — COMPOSÉS HYDROCARBONÉS

On distinguera parmi ces minéraux :

1° Les *hydrocarbures* qui peuvent être cristallins comme la hatchettine, ou non cristallins comme l'asphalte, et même liquides comme le pétrole ;

2° Les *hydrocarbures oxygénés* qui se divisent en trois groupes :

a) Les *succinites* qui, par distillation en tube fermé, donnent de l'acide succinique $C^4H^6O^4$ se sublimant, dans les parties froides du tube (1), en petites aiguilles blanches, orthorhombiques, très biréfringentes ;

b) Les *résinites* qui ne donnent pas d'acide succinique par distillation ;

c) Les *combustibles fossiles.*

Les compositions de nombre de ces minéraux sont très variables et souvent encore incertaines. Au point de vue minéralogique, nous nous bornerons à y distinguer :

parmi les hydrocarbures, les *cires fossiles*, les *pétroles* et les *asphaltes* ;

parmi les hydrocarbures oxygénés, les *résines fossiles*, qui sont souvent des mélanges de succinites et résinites, et les *combustibles minéraux.*

CIRES FOSSILES

Les cires fossiles sont généralement cristallisées ; elles proviennent d'arbres résineux enfouis dans des tourbières, ou dans des formations lignitifères ou houillères.

Hatchettine

La composition centésimale de la hatchettine varie d'après ses gisements et paraît se rapporter à un mélange de carbures C^nH^{2n+2}. Ce minéral se présente en masses ou lames enchevêtrées, ressemblant à la cire, plastiques, transparentes en lames minces, jaunâtres, verdâtres ou brunes, de densité (après fusion) variable de 0,9 à 0,98, fusibles de 46° à 77° (suivant les gisements).

---

(1) Il est bon de recevoir le produit de sublimation dans un second tube, plus froid que le premier

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les lamelles de hatchettine examinées au microscope montrent une bissectrice positive avec $2E = 10^o$ environ. Après fusion sur le porte-objet, une lamelle cristallise par refroidissement et prend une structure maillée (fig. 609*a*) à peu près rectangulaire.

La hatchettine est soluble dans l'éther, la benzine et l'essence de thérébentine.

On la trouve dans des cavités de roches sédimentaires : en Belgique, dans des schistes et grès houillers du bassin de Liége.

Ozocérite

La composition de ce minéral peut être représentée par $C^{2n}H^{2n+2}$.

C'est une substance tendre et flexible, se pétrissant entre les doigts lorsqu'on l'échauffe un peu ; sa couleur est verte, brune ou noire par réflexion, jaunâtre ou rougeâtre par transparence ; elle dégage par le frottement une odeur aromatique et bitumineuse, sa densité varie de 0,85 à 0,90.

L'ozocérite fond entre 56° et 63° et elle brûle avec une flamme éclairante faiblement fuligineuse.

Après fusion sur un porte-objet, elle montre au microscope une structure fibroradiée (fig. 609*b*).

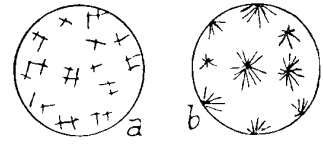


Fig. 609.

L'ozocérite est soluble dans l'essence de thérébentine et dans le naphte ; elle est plus ou moins soluble dans l'éther.

L'ozocérite se trouve en masses souvent volumineuses dans les couches sédimentaires ; on l'extrait de grès bitumineux en Moldavie, où on l'emploie pour l'éclairage.

Pétroles

La composition des pétroles est très variable ; on peut y distinguer trois types :

1° type de Pensylvanie : pétroles constitués surtout par des carbures C^nH^{2n+2}, accompagnés aussi de carbures non saturés C^nH^{2n} et des carbures cycliques C^nH^{2n-2} ;

2° type du Caucase : pétroles constitués surtout par des carbures C^nH^{2n} ;

3° type de Galicie : mélange des types précédents.

Les pétroles sont constitués par des mélanges d'huiles lourdes et d'huiles légères possédant des points d'ébullition différents. Les huiles lourdes s'enflamment difficilement et brûlent avec une

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

odeur bitumineuse ; les huiles légères, parmi lesquelles est le *naphte*, s'enflamment très facilement et brûlent avec une flamme fuligineuse.

Par distillation, les huiles brutes donnent successivement, entre 45° et 70° des éthers de pétrole, entre 70° et 120° des essences minérales, entre 120° et 280° des huiles lampantes (qui doivent être raffinées) et ensuite des huiles lourdes (*mazouts*) et de la paraffine ; comme résidus, on obtient du goudron, du coke de pétrole et de la vaseline.

Les pétroles bruts sont des liquides plus ou moins fluides, à odeur désagréable et caractéristique, de couleur variant du jaune au noir, présentant souvent une fluorescence verdâtre ou bleuâtre. Leur densité varie de 0,6 à 0,9. Leur puissance calorifique oscille entre 9.600 et 11.100 calories ; celle des *mazouts*, ou résidus de la distillation, atteint 11.000 calories.

Les pétroles forment des accumulations en nappes qui se trouvent souvent à grandes profondeurs et que l'on extrait au moyen de sondages qui peuvent être jaillissants. Les sources thermales amènent parfois du pétrole et les couches sédimentaires offrent aussi des suintements de ces huiles.

Les *schistes bitumineux* sont des schistes imprégnés d'hydrocarbures et qui, à la distillation, donnent des huiles dont la quantité varie de 11 à 25% et même à 56% du poids de la roche. Ils forment des masses noires, clivables et à odeur caractéristique ; leur poussière est brune ; leur densité est voisine de 2. Ils montrent souvent des restes et des traces d'animaux (poissons) et peuvent être imprégnés de substances métallifères : les schistes bitumineux du Mansfeld sont imprégnés de chalcopyrite ; il en existe dans la région de Stanleyville (Congo Belge). Les dépôts de cinabre sont presque toujours liés à ce genre de schistes.

Asphaltes

Les asphaltes ont des compositions très variables, analogues à celles des pétroles, mais fréquemment oxygénées et azotées : ce sont des produits d'oxydation des pétroles.

Les asphaltes sont solides, amorphes, noirs ou bruns, fondant entre 90° et 100°, à odeur bitumineuse, de densité inférieure à 1, de dureté 2, s'enflammant facilement et brûlant avec une flamme fortement fuligineuse.

L'asphalte forme des masses flottantes à la surface de la Mer Morte (*bitume de Judée*) ; on le trouve en nodules dans les filons

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

et il imprègne certaines roches sédimentaires. Les asphaltes exploités industriellement sont en réalité des *calcaires asphaltiques* : ce sont des calcaires dont les grains de calcite sont enrobés par le bitume et qui forment des roches brunes, tendres, s'écrasant facilement, tombant en poussière par exposition au soleil et s'agglomérant sous pression.

Les *pisasphaltes* ont une composition intermédiaire entre celles des pétroles et des asphaltes. Ils sont noirs, poisseux et s'étalent sous une faible élévation de température.

L'*élatérite* est un mélange de carbures d'hydrogène auxquels se joignent certaines substances oxygénées. On l'appelle aussi *bitume élastique* ou *caoutchouc minéral*, parce qu'il constitue des masses molles, adhérant aux doigts ; brunes ou noires, ces masses ont une densité variant de 0,91 à 1,23 ; leur odeur est bitumineuse ; elles brûlent avec une flamme fuligineuse éclairante et donnent, à la distillation, de l'eau, une huile ressemblant au pétrole et une matière brune et visqueuse.

Résines Fossiles

Les résines fossiles ou minérales sont le produit de végétaux divers ; leur composition varie d'après les conditions dans lesquelles elles ont été conservées. Ce sont des hydrocarbures oxygénés ; elles contiennent souvent du soufre ; elles peuvent être constituées par des mélanges de succinites et de résinites (voir p. 691). Leur dureté varie de 2 à 2,5, leur densité de 1,050 à 1,112 ; elles sont fragiles, à cassure conchoïdale, monoréfringentes avec $N = 1{,}53$ environ, jaunes, brunes ou rougeâtres, transparentes ou translucides, devenant opaques par altération, plus ou moins solubles dans l'alcool ; elles s'électrisent négativement par friction.

Elles renferment parfois des insectes divers englobés lors de leur formation.

Les résines se trouvent dans des dépôts sédimentaires très divers.

L'*ambre* ou *succin* $C^{10}H^{16}O$, est une succinite dont 30% est soluble dans l'alcool ; on la trouve principalement dans des sables glauconifères de la côte allemande de la Baltique ; elle est exploitée pour la fabrication d'articles de fumeurs, de colliers, etc.

La *rétinite*, fréquente dans les gisements de lignite, contient peu d'acide succinique.

L'*ambrite*, jaune rougeâtre, se trouve en masses souvent volumineuses dans la Nouvelle Zélande.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

La *copaline* se trouve en nodules jaunes dans l'argile bleue de Londres.

Le *copal*, activement exploité dans le Congo Belge pour la fabrication des vernis et qui fond en-dessous de 140°, est une résine subfossile provenant d'espèces végétales vivant encore aujourd'hui.

En Belgique, diverses espèces de résines ont été trouvées dans les argiles tertiaires.

COMBUSTIBLES FOSSILES

Les combustibles fossiles forment une série continue s'étendant de l'anthracite à la tourbe. Ils se distinguent surtout par leur teneur en carbone et en matières volatiles, dont dépend leur valeur économique. Ils sont tous complètement solubles, en dessous de 100°, dans un mélange d'acide nitrique et de chlorate de potasse.

Anthracite

La tableau de la page 697 donne la composition chimique de l'anthracite.

Dureté : 2 à 2,5. Densité : 1,2 à 1,75.

L'anthracite a une cassure conchoïdale, un éclat résineux, une couleur noir d'encre de Chine.

Infusible au chalumeau. Brûle très difficilement avec une flamme courte. Dans le tube, dégage très peu d'eau et un peu d'huiles volatiles. Ne colore pas une solution de potasse.

L'anthracite constitue des dépôts sédimentaires, spécialement dans l'étage carbonifère, mais également dans d'autres étages géologiques. On le trouve aussi dans des filons de calcite, soit en nodules arrondis très brillants, soit, comme à Visé, en longs bâtonnets cylindriques à structure spiraloïde.

Houilles

Les houilles sont des mélanges de carbures d'hydrogène, oxygénés ou hydratés, renfermant aussi un peu d'azote. Elles sont d'origine végétale, étant dues à l'accumulation de feuilles, d'écorces et autres débris, qui ont subi une carbonisation naturelle conduisant au mélange complexe d'hydrocarbures qui les constitue. Elles renferment des substances étrangères, dues principalement à un mélange avec les roches encaissantes, et qui, lors de leur combustion, constitue les cendres.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Les houilles sont noires, à éclat résineux ou vitreux ; leur densité varie de 1,2 à 1,4 ; elles sont stratifiées et peuvent se diviser en feuillets ou lames parallèles à la stratification, et aussi dans des directions plus ou moins perpendiculaires, qui permet d'en tirer des solides parallélépipédiques.

Les houilles ne colorent pas une solution de potasse. Chauffées en tube fermé, elles dégagent des vapeurs ammoniacales.

Pratiquement, la valeur économique des houilles est basée sur plusieurs considérations (voir tableau, p. 697). Il convient de citer :

1° la division en fragments plus ou moins gros (gaillettes, menus, tout-venant) ;

2° la teneur en cendres et la nature plus ou moins phosphoreuse de ces cendres ;

3° la température d'inflammation, qui en facilite plus ou moins l'usage ;

4° le pouvoir calorifique industriel, toujours inférieur au pouvoir calorifique théorique déduit de la composition centésimale ;

5° la proportion des matières volatiles qui, produisant une flamme plus ou moins longue, rend l'emploi de la houille approprié à tel ou tel usage ;

6° le pouvoir agglomérant qui fait que, vers 300° ou 400°, les parties fines s'agglomèrent en une masse compacte. C'est cette propriété qui permet la fabrication du *coke* : par la distillation, les matières volatiles étant éliminées, et, avec elles, une certaine partie du carbone, il reste uniquement du carbone et des cendres constituant le coke ; la qualité du coke est d'autant meilleure qu'il est plus compact et plus dur. La faculté de donner du coke de bonne qualité appartient aux houilles se rapprochant d'une teneur en matières volatiles de 23%, correspondant à 87% de carbone fixe (*houilles grasses*) ; les houilles deviennent d'autant plus maigres qu'elles s'écartent de cette teneur dans un sens ou dans l'autre.

La houille, laissée à l'air, absorbe 6 à 8% d'oxygène ; c'est cette propriété qui donne lieu aux incendies spontanés dans les dépôts, les soutes de navires, etc.

Les houilles forment des dépôts sédimentaires, généralement peu puissants mais souvent en nombre considérable, alternant, dans nos régions, avec des grès et des schistes. Les dépôts les plus importants se trouvent dans les assises carbonifères, mais ces combustibles existent également dans les assises permiennes, triasiques, jurassiques et crétacées.

Le *fusain* est une substance tendre, pulvérulente, tachant les

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Déduction faite des cendres, des pyrites et de l'humidité.	C %	H %	O + N %	Coke %	Matières volatiles %	Densité	Pouvoir calorifique industriel (calories)	Température d'inflammation	Nature du coke	Emplois	Dénominations usitées en Belgique
Anthracites	96 à 93	2 à 4	2 à 3	92 à 90	8 à 10	1,4	8200	800°	Pulvérulent, décrépite souvent	charbon à poêle	charbons durs ou de Charleroi
Houilles maigres anthraciteuses H. à courte flamme	93 à 90	4 à 4,5	3 à 5,5	90 à 82	10 à 18	1,4 à 1,35	8600	600°	légèrement fritté souvent pulvérulent	charbon à poêle	
Houilles grasses à courte flamme Houille collante Coking Coal	91 à 89	4,5 à 5,5	4,5 à 5,5	82 à 74	18 à 26	1,28 à 1,22	8700	600°	fondu et compact	charbon à coke charbon à gaz	
Houille grasse à longue flamme houille à gaz houille maréchale	89 à 90	5,4 à 4,5	5,5 à 15,5	74 à 60	26 à 40	1,25 à 1,20	8600	550°	fondu et plus ou moins boursouflé	charbon à coke charbon à gaz	Flénu gras ou de Mons
Houille maigre à longue flamme houille sèche Splint Coal	80 à 75	4,5 à 5,5	15,5 à 19,5	60 à 45	40 à 45	1,25 à 1,20	8200	500°	coke à peine fritté	charbon à vapeur	Flénus secs
Cannel Coal	85 à 80	8 à 7	7 à 13	60 à 40	40 à 60	1,20	6000	500°	coke non aggloméré	charbon à gaz	
Lignite	75 à 70	5,5	19,5 à 24,5	40	60	1,30 à 0,5	6000	500°	coke non aggloméré	charbon flambant	
Tourbe	60 à 50	6,5	33,5 à 43,5				3000	250°	coke non aggloméré		
Moyenne de 24 analyses de bois	49,31	6,29	44,40					300°			

IRIS LILLIAD - Université Lille 1

doigts et qui se trouve parfois mélangée à la houille. C'est du bois à peine carbonisé.

Le *cannel-coal* est brun, à cassure esquilleuse ; il brûle avec la plus grande facilité en donnant une flamme très éclairante. Il renferme jusque 3% de soufre. On le trouve en Angleterre, en Ecosse, en France et en Espagne. On l'emploie dans la fabrication du gaz de houille. Certains cannel-coals donnent à la distillation jusqu'à 550 litres d'huiles de paraffine par tonne.

Le *boghead* est un combustible contenant de 55 à 60% de matières volatiles, mais très peu de soufre. On peut le considérer, comme un schiste imprégné d'hydrocarbures. Il est noir, lisse, sectile et brûle avec une flamme fuligineuse.

Lignites

Les lignites sont schisteux et friables ; la structure du bois y est mieux conservée que dans la houille. Leur poussière est brune. Ils colorent en brun une solution de potasse et se dissolvent dans l'acide nitrique. A la distillation, ils laissent une sorte de braise qui continue à brûler quand la flamme est éteinte. Chauffés en tube fermé, dégagent des vapeurs à réaction acide.

La *terre d'Ombre* est un lignite terreux, tendre au toucher.

Le *jais* ou *jayet*, employé dans la bijouterie, est un lignite noir, brillant, de densité 1,26.

Les lignites se trouvent dans les assises secondaires.

Tourbes

La tourbe se forme encore actuellement dans des climats froids et tempérés par la transformation de la cellulose de certaines espèces végétales (mousses, bruyères, etc.) plus ou moins submergées ; elle se forme rapidement : 0,30 m. à 1, 20 m. par siècle.

Les *tourbières des pentes* ou *hautes tourbières* se développent grâce au pouvoir d'aspiration des mousses, qui détermine une ascension d'eau dans ces plantes et leur permet de continuer à croître par le haut. Les *tourbières des vallées* ou *basses tourbières* se forment dans des marais où l'eau se renouvelle.

L'eau des tourbières est colorée en brun.

Les tourbes sont brunes ou noires, spongieuses et légères. On les brûle directement ou on les transforme en coke. On les emploie aussi comme matière absorbante (litière, etc.).

La *dopplérite* est une variété de tourbe brune et élastique, de densité 1,089, quand elle est humide ; desséchée à l'air, elle devient noire et brillante, de dureté supérieure à 2, de densité 1,466.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE I

Liste alphabétique des corps simples, avec poids atomiques

Actinium	Ac	227	molybdène	Mo	96
aluminium	Al	27	*néodyme*	Nd	144
antimoine	Sb	120	*néon*	Ne	20
argent	Ag	108	nickel	Ni	59
argon	A	40	niobium	Nb	93,5
arsenic	As	75	*niton*	Nt	222
azote	N	14	or	Au	197
baryum	Ba	137	osmium	Os	191
bismuth	Bi	208	oxygène	O	16
bore	Bo	11	*palladium*	Pd	106,5
brome	Br	80	phosphore	P	31
cadmium	Cd	112,5	platine	Pt	195
caesium	Cs	133	plomb	Pb	207
calcium	Ca	40	polonium	Po	210
carbone	C	12	potassium	K	39
celtium	Ct	178	*praséodyme*	Pr	140,5
cérium	Ce	140	*radium*	Ra	226
chlore	Cl	35,5	radon	Em	222
chrome	Cr	52	*rhodium*	Rh	103
cobalt	Co	59	*rubidium*	Rb	85,5
cuivre	Cu	63,5	*ruthénium*	Ru	102
dysprosium	Dy	162,5	*samarium*	Sa	150
erbium	Er	167,5	*scandium*	Sc	45
étain	Sn	119	*selenium*	Se	79
fer	Fe	56	silicium	Si	28
fluor	Fl	19	sodium	Na	23
gadolinium	Gd	157	soufre	S	32
gallium	Ga	70	strontium	Sr	87,5
germanium	Ge	72,5	tantalum	Ta	181,5
glucinium	Gl	9	tellure	Te	127,5
hélium	He	4	*terbium*	Tb	159
holmium	Ho	163,5	*thallium*	Tl	204
hydrogène	H	1	thorium	Th	232
indium	In	115	titane	Ti	48
iode	I	127	tungstène	W	184
iridium	Ir	193	uranium	Ur	238,5
krypton	Kr	83	vanadium	Va	51
lanthane	La	139	*xénon*	X	130
lithium	Li	7	*ytterbium*	Yt	173,5
lutécium	Lu	175	yttrium	Y	80
magnésium	Mg	24	zinc	Zn	65,5
manganèse	Mn	55	zirconium	Zr	92
mercure	Hg	200,5			

Remarque. Les éléments imprimés en *italique* sont très rares dans les espèces minérales.

Poids moléculaires usuels

Al^2O^3—102	CoO—75	MgO—40	SiO^2 60
As^2O^5—230	CuO—80	MnO—71	SO^3 80
BaO—153	Fe^2O^3—160	Na^2O—62	TiO^2 80
CaO—56	FeO—72	NiO—75	ZnO 81
CO^2—44	H^2O—18	P^2O^5—142	
	K^2O—94	PbO 223	

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE II

donnant, d'après Larsen, les énergies réfractives spécifiques (voir n° 169) des principaux constituants des minéraux.

Al^2O^3	0,214	MnO	0,191
As^2O^3	0,225	Mn^2O^3	0,300
BaO	0,127	Na^2O	0,181
Bo^2O^3	0,220	NiO	0,184
CaO	0,225	N^2O^5	0,240
Ce^2O^3	0,160	PbO	0,137
Cl	0,303	P^2O^5	0,190
CO^2	0,217	Sb^2O^3	0,232
CoO	0,184	SiO^2	0,207
Cr^2O^3	0,270	SO^3	0,177
CuO	0,191	SrO	0,143
FeO	0,187	ThO^2	0,120
Fe^2O^3	0,308	TiO^2	0,397
Fl	0,043	UO^3	0,134
GlO	0,238	Va^2O^5	0,430
H^2O	0,340	WO^3	0,133
K^2O	0,189	ZnO	0,153
MgO	0,200	ZrO^2	0,201

Exemple : Recherche de l'indice médian de l'*orthose* :

	Comp. cent.	$\frac{Kp}{100}$
Al^2O^3	18,4	0,039
K^2O	16,9	0,032
SiO^2	64,7	0,134
	100,0	0,205

$$\frac{0,205}{} = \frac{n-1}{d}$$

$$d = 2,57$$

$$n = 1,527$$

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE III

Minéraux classés suivant leurs densités

1,03	copaline	2,46	whewellite	2,90	carpholite
1,07	élatérite	2,47	harmotome	2,90	biotite
	succinite		leucite	2,93	anhydrite
1,48	sassolite	2,50	hauyne	2,94	muscovite
1,55	thermonatrite		glauconie	2,95	aragonite
1,60	carnallite	2,55	néphéline		boracite
1,64	mellite		bauxite		pharmacosidérite
1,65	béchilite	2,56	serpentine	2,98	érythrine
	hayésine		microcline	3,00	phénacite
	ulexite		orthose		trémolite
1,68	epsomite	2,57	marialite		mélilite
	struvite		kiesérite	3,01	cryolite
1,70	borax	2,58	anorthose	3,06	zinnwaldite
1,87	allophane	2,62	kaolin		magnésite
1,89	mélantérite		calcédoine	3,10	amblygonite
2,00	kaïnite		cordiérite		lazulite
	sépiolite		mizzonite		euclase
	richellite	2,63	vivianite		annabergite
2,04	diadochite		élaéolite		actinote
2,07	soufre	2,64	albite	3,12	fluorine
2,10	destinézite	2,65	quartz		ludlamite
	halloysite	2,66	alunite		autunite
2,12	chabasie	2,68	oligoclase	3,13	herrengrundite
	trona		andésine	3,14	tourmalines
2,13	kaïnite		thénardite	3,15	hornblende
	nitre	2,69	béryl	3,16	spodumène
2,15	opale	2,70	talc	3,18	andalousite
2,16	graphite		stéatite	3,19	LIQUEUR DE THOULET
	stilbite		scapolite		
2,20	heulandite		chalcophyllite	3,20	enstatite
	phillipsite	2,71	labrador		bronzite
2,21	chrysocole	2,72	meionite		hyperstène
2,23	mésotypes		calcite		jarosite
2,25	halite		pennine		apatite
	noséane		pectolite	3,27	diallage
	sodalite	2,73	clinochlore	3,28	LIQUEUR DE KLEIN
2,26	nitratine	2,75	hopéite		
	analcime	2,76	anorthite	3,29	axinite
2,27	saponite		glaubérite		carbonado
2,30	glauconie	2,80	turquoise		diopside
	koninckite	2,82	phlogopite		saléite
	tridymite	2,85	dolomite	3,30	hédenbergite
2,32	gypse		lépidolite		augite
2,33	wavellite		wollastonite		ottrélite
2,35	apophyllite	2,87	pyrophillite		épidote
	cacoxène		prehnite	3,31	dufrénite
	thomsonite		prochlorite	3,32	dioptase
2,39	brucite	2,88	scorodite	3,33	olivine
2,42	colemanite	2,90	BROMOFORME		IODURE DE MÉTHYLÈNE

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

3,35	astrophyllite		psilomélane	5,68	arsenic
	planchéite		pseudomalachite		zincite
3,38	cacoxène		clinoclase	5,80	bournonite
3,40	diaspore		chalcopyrite		fergusonite
	jadéite	4,22	rutile		microlite
	idocrase		gadolinite	5,85	pyrargyrite
3,42	ouwarowite	4,28	pyrochlore	5,90	descloizite
3,44	uranopilite	4,30	withérite	5,95	glaucodot
3,45	orpiment		olivénite		vauquelinite
	calamine		gahnite	6,00	cuprite
	hyperstène		manganite		crocoïse
3,50	uranite	4,35	adamine		schéélite
	sphène	4,36	parisite	6,05	mispickel
	grossulaire	4,40	stannite	6,10	eulytine
	bort		fayalite	6,15	cobaltine
3,52	diamant	4,41	smithsonite	6,25	anglésite
3,53	diallogite	4,45	chromite		puchérite
	topaze	4,48	barytine		stéphanite
	uranocircite		binnite	6,30	phosgénite
3,54	chloritoïde	4,53	xénotime	6,35	léadhilite
3,55	spinelles	4,55	kermésite		lanarkite
	acmite	4,57	stibine	6,48	calomel
3,56	réalgar	4,60	ilménite	6,51	cérusite
3,59	aurichalcite		covelline	6,69	antimoine
3,60	dewalquite	4,61	pyrrhotine	6,80	pyromorphite
3,62	cyanite	4,67	boléite	6,83	vanadinite
3,63	LIQUEUR DE		pseudoboléite	6,85	wulfénite
	RETGERS	4,69	zircon	6,95	vanadinite
3,65	hydrozincite	4,70	thorite	6,95	cassitérite
	bénitoïte	4,75	molybdénite	7,02	nadorite
3,67	chrysobéryl	4,79	braunite		nagyagite
3,69	strontianite		hausmanite	7,12	mimétite
3,70	libéthénite		pyrolusite	7,21	mathlockite
	staurolite	4,80	euxénite	7,28	argyrose
3,72	pyrope	4,84	fers titanés	7,35	wolfram
3,76	atacamite	4,88	marcasite	7,40	tantalite
3,80	limonite	4,90	hatchettolite	7,49	nickéline
	azurite		linnéite	7,50	galène
3,86	sidérite	4,93	aeschynite	7,54	breithauptite
3,88	anatase	5,03	pyrite	7,55	fer
3,90	mélanite	5,05	cumengéite	7,80	thoreaulite
	spinelles	5,10	hématite	7,90	tapiolite
3,91	brochantite		tétraédrite	8,00	stolzite
3,94	brookite		monazite	8,10	cinabre
3,96	malachite	5,15	franklinite		sylvanite
	célestine	5,17	magnétite	8,60	hessite
4,00	goethite	5,20	bornite	8,84	cuivre
	spessartine	5,25	cérargyrite	8,85	petzite
	willémite		senarmontite	9,32	thorianite
4,03	pérovskite	5,30	baddeleyite	9,35	uraninite
	ilvaïte		columbite	9,60	dyscrasite
	corindon		zinckénite	9,75	bismuth
4,05	gummite	5,39	linarite	10,60	argent
4,06	blende	5,48	millérite	13,60	mercure
4,10	betafite	5,57	proustite	17,00	platine
4,13	tarbuttite		valentinite	19,00	or
4,20	almandin	5,65	chalcosine	20,00	iridosmine
				23,00	iridium

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE IV

Minéraux classés suivant leurs duretés

1.	béchilite		mellite		chrysocole
	carnallite		pennine		cumengéite
	graphite		pyrolusite		destinézite
	hayésine		senarmontite		jarosite
	nagyagite		sépiolite		olivénite
	sassoline		uranite		pricéite
	talc				pseudoboléite
	ulexite	2,5	brucite		stolzite
			chrysotile		wulfénite
1,25	cérargyrite		crocoïse		
	kermésite		cryolite	3,25	anhydrite
	molybdénite		galène		antimoine
	thermonatrite		herrengrundite		atacamite
			hopéite		célestine
1,5	halloysite		léadhilite		cérusite
	prochlorite		linarite		kiésérite
	pyrophyllite		pharmacosidérite		zinckénite
			pyrargyrite		
1,75	covelline		richellite	3,5	adamine
	nitratine		saléite		antigorite
	orpiment		stéphanite		arsenic
	réalgar		thénardite		descloizite
	sylvanite		valentinite		koninckite
	vivianite		whewellite		ludlamite
			anglésite		millérite
2	annabergite	2,75	argent		withérite
	aurichalcite		binnite	3,75	alunite
	chalcophyllite		boulangérite		aragonite
	érythrine		bournonite		azurite
	glauconie		chalcosine		blende
	gypse		clinoclase		brochantite
	nitre		cuivre		cacoxène
	proustite		glaubérite		chalcopyrite
	sel gemme		hessite		cuprite
	soufre		jamesonite		dolomite
	stibine		kaïnite		dufrénite
	struvite		mathlockite		dyscrasite
			micas		heulandite
2,25	argyrose		or		malachite
	autunite		petzite		mimétite
	bismuth		phosgénite		nadorite
	borax		trona		pyromorphite
	cacoxène				scorodite
	cinabre		allophane		sidérite
	clinochlore	3.	astrophyllite		stilbite
	epsomite		barytine		strontianite
	hydrozincite		boléite		tarbuttite
	kaolin		bornite		vanadinite
	lanarkite		**calcite**		wavellite

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

4.	crocidolite		bronzite		microcline
	diallage		chromite		pyrite
	disthène (min).		clévéite		rutile
	fluorine		cobaltine		
	giobertite		cornétite	6,50	axinite
	libéthénite		dipyre		bénitoïte
	manganite		diopside		cassitérite
	parisite		enstatite		chloritoïde
	puchérite		hauyne		dewalquite
	pyrrhotine		hédenbergite		diaspore
	tétraédrite		hornblende		épidote
			hypersthène		fayalite
4,25	colemanite		ilménite		gadolinite
	eulytine		labrador		grossulaire
	phillipsite		lazulite		idocrase
	platine		linnéite		iridosmine
	zincite		marialite		oligoclase
			magnétite		olivine
4,50	chabasie		meionite		ottrélite
	fer		microlite		prehnite
	harmotome		néphéline		triphane
	thorite		noséane		tridymite
	xénotime		pechblende		
			pérovskite	7.	almandin
4,75	apophyllite		planchéite		andalousite
	pseudomalachite		sodalite		baddeleyite
	schéélite		trémolite		boracite
	wollastonite		uraninite		disthène (max.)
			wernérite		jadéite
5.	**apatite**		willémite		**quartz**
	calamine				spessartine
	carpholite	5,75	anatase		
	dioptase		brookite	7,25	cordiérite
	goethite		fergusonite		staurolite
	glaucodot		ilvaïte		tourmalines
	hatchettolite		leucite		
	mélilite		mispickel	7,5	euclase
	pectolite				mélanite
	smithsonite	6.	amblygonite		zircon
			augite		
5,25	analcime		betafite	7,75	béryl
	breithauptite		columbite		phénacite
	datholite		franklinite		
	hausmanite		oligiste	8.	ouwarowite
	lazurite		opale		pyrope
	limonite		**orthose**		spinelles
	mésotypes		tantalite		**topaze**
	monazite		tapiolite		
	nickéline		thoreaulite	8,5	chrysobéryl
	pyrochlore		turquoise		
	sphène			9.	**corindon**
	thomsonite	6,25	acmite		
	wolfram		albite	10.	**diamant**
			anorthite		
5,5	actinote		braunite		
	aeschynite		helvine		
	breithauptite		marcasite		

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE V

Minéraux opaques et isotropes

a) Minéraux opaques

	Couleur en lame mince	Syst. cryst.	Clivages	Dr	Ds	Remarques
graphite	noir	Rh.	a^1	1	2,16	
nagyagite	gris de plomb	Orth.	g^1	1	7,02	
molybdénite	noir	hex.		1,25	4,75	
covellite	bleu	hex.		1,75	4,6	
sylvanite	gris	Clin.		1,75	8,1	
stibine	gris	Orth.	g^1	2	4,57	
proustite	rouge	Rh.		2	5,57	transpar. en lame mince
argyrose	gris de plomb	Cub.	a^1, b^1	2,25	7,28	sectile
pyrolusite	noir	Orth.		2,25	4,79	
galène	noir	Cub.	p	2,5	7,5	
pyrargyrite	rouge	Rh.		2,5	5,85	transpar. en lame mince
stéphanite	noir	Orth.		2,5	6,25	
argent	blanc	Cub.		2,75	10,60	noircit à l'air
or	jaune	Cub.		2,75	19	vert en lame extrᵗ mince
cuivre	rouge	Cub.		2,75	8,84	
chalcosine	noir	Orth.		2,75	5,75	sectile
bournonite	gris	Orth.		2,75	5,8	
bornite	rouge de cuivre	Cub.		3	5,20	
millérite	jaune grisâtre	Rh.	p	3,50	5,48	capillaire
arsenic	blanc	Rh.		3,50	5,7	noircit à l'air
chalcopyrite	jaune laiton	Quadr.		3,75	4,2	
manganite	brun	Orth.		4	4,3	
pyrrhotine	jaune bronzé	hex.	p	4	4,61	
tétraédrite	gris	Cub.		4	4,79	
platine	gris	Cub.		4,25	17	
fer	gris	Cub.		4,5	7,55	
glaucodot	blanc d'argent	Orth.	p, m	5	5,95	
breithauptite	brun rouge			5,25	7,54	
nickéline	rouge pâle			5,25	7,49	
limonite	brun jaune			5,25	3,8	
wolfram	noir	Clin.	g^1	5,25	7,35	

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

	Couleur en lame mince	Syst. cryst.	Clivages	Dr	Ds	Remarques
chromite	jaune brunâtre	Cub.		5,5	4,45	parfois transparente
cobaltine	blanc	Cub.	*p*	5,5	6,15	
aeschynite	brun jaunâtre	Cub.		5,5	5,02	
uraninite	brun, vert, noir	Cub.		5,5	9,35	
magnétite	légèrem. brune	Cub.	a^1	5,5	5,17	
ilménite	brunâtre	Rh.		5,5	4,6	
fergusonite	brun pâle	Quadr.		5,75	5,8	
mispickel	blanc à gris	Orth.		5,75	6,05	
ilvaïte	noir	Orth.		5,75	4	légèrement translucide
columbite	brun rouge	Orth.		6	5,3	
tantalite	brun rouge	Orth.		6	7,4	
franklinite	noir	Cub.		6	5,15	
oligiste	rouge	Rh.	a^1	6	5,10	rouge en lame très mince
marcasite	jaune	Orth.		6,25	4,88	
pyrite	jaune	Cub.		6,25	5,03	
iridosmine	gris	Rh.		6,5	20	

b) Minéraux isotropes

	Couleur	*N*	Dr	Ds	
cérargyrite	grise	2,06	1	5,25	
sel gemme	incolore	1,54	2	2,25	
senarmonite	incolore	2,087	2,25	5,25	
cuprite	rouge	2,849	3,75	6,00	*Les noms en italique indiquent les minéraux qui présentent fréquemment des anomalies optiques.*
blende	incolore	2,44	3,75	4,06	
fluorine	inc., violette	1,434	4	3,1	
hatchettolite	jaune, brune	1,98	5	4,9	
pyrochlore	brune	1,96	5,25	4,3	
analcime	incolore	1,487	5,25	2,26	
pérovskite	jaune, brune	2,39	5,5	4,00	
sodalite	incolore	1,485	5,5	2,25	
hauyne	grise, bleue	1,496	5,5	2,50	
noséane	grise, bleue	1,495	5,5	2,25	
microlite	jaune, brune	1,94	5,5	6,1	
leucite	incolore	1,508	5,75	2,47	
opale	incolore	1,37 à 1,56	5,75	2,15	
betafite	noire, brune	1,92	6,00	4,1	
helvine	jaune	1,74	6,25	3,26	
cristobalite	blanche	1,49	6,5	2,34	
gadolinite	verte	1,78	6,5 à 7	4,25	
grenats	inc., roses, verts	1,8	6,5 à 7	3,3 à 4,2	
boracite	incolore	1,67	7,00	6,3	
spinelles	inc. rouges, verts	1,7	8	3,8	
diamant	incolores	2,42	10	3,52	

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE VI

Indices de réfraction des minéraux anisotropes

1,33	nitre–α	1,55	quartz–ε	1,61	ctypéite
1,34	nitratine–ε		andésine		actinote–α
	sassoline–α		néphéline		amph. sodiques–α
1,43	epsomite–α		kaolin		calamine–α
1,45	borax–α		autunite–α		zinnwaldite–β–γ
1,46	sassoline–β–γ		wavellite–γ		biotite–β–γ
	epsomite–β–γ		whewellite–β		tourmaline–ε
1,47	tridymite	1,56	brucite–ω		colemanite–γ
	carnallite		labradorite		anhydrite–γ
	borax–β–γ		muscovite–α	1,62	smithsonite–ω
1,48	phillipsite		zinnwaldite–α		strontianite
	natrolite		biotite–α		wollastonite–α
	thénardite		wernérites		trémolite–β
1,49	calcite–ε	1,57	serpentine		diopside–α
	chabasie		autunite–β		augite–α
	whewellite–α		chalcophyllite–ε		calamine β
1,50	heulandite		saléite		topaze
	stilbite		anhydrite–α		prehnite
	mésolite		alunite–ω		érythrite
	scolésite	1,58	brucite–ε		uranopilite–α
	thomsonite		anorthite	1,63	sidérite–α
	chrysocole		béryl		withérite
	struvite		pennite		wollastonite–β
	ulexite		vivianite–α		pectolite–γ
	hayésine		koninckite		actinote–β
	kaïnite		chalcolite–ε		trémolite γ
1,51	dolomite–ε		autunite–γ		calamine–γ
	giobertite–ε		cacoxène–α		mélilite
	trona		colemanite–α		datholite–α
	orthose		anhydrite–β		carpholite
	leucite		kieserite–γ		lazulite –β
	harmotome		herrengrundite–α		vivianite–γ
	nitre–β–γ	1,59	pectolite–α		chalcopyhllite–ω
	mellite–ε		muscovite–β		sklodovskite
1,52	sépiolite		clinochlore		célestine
	wavellite–α		talc–γ	1,64	wollastonite–γ
	kiesérite–α		pyrophyllite		actinote–γ
1,53	aragonite–α		hopéite		planchéite–α
	albite		vivianite–β		dioptase–ω
	wavellite–β		chalcolite–ω		andalousite
	kiésérite–β		nitratine–ω		lazulite–γ
	gypse		colemanite–β		cacoxène–γ
1,54	quartz–ω	1,60	diallogite–ω		barytine
	oligoclase		pectolite–β		uranopilite–γ
	cordiérite		trémolite–α		aurichalcite α
	néphéline–ε		muscovite–γ	1,65	phénacite–ω
	apophyllite		lépidolite		euclase
	talc–α		prochlorite		datholite–β
	glaubérite		katangite		apatite
	mellite–ω		lazulite–α		ludlamite–α
			turquoise		

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

	destinézite		disthène–β		cérite
	herrengrundite–β		épidote		xénotime–ε
	whewellite–γ		xénotime–ω		becquerélite–β
1,66	calcite–ω		pseudomalach.–α		jarosite–ω
	malachite–α		delvauxine	1,83	atacamite–α
	enstatite		jarosite–ε		olivénite–γ
	diopside–α	1,73	azurite–α		becquerélite–γ
	jadéite		rhodonite–α	1,84	azurite–γ
	triphane–α		disthène–γ		sphène–γ
	olivine–α		ottrélite		linarite–β
	sillimanite–β–α		astrophyllite–γ	1,86	atacamite–β
	euclase–β		brochantite–α		parsonsite
	tarbuttite–α	1,74	aurichalcite–γ		linarite γ
	érythrite–β		augite–γ	1,87	anglésite
	herrengrundite–γ		rhodonite–β	1,88	atacamite–γ
1,67	triphane–β		allanite		sidérite–ω.
	planchéite–β		straurotide		malachite–β
	phénacite–ε		chloritoïde		fayalite
	datholite–γ		adamine–β		sphène–α–β
	érythrite–γ		scorodite–γ–β	1,90	ilvaite
	ludlamite–β		becquerélite–α		dewalquite
1,68	aragonite–β		schoepite–γ		carnotite
	parisite–ω	1,75	chrysobéryl		dumontite
	augite–α		diaspore–γ	1,91	malachite–γ
	triphane–γ		connellite–ε		clinoclase
	olivine–β		buttgenbachite–ε		kasolite–β
	sillimanite–γ		hédenbergite–γ	1,92	zircon–ω
	euclase–γ		rhodonite–γ		fourmariérite
	axinite		shattuckite–α		schéélite
	astrophyllite–α		bénitoïte–ω	1,95	kasolite–γ
1,69	aragonite–α		olivénite–α	1,96	soufre–α
	hyperstène–α		libéthénite–β	1,97	zircon–ω
	willémite–ω	1,76	parisite–ε	1,99	cassitérite–ω
	tourmaline–ω		azurite–β		zircon–ε
	annabergite		diopside–γ	2,01	zincite–ω
	schoepite–α		augite–γ		sphène–γ
1,70	diaspore–α		pseudomalach.–β		léadhilite
	dolomite–ω		dewindtite		lanarkite
	giobertite–ω	1,77	corindon	2,03	zincite–ε
	hyperstène–β		buttgenbachite–ω	2,04	soufre–β
	hédenbergite–α		acmite–α		mathlockite–ε
	olivine–γ		adamine–γ		pyromorphite
	dioptase–ε		scorodite–γ	2,07	cérusite–β
	astrophyllite–β		brochantite–β	2,08	cérusite–γ
	libéthénite–α	1,78	shattuckite–β	2,09	cassitérite–ε
	tarbuttite–β		épidote–γ	2,10	curite
	ludlamite–γ	1,79	olivénite–β	2,11	phosgénite–ω
1,71	hyperstène–γ		libéthénite–γ		fergusonite
	diopside–γ	1,80	cérusite–α		mimétite
	amph. sodiques–γ		acmite–β	2,14	phosgénite–ε
	disthène–α		bénitoïte–ε	2,15	mathlockite–ω
	zoïzite		sphène–α–β	2,18	descloizite–α
	adamine–α		brochantite–γ		stolzite–ε
	tarbuttite–γ	1,81	pseudomalach.–γ	2,20	aeschynite
	schoepite–β		cornétite	2,23	goethite–α
1,72	diaspore–β		linarite–α	2,25	soufre–γ
	connellite–ω	1,82	diallogite–ω		tantalite
	planchéite–γ		smithsonite–ω	2,26	descloizite–β
	willémite–ε		acmite–γ	2,27	tapiolite
	idocrase		shattuckite–γ		stolzite–ω

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

2,30	vanadinite	2,42	tapiolite–ε	2,71	proustite–ε
	nadorite–α	2,45	columbite	2,74	brookite–γ
	wulfénite–ε	2,49	anatase–ε	2,78	oligiste–ε
2,31	crocoïse–α	2,50	puchérite	2,81	orpiment–β
2,35	descloizite–γ	2,54	réalgar–α	2,88	pyrargyrite–ε
	nadorite–β	2,55	anatase–ω	2,90	rutile–ε
2,37	crocoïse–β	2,58	brookite–α–β	3,00	proustite–ω
2,38	thoreaulite	2,62	rutile–ω	3,01	oligiste–ω
2,40	orpiment–α	2,66	crocoïse–γ	3,02	orpiment–γ
	goethite–γ	2,68	réalgar–β	3,08	pyrargyrite–ω
	nadorite–γ	2,70	réalgar–γ		
	wulfénite–ω		kermésite		

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE VII

Biréfringences

Uniaxes positifs

2. apophyllite
3. chabasie
9. quartz
10. thorite
16. phénacite
16. schéélite
20. alunite
21. brucite
21. zincite
22. connellite
26. phosgénite
28. willémite
30. pseudoboléite
44. *zircon*
47. bénitoïte
53. dioptase
62. *zircon*
81. parisite
95. xénotime
97. cassitérite
105. jarosite
115. cumengéite
287. rutile
347. cinabre
683. calomel

Uniaxes négatifs

1. *idocrase*
5. apatite
5. mélilite
5. *béryl*
5. néphéline
6. *idocrase*
8. *béryl*
8. corindon
10. chalcolite
12. marialite
12. pyromorphite
15. buttgenbachite
16. mimétite
17. dipyre
17. *tourmalines*
20. boléite
22. *tourmalines*
28. mellite
30. wernérite
37. meionite
40. *micas*
46. *tourmalines*
55. vanadinite
58. chalcophyllite
60. *micas*
61. anatase
98. wulfénite
102. jarosite
110. mathlockite
115. cumengéite
172. calcite
185. dolomite
191. giobertite
200. smithsonite
203. pyrargyrite
220. diallogite
230. oligiste
242. sidérite
251. nitratine
268. proustite

Biaxes positifs

0,6 mésolite
1. cryolite
2. tridymite
3. prochlorite
4. cérite
5. harmotome
6. zoïzite
7. heulandite
7. andésine
8. labradorite
9. enstatite
9. topaze
9. célestine
9. struvite
9,5. chrysobéryl
10. albite
10. gypse
10. chloritoïde
11. chrysotile
11. clinochlore
11. boracite
12. staurolite
12. natrolite
12. barytine
14. thomsonite
15. ottrélite
16. triphane
16. anglésite
16. dewalquite
18. aurichalcite
19. hédenbergite
19. euclase
20. ctypéite
21. augite
21. sillimanite
22. calamine
25. wavellite
27. scorodite
27. ludlamite
28. colemanite
29. carnallite
29. diopside
29. jadéite
33. prehnite
36. olivine
38. pectolite
44. ludlamite
44. anhydrite
45. monazite
48. diaspore
50. adamine
50. vivianite
55. kasolite
55. astrophyllite
60. shattuckitte
63. kiesérite
65. adamine
72. planchéite
82. olivénite
100. nadorite
108. azurite
121. sphène
150. tapiolite
158. brookite
160. whewellite
290. soufre
350. crocoïse

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Biaxes négatifs

3. pennine
6. stilbite
7. orthose
7. cordiérite
7. microcline
7. scolésite
7. *épidote*
8. oligoclase
8. pholérite
8. pyrophyllite
9. antigorite
10. axinite
10. ottrélite
11. rhodonite
11. andalousite
11. hopéite
12. koninckite
13. anorthite
14. wollastonite
16. disthène
18. ambligonite
20. glauconie
21. glaubérite
24. *hornblende*
24. autunite
25. allanite
25. borax
25. actinote
29. trémolite
29. epsomite
36. lazulite
38. *micas*
44. *micas*
44. datholite
45. schoepite
49. atacamite
50. talc
50. linarite
53. tarbuttite
54. *épidote*
55. cornétite
55. dufrénite
65. annabergite
72. *hornblende*
72. brochantite
73. érythrite
75. herrengrundite
77. pseudomalachite
80. lanarkite
86. pseudomalachite
87. libéthénite
90. aurichalcite
95. becquerélite
100. puchérite
104. thermonatrite
119. sassoline
140. léadhilite
140. clinoclase
148. withérite
151. strontianite
156. aragonite
166. réalgar
170. valentinite
170. descloizite
172. nitre
180. clinoclase
200. malachite
274. cérusite

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE VIII

Apparences optiques des lames de clivage

A. — *Clivage* **perpendiculaire** *à l'axe optique d'un* **uniaxe**

	Signe du minéral	Biréfringence du minéral	Indice ordinaire ω
apophyllite	pos.	2	1,536
apatite	nég.	3	1,664
pennine	pos.	3	1,556
néphéline	nég.	5	1,539
béryl	nég.	5	1,598
corindon	nég.	8	1,768
chalcolite	pos.	10	1,592
chlorite	pos.	14	1,562
willémite	pos.	19	1,691
alunite	pos.	20	1,572
brucite	pos.	20	1,559
zincite	pos.	21	2,013
phosgénite	pos.	26	2,114
micas noirs	nég.	40 à 85	1,6
chalcophyllite	nég.	61	1,618
anatase	nég.	61	2,554
jarosite	nég.	105	1,820
mathlockite	nég.	110	2,15

B. — *Clivage* **oblique** *à l'axe optique d'un* **uniaxe**

	Signe du minéral	Biréfringence du minéral	Biréfringence du clivage	Indice ordinaire ω
corindon	nég.	8	6	1,768
schéélite	pos.	16	13	1,918
dioptase	pos.	53	14	1,655
zircon	pos.	44 à 62	19 à 28	1,926
bénitoïte	pos.	47	20	1,757
anatase	nég.	61	53	2,554
wulfénite	nég.	98	82	2,40
calcite	nég.	172	92	1,658
dolomite	nég.	179	97	1,681
giobertite	nég.	191	98	1,700
smithsonite	nég.	200	102	1,849
pyrargyrite	nég.	203	97	3,084
diallogite	nég.	220	114	1,817
sidérite	nég.	240	128	1,855
proustite	nég.	295	148	2,979

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

C. — Clivage **perpendiculaire** *à la bissectrice aigue d'un* **biaxe**

	biréfr. du cliv.	signe du minéral	biréfr. du minéral	indice moyen	2V	2*e*
talc	1	nég.	50	1,589	6°	9° à 48°
valentinite	1	nég.	170	2,35		0° (Na)
hopéite	1	pos.	10,5	1,592	31°56′	51°47′
tridymite	1	pos.	4	1,473	43°	66°
topaze	1	pos.	8	1,620	61°38′	84° à 124°
dewalquite	1	pos.	20	1,790	36°	0° à 67°
harmotome	2	pos.	5	1,505	43°	67°
autunite	3	nég.	24	1,575	30°	50° à 61°
heulandite	3	pos.	7	1,485	52°	82°
brookite	3	pos.	158	2,586	16°33′	30° (Na)
sassoline	3	nég.	119	1,456	7°	10°
enstatite	3	pos.	8	1,653	71°	
lépidolite	3	nég.	26	1,553	46°	57° à 83°
muscovite	3	nég.	46	1,599	30°	60° à 74°
hyperstène	5	nég.	10	1,678	57°	
érythrite	5	nég.	73	1,661	89°	
thomsonite	5	pos.	15	1,525	48°	82° à 94°
anhydrite	5	pos.	44	1,575	42°	71°
disthène	8	nég.	16	1,720	82°	
léadhillite	10	nég.	140	2,0	10°	25°
prehnite	10	pos.	30	1,625	71°	120 a 142°
becquerélite	10	nég.	95	1,820	30°	56°
goethite	10	nég.	134	2,22		37° (Na)
pyrophyllite	12	nég.	28	1,588	57°	105° a 110°
atacamite	19	nég.	49	1,861	75°	
brochantite	29	nég.	72	1,771	77°	
annabergite	36	nég.	65	1,658	84°	

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

D. — *Clivage* **oblique** *à la bissectrice aigue d'un* **biaxe**

	Indice moyen	Signe	Notation du clivage	Biréfr. du minéral	Biréfr. du clivage
natrolite	1,482	pos.	m	12	10
scolésite	1,519	nég.	m	7	6,5
albite	1,529	pos.	g^1	11	7
glaubérite	1,535	nég.	p	21	1
oligoclase	1,543	nég.	m	8	5
pennine	1,578	nég.	a^1	3	1
clinochlore	1,579	pos.	p	5	3
prochlorite	1,589	pos.	p	11	3
trémolite	1,613 à 1621	nég.	m	29,5	15
célestine	1,622	pos.	m	9	4,5
actinote	1,630 à 1,644	nég.	m	25	11
barytine	1,637	pos.	m	12	6
herrengrundite	1,649	nég.	p	75	11
enstatite	1,653	pos.	e^1	8	7,5
hyperstène	1,678	nég.	m	10	8
hornblendes	1,715	nég.	m	24 à 72	21 à 37
ottrélite	1,73	nég.	p	1	1
chrysobéryl	1,748	pos.	p	9,5	3,5
tarbuttite	1,750	nég.	p	45	14,5
pseudomalachite	1,762	nég.	g^1	86	43
monazite	1,801	pos.	p	45	2
triphane	1,819	pos.	p	16	6
clinoclase	1,870	nég.	p	180	40
malachite	1,875	nég.	p	254	34

E. — *Clivage* **oblique** *à l'axe optique d'un* **biaxe**

	Indice moyen	Signe	Notation du clivage	Biréfr. du minéral	Biréfr. du clivage
mésolite	1,505	pos.	a^1	0,6	0
			o^1	0,6	0,2
labradorite	1,563	pos.	g^1	8	—
			p	8	—
anorthite	1,584	nég.	g^1	13	5 à 7,5
			p	13	4 à 5
célestine	1,622	pos.	m	9	4,5
wollastonite	1,632	nég.	h^1	14	1
			p	14	8
barytine	1,637	pos.	m	12	6
andalousite	1,639	nég.	m	11	8,5
diopside	1,671 à 1,685	pos.	m	29	22
diallage	id.	pos.	h^1	29	11
augite	1,684 à 1,704	pos.	m	21	15
hédenbergite	1,714 à 1,737	pos.	m	19	14
épidote	1,719	nég.	p	16 à 54	2 à 10
triphane	1,819	pos.	m	16	18,5
lanarkite	1,99	nég.	p	90	—

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

F. — Clivage **perpendiculaire** *à la bissectrice* **obtuse** *d'un biaxe*

	Indice moyen	Signe du minéral	Notation du clivage	Biréfring. du minéral	Biréfring. du clivage	2V	2e
phillipsite	1,500	pos.	g^1	5	3	70°	119°
orthose	1,524	nég.	g^1	7	2	70°	121°
cordiérite	1,538	nég.	g^1	6	4	82°	—
anhydrite	1,576	pos.	p	44	38	44°	71°
hopéite	1,592	nég.	h^1	10,5	1	var.	—
colemanite	1,592	pos.	g^1	28	22	56°	96°
vivianite	1,593	pos.	g^1	50	34	71°	—
calamine	1,617	pos.	g^1	22	19	46°	78°
célestine	1,624	pos.	p	9	7	51°	80°
barytine	1,638	pos.	p	12	10	37°	70°
ludlamite	1,675	pos.	p	44	22	82°	—
astrophyllite	1,703	pos.	g^1	55	30	72°	—
staurolite	1,741	pos.	g^1	10	5	88°	—
chrysobéryl	1,747	pos.	h	29	26	30°	52°
monazite	1,797	pos.	g^1	45	1	15°	28°
orpiment	2,81	pos.	g^1	620	410	70°	—

G. — Clivage parallèle à n_g *et* n_p

	Indice moyen	Signe	Clivage	Biréfr. du clivage	2V
stilbite	1,498	nég.	g^1	6	35°
gypse	1,523	nég.	g^1	10	58°
orthose	1,524	nég.	p	5	70°
néphéline	1,539	nég.	m	5	0°
anhydrite	1,576	pos.	p	44	44°
hopéite	1,592	nég.	p	10,5	var.
euclase	1,655	pos.	g^1	19	50°
enstatite	1,659	pos.	g^1	9	71°
apatite	1,664	nég.	m	3	0°
willémite	1,693	pos.	d^1	18	0°
xénotime	1,721	pos.	h^1	95	0°
diaspore	1,722	pos.	g^1	48	84°
aurichalcite	1,740	nég.	h^1	84	25°
chrysobéryl	1,748	pos.	g^1	9,5	45°
dewalquite	1,790	pos.	h^1	20	43°
monazite	1,797	pos.	h^1	45	16°
zircon	1,93	pos.	m	44 à 62	0°
phosgénite	2,114	pos.	m, h^1	26	0°
rutile	2,616	pos.	m, h^1	287	0°
cinabre	2,854	pos.	e^1	347	0°

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TABLE IX

Détermination des Minéraux des Roches en lames minces

(voir n° **357**)

1 { opaque : **22**
transparents : **2**

2 { incolores : **3**
colorés : **23**

3 { isotropes : **4**
anisotropes : **6**

4 { fort relief : **grenats**
faible relief : **5**

5 { dans les roches neutres : **sodalite**
dans les roches basiques : **analcime**
structure zonaire : **noséane**
avec inclusions régulières : **leucite**

6 { sans clivage net : **7**
une direction de clivage : **11**
deux directions de clivage : **17**
trois directions de clivage, biréfringence très élevée : **calcite**

7 { biréfringence élevée : **8**
biréfringence faible : **9**

8 { petits cristaux généralement prismatiques et à fort relief : **zircon**
cristaux à formes irrégulières, cassures plus ou moins régulières, produits d'altération colorés : **olivine**

9 { fort relief, cristaux allongés négativement avec cassures transversales : **apatite**
relief faible : **10**

10 { plages à extinction roulante ou sphérolites à croix noire : **opale**
plages sans contours réguliers, uniaxes et de signe positif : **quartz**
plages rectangulaires ou hexagonales, uniaxes et de signe négatif : **néphéline**

11 { extinction droite : **12**
extinction oblique : **14**

12 { biréfringence très forte, plages déchiquetées : **muscovite**
biréfringence faible : **13**

13 { relief faible : **néphéline**
fort relief, macles : **zoïzite**

14 { faible biréfringence : **15**
forte biréfringence : **16**

15 { indices inférieurs à celui du baume : **orthose, albite**
indices supérieurs à celui du baume : **plagioclases**

16 { extinction maximum de 32° : **diopside**
extinction maximum de 18° : **trémolite**

17 { clivage de 120° env. : **trémolite**
clivages de 90° env. : **18**

18 { forte biréfringence : **diopside**
faible biréfringence : **19**

19 { fort relief : **20**
faible relief : **21**

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

20 { signe positif : **enstatite**
signe négatif : **hyperstène**

21 { quadrillage maclé : **microcline**
macles diverses : **feldspaths**

22 { noirs bleutés par réflexion : **magnétite**
noirs,souvent altérés en sphène : **ilménite**
jaunes par réflexion : **pyrite**

23 { isotropes : **24**
anisotropes : **25**

24 { bruns : **mélanite**
violets : **pyrope**
bleus : **hauyne**
verts : **spinelles**

25 { sans clivage : **26**
une direction de clivage : **27**
deux directions de clivage : **31**

26 | très dichroïque, plages allongees à extinction longitudinale : **tourmaline**

27 { extinction droite : **28**
extinction oblique : **29**

28 { faible biréfringence : **chlorites**
forte biréfringence : **biotite**

29 { extinction, suivant n_g maximum de 85° : **30**
» » 50° : **augite**
» » » 25° : **hornblende**
extinction de 85° à 90° : **aegyrine**

30 { bleue claire : **arfvedsonite**
bleue foncée : **riebeckite**

31 { clivages de 90° : **32**
clivages différents de 90° : **35**

32 { extinction parallèle à un clivage : **33**
extinction oblique aux clivges : **34**

33 { fort relief, fort dichroïsme, plan des axes normal à l'allongement : **épidote**
nombreuses inclusions : **hyperstène**

34 { très dichroïque, verte : **aegyrine**
peu dichroïque, grise : **augite**

35 { forte biréfringence : **36**
faible biréfringence : **pérovskite**

36 { brun ou rouge, clivages très fins : **rutile**
bruns, clivages irréguliers : **sphène**
très dichroïque, verte : **hornblende**
bleu clair : **arfvedsonite**
bleu foncé : **riebeckite**

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Usage et Emploi des Minéraux et des Roches

Minéraux employés en bijouterie

Agate, aigue-marine, ambre, améthyste, aventurine, andalousite.
Chrysobéryl, chrysolite, chrysoprase, cristal de roche, cornaline.
Béryl.
Diamant.
Emeraude, euclase.
Grenats.
Héliotrope, hiddénite, hyacinthe.
Idocrase.
Jais.
Kunzite.
Lapis-lazuli.
Œil de Chat, œil de tigre, onyx, opale.
Pierre de lune.
Rubis.
Saphir, sardoine, spinelle, saphir d'eau.
Topaze, tourmalines, turquoise.
Zircon.

Pierres d'ornement

Albâtre, ambre, anhydrite, agate.
Brèches.
Diorites.
Fluorine.
Granites.
Jade.
Labrador, lapis-luzuli, laurwickite, llerzolite.
Malachite, marbres, mélaphyres, microcline, microgranulites.
Poudingues.
Serpentines, stéatites, syénites.

Matériaux de construction et d'empierrement

Andésites, ardoises, asphalte.
Basaltes, bitume, brèches.
Calcaires.
Diorites, dolérites, dolomies.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Mélaphyres, meulières.
Porphyres, poudingues.
Quartzites.
Rhyolites.
Silex, syénites.
Trachytes.

Minéraux employés en agriculture

Ampélites, carnallite, gypse, guano, kaïnite, kiesérite, marne, nitratine, phosphorites, salpêtre, soufre, sylvine.

Combustibles.

Ozocérite, pétroles, schistes bitumineux, houilles, tourbe.

Industries diverses

Alunite.	Fabrication des aluns.
Ampélites.	Fabrication des aluns ; teinturerie.
Apatite.	Voir phosphorites.
Argiles.	Fabrication des briques, poteries, faïences, porcelaines, matériaux réfractaires ; terre à foulons.
Asbestes.	Fabrication de matériaux incombustibles ; vêtements et rideaux ; bourrages de machines.
Barytine.	Fabrication de papiers et cartons ; couleurs.
Boracite.	Fabrication de l'acide borique et des borates.
Calcaires.	Fabrication des sels de chaux ; ciments ; craies ; couleurs ; pierres lithographiques.
Carnallite.	Fabrication des sels de potassium.
Coticule.	Pierres à rasoir.
Corindon.	Abrasif.
Cryolite.	Fondant métallurgique ; verreries et porcelaineries ; industrie des sels de soude.
Diamant.	Outils divers ; sondages.
Dolomies.	Métallurgie.
Emeri.	Abrasif.
Feldspaths.	Industrie des savons, verres, porcelaines.
Fluorine.	Verreries ; émaillerie ; métallurgie.
Giobertite.	Fabrication de la magnésie et de matériaux réfractaires.
Glaubérite.	Industrie des sels de soude.
Graphite.	Fabrication de crayons et creusets ; lubrifiant ; employé en galvanoplastie et dans l'industrie électrique.
Gypse.	Terre à plâtre.
Hayésine.	Fabrication des sels de bore.
Kaïnite.	Fabrication des aluns.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Kaolin.	Fabrication de la porcelaine.
Lépidolite.	Fabrication des sels de lithium.
Marcasites.	Fabrication de l'acide sulfurique.
Marne.	Ciments.
Meulière.	Meules.
Micas.	Industrie électrique et objets divers.
Nitratine.	Voir salpêtre.
Ocres.	Peintures.
Orpiment.	Peinture.
Pyrites.	Fabrication de l'acide sulfurique.
Pyrolusite.	Verrerie ; fabrication du chlore.
Phosphorites.	Fabrication du phosphore et des superphosphates.
Pierre de touche.	Bijouterie.
Quartz.	Optique.
Réalgar.	Peinture ; pyrotechnie.
Rutile.	Coloration des porcelaines et des émaux.
Sassoline.	Fabrication des sels de bore.
Salpêtre.	Poudres ; thérapeutique ; fondant métallurgique.
Sel gemme.	Industrie de la soude ; alimentation.
Sépiolite.	Pipes ; brûleurs.
Soufre.	Vulcanisation du caoutchouc ; industries chimiques.
Spath.	Nicols.
Spinelles.	Horlogerie.
Stéatite.	Crayons ; becs de gaz ; isolants.
Strontianite.	Pyrotechnie ; fabrication de la strontiane.
Sylvinite.	Fabrication des sels de soude et de potasse.
Talc.	Polissage et graissage ; crayons ; lubrifiant.
Thénardite.	Fabrication des sels de soude.
Ulexite.	Fabrication des sels de bore.
Withérite.	Poteries ; verreries.

Minerais (1)

Aluminium.	Bauxite, cryolite.
Antimoine.	Stibine, senarmontine, valentinite, nadorite.
Argent.	Argent natif, argyrose, argents rouges, cérargyrite, hessite, stéphanite, galène.
Arsenic.	Arsenic natif, mispickel, réalgar, orpiment.
Baryum.	Barytine, withérite.
Bismuth.	Bismuth natif, bismuthine.
Cadmium.	Blendes.
Cérium.	Monazite, cérite, allanite.
Chrome.	Chromite.
Cobalt.	Smaltine, cobaltine, asbolane, glaucodot.

(1) Nous n'indiquons dans ce tableau que les minéraux usuellement employés par l'industrie pour l'extraction des divers métaux.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Columbium.	Columbite, tantalite, pyrochlore, hatchettolite, fergusonite.
Cuivre.	Cuivre natif, chalcopyrite, bornite, covelline, bournonite, cuivres gris, cuprite, malachite, chrysocole, atacamite.
Etain.	Cassitérite.
Fer.	Oligiste, magnétite, gœthite, limonite, sidérite, pyrrhotine, pyrite.
Glucinium.	Béryl.
Iridium.	Iridosmine.
Lithium.	Amblygonite, lépidotite, triphane.
Manganèse.	Braunite, pyrolusite, manganite, psilomélane, diallogite, rhodonite.
Mercure.	Cinabre, mercure.
Molybdène.	Molybdénite, wulfénite.
Nickel.	Garniérite, nickéline, breythauptite, pyrrhotines, pyrites.
Or.	Or natif, petzite, hessite, sylvanite, nagyagite, stibine, mispickel, pyrrhotine, pyrites.
Osmium.	Iridosmine.
Platine.	Platine natif.
Plomb.	Galène, cérusite, pyromorphite, nadorite, wulfénite.
Radium.	Voir *uranium.*
Sélénium.	Zorgite, clausthalite.
Strontium.	Strontianite, célestine.
Tantale.	Tantalite, pyrochlore.
Thorium.	Monazite, thorite, thorianite.
Titane.	Fers titanés, rutile, pérowskite, pyrochlore. sphène.
Tungstène.	Wolfram, schéélite.
Uranium.	Uraninites, autunite, chalcolite, carnotite, betafite, euxénite.
Vanadium.	Vanadinite, carnotite, roscœlite.
Yttrium.	Gadolinite, fergusonite, xénotime.
Zinc.	Blende, calamine, willémite, smithsonite, hydrozincite, franklinite.
Zirconium.	Zircon, baddeleyite.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Index alphabétique des Minéraux et des Roches

Achondrites, 275.
acmite, 542.
actinote, 547.
adamine, 636.
adulaire, 534.
aegyrine, 542.
aérolites, 275.
aeschynite, 622.
aetites, 484.
agates, 456.
aigue-marine, 552.
aimant, 468.
akérites, 251.
albâtre, 502, 681.
albite, 520, 535.
alexandrite, 471.
alios, 263.
allanite, 583.
allophane, 610.
almandin, 558.
alquifoux, 426.
alunite, 684.
amazonite, 535.
amblygonite, 634.
ambre, 694.
ambrite, 694.
amésite, 602.
améthyste, 454.
amiante, 547.
ampélites, 264.
amphiboles, 546.
amphibolites, 272.
amphiboloschistes, 272.
analcime, 598.
anatase, 475.
andalousite, 576.
andésine, 521.
andésite, 253.
andradite, 559.
anglésite, 673.
anhydrite, 674.
ankérite, 504.
annabergite, 645.
anorthite, 520, 536.
anorthose, 520, 534.
anthracite, 695.
antigorite, 606.
antimoine, 415.
apatite, 631.
aplite, 254.
apophyllite, 592.
aragonite, 506.
ardennite, 586.
ardoise, 265,
arfvedsonite, 549.
argent, 417.
argentite, syn. de argyrose.
argent noir, 450.
argents rouges, 448.
argile, 261, 609.
argile plastique, 264.
argile smectique, 264.
argilites, 264.
argyrose, 425.
argyrythrose, 448.
ariégite, 252.
arkansite, 477.
arkose, 263.
arsenic, 415.
arsénopyrite, 442.
asbeste, 547, 607.
asbolane, 485.
asphaltes, 693.
astrophyllite, 619.
atacamite, 493.
ataxites, 275.
augite, 540.
aurichalcite, 517.
autunite, 648.
aventurine, 455, 536.
axinite, 584.
azurite, 516.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Baddeleyite, 478.
barytine, 669.
basaltes, 253.
bastite, 607.
bastonite, 563.
bauxite, 484.
bavalite, 612.
béchilite, 662.
becquerélite, 664.
bénitoïte, 619.
berthièrine, 612.
béryl, 551.
betafite, 622.
binnite, 446.
biotite, 561.
bismuth, 416.
bismuthine, 424.
bitume de Judée, 693.
bitume élastique, 694.
bleiniérite, 656.
blende, 428.
bog-head, 698.
boléite, 492.
boracite, 659.
borax, 661.
bornite, 427.
bort, 410.
boulangérite, 448.
bournonite, 447.
braunite, 472.
brazilite, 478.
brèche, 262.
breithauptite, 435.
brennérite, 275.
breunérite, 504.
brochantite, 678.
bromyrite, 487.
bronzite, 539.
brookite, 476.
brucite, 485.
buratite, 517.
buttgenbachite, 494.
bytownite, 521.

Cacholong, 479.
cacoxène, 652.
cailloux du Rhin, 454.
calamine, 552.
calcaire, 265.
calcédoine, 456.
calcédonite, 456.
calcite, 495.
caliche, 657.
calomel, 487.
camptonites, 255.
campylite, 632.
cannel-coal, 698.
caoutchouc minéral, 694.
carbonado, 410.
carnallite, 493.
carnotite, 649.
carpholite, 587.
carton minéral, 547.
cassitérite, 472.
cavalinite, 556.
célestine, 672.
cérargyrite, 487.
cérusite, 510.
cérite, 555.
chabasie, 597.
chalcantite, 683.
chalcolite, 647.
chalcophyllite, 650.
chalcopyrite, 439.
chalcosine, 430.
chalcotrichite, 460.
chamoisite, 612.
chamosite, 611.
chert, 263, 457.
cheveux de Vénus, 474.
chiastolite, 577.
chlorites, 602.
chloritoïdes, 601.
chloritoschiste, 271.
chondrites, 275.
christianite, 594.
chromite, 469.
chrysobéryl, 470.
chrysocole, 610.
chrysolite, 565.
chrysotile, 606.
chrysoprase, 456.
cinabre, 431.
cinérite, 255.
cipolin, 273.
cires fossiles, 691.
citrine, 454.
claustalite, 427.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

clévéite, 663.
clinochlore, 603.
clinoclase, 640.
clintonites, 601.
cobaltine, 438.
coke, 696.
colemanite, 660.
collophanite, 654.
columbite, 623.
combustibles fossiles, 695.
connellite, 494.
copal, 695.
copaline, 695.
coprolithes, 655.
cordiérite, 553.
corindon, 461.
cornaline, 456.
cornes, 271.
cornètite, 639.
coticule, 272.
covelline, 434.
craie, 265, 502.
craie de Briançon, 605.
craie phosphatée, 655.
crichtonite, 466.
cristal de roche, 454
cristobalite, 458.
crocidolite, 549.
crocoïse, 675.
cryolite, 491.
ctypéite, 512.
cuivre, 417.
cuivre gris, 449.
cumengéite, 492.
cuprite, 460.
cuprodescloizite, 638.
curite, 665.
cyanite, 577.
cyanose, 683.
cymophane, 470.

Dacite, 253.
dahlite, 654.
datholite, 579.
damourite, 563.
daubréelite, 275.
davreuxite, 563.
delvauxine, 653.
démantoïde, 559.
descloizite, 638.
destinézite, 653.
dewalquite, 586.
dewindtite, 649.
diabase, 252.
diadochite, 653.
diallage, 541.
diallogite, 505.
diamant, 409.
diamant de Fleurus, 454.
diaspore, 480.
dichroïte, 554.
diopside, 540.
dioptase, 568.
diorites, 251.
dipyre, 571.
disthène, 577.
dolérites, 252.
dolomie, 266.
dolomite, 503.
dopplérite, 698.
dufrénite, 640.
dunite, 252.
dumontite, 650.
dyscrasite, 425.

Ebelménite, 485.
éclogite, 273.
écume de mer, 605.
eisenrose, 465.
élaeolite, 250, 556.
élatérite, 694.
électrum, 418.
embolite, 487.
émeraude, 552.
émeraude orientale, 462.
émeri, 463.
enstatite, 539.
épidote, 581.
épidotite, 583.
epsomite, 682.
érubescite, 427.
érythrite, 645.
essexites, 252.
étain de bois, 474
euclase, 579.
eucrites, 252.
eulytine, 561.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

euphotide, 251.
eurite, 250.
euxénite, 622.

Fayalite, 566.
feldspaths, 520.
feldspathoïdes, 229.
fer, 416.
fer de lance, 681.
fers des marais, 484, 611.
fers des tourbières, 484.
fers titanés, 466.
fergusonite, 623.
fibrolite, 578.
flos-ferri, 507.
fluorine, 489.
forstérite, 564.
fourmariérite, 665.
francolite, 654.
franklinite, 469.
fusain, 696.

Gabbros, 251.
gadolinite, 580.
gahnite, 467.
gaize, 264.
galène, 425.
garniérite, 607.
geysérite, 480.
gigantolite, 554.
giobertite, 504.
girasol 455.
glaubérite, 668.
glaucodot, 444.
glauconie, 611.
gneiss, 271.
goethite, 481.
granit (petit), 266.
granites, 249.
granulites, 254.
graphite, 412.
graphitite, 413.
greisen, 254.
grenats, 558.
grès, 263.
grès cristallisé de Fontainebleau, 501.
grossulaire, 558.
guano, 654.
gummite, 663.
gypse, 680.

Halite, 488.
hälleflinta, 271.
halloysite, 609.
harmotome, 596.
hatchettine, 691.
hatchettolite, 621.
hausmannite, 471.
hauyne, 556.
hayésine, 662.
hédenbergite, 540.
héliotrope, 456.
helvine, 560.
hématite, 463.
hercynite, 467.
herrengrundite, 684.
hessite, 444.
hétérogénite, 486.
heulandite, 593.
hexaédrites, 275.
hiddénite, 543.
hopéite, 642.
hornblende, 548.
hornblendites, 252.
houilles, 695.
hyacinthe, 455, 560, 570.
hyalite, 480.
hyalophane, 520, 534.
hyalosidérite, 565.
hydrophane, 480.
hydrozincite, 517.
hyperstène, 539.

Idocrase, 573.
ilménite, 466.
ilménorutile, 624.
ilvaïte, 586.
iodobromite, 487.
iodyrite, 487.
ijolite, 250.
iolite, 553.
iridosmine, 419.
itabirite, 271.
itacolumite, 271.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Jade, 547.
jadéite, 543.
jais, 698.
jarosite, 684.
jamesonite, 447.
jaspe, 456.
jayet, 698.

Kaïnite, 676.
kaliophyllite, 452.
kamacite, 274.
kaolin, 608.
kasolite, 665.
katangite, 611.
kermésite, 451.
kersantites, 254.
kieselgur, 263.
kiésérite, 680.
kimberlite, 252.
koninckite, 647.
kunzite, 543.

Labradorite, 253, 521, 536.
lampadite, 485.
lamprophyres, 254.
lanarkite, 677.
lapis-lazuli, 557.
latérite, 265, 484.
latites, 248.
laurwickite, 250.
laves, 226.
lazulite, 641.
lazurite, 557.
léadhilite, 677.
lehm, 264.
lépidocrocite, 481.
lépidolite, 561.
lépidomélane, 563.
leptynite, 271.
leucite, 537.
leucitites, 254.
leucotéphrite, 254.
lherzolite, 252.
libéthénite, 635.
liège de montagne, 547.
liévrite, syn. de ilvaïte,
lignite, 698.
limon, 264.
limonite, 483.
linarite, 679.
linnéite, 428.
lithomarge, 608.
lithosidérites, 275.
lodranite, 275.
loess, 264.
ludlamite, 650.
lumachelles, 502.
lunnite, 639.
lutécite, 456.
lydite, 263, 457.

Macigno, 263.
mâcle (andalousite), 577.
magnésite, syn. de sépiolite et de giobertite.
magnétite, 468.
malachite, 513.
manganite, 482.
marbres, 265, 503.
marcasite, 441.
marialite, 571.
marne, 266.
martite, 465.
maskelynite, 275.
mathlockite, 491.
meionite, 571.
mélanite, 558.
mélaphyres, 254.
mélantérie, 683.
mélilite, 573.
mélinite, 479.
mélinose, 688.
mellite, 690.
mercure, 417.
méroxène, 563.
mésitite, 495.
mésolite, 599.
mésosidérites, 275.
mésotypes, 599.
métatorbernite, 647.
météorites, 274.
meulière, 263, 457.
micas, 561.
miscaschistes, 271.
microcline, 520, 535.
microgranites, 236.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

microgranulites, 236.
microlite, 621.
microperthite, 527.
millérite, 433.
mimétite, 632.
mindigite, 486.
minette, 254, 465.
mispickel, 442.
missourite, 250.
mizzonite, 571.
moissanite, 275.
molasse, 263,
molybdénite, 424.
monazite, 628.
montebrasite, 634.
monticellite, 197.
monzonite, 251
morganite, 552.
morvénite, 594.
mossite, 624.
muscovite, 561.

Nadorite, 656.
nagyagite, 445.
naphte, 693.
natrolite, 599.
natron, 518.
néotantalite, 614.
néphéline, 556.
néphélinite, 254.
néphrite, 272, 547.
nickéline, 434.
nigrine, 466, 475.
niobite, 623.
nitratine, 657.
nitre, 658.
nitrocalcite, 658.
nouméite, 607.
norite, 251.
noséane, 556.

Obsidienne, 253.
ocre, 484.
ocre rouge, 465.
octaédrite, 475.
octaédrites, 275.
odontolite, 652.
œil de chat, 455.
œil de tigre, 455.
oldhamite, 275.
oligiste, 463.
oligoclase, 521, 535.
olivénite, 635.
olivine, 564.
onyx, 456.
opales, 479.
or, 418.
orpiment, 422.
orthite, 583.
orthophyres, 251.
orthose, 520, 534.
ottrélite, 602.
ouralite, 549.
outremer, 557.
ouwarowite, 558.
ozokérite, 692.

Pallasites, 275.
panabase, 449.
pandermite, 660.
parisite, 512.
parsonsite, 649.
pechblende, 663.
pechstein, 253.
péchurane, 663.
pectolite, 545.
pegmatite, 254.
pennine, 603.
péricline, 535.
péridot, 564.
péridotite, 252.
perlite, 253.
pérovskite, 620.
perthite, 527.
pétroles, 692.
pétrosilex, 271.
petzite, 444.
pharmacosidérite, 652.
phénacite, 567.
phillipsite, 594.
phlogopite, 561.
pholérite, 608.
phonolite, 254.
phosgénite, 512.
phosphorites, 654.
phtanites, 263.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

phyllade, 264.
picrite, 252.
pierre d'aigle, 484.
» à plâtre, 682.
» d'asperge, 631.
» de Bologne, 671.
» de lune, 534.
» à rasoir, 272.
» de soleil, 536.
» de touche, 263.
» ollaire, 604.
pinite, 554.
pisasphalte, 694.
plagioclases, 520.
planchéite, 555.
platine, 419.
platiniridium, 419.
pléonaste, 467.
plexite, 275.
plomb noir, 510.
polycrase, 622.
polyhalite, 680.
polymygnite, 614.
ponce, 253.
porpézite, 418.
porphyre syénitique, 251.
porphyroïdes, 250.
poudingues, 262.
prehnite, 585.
pricéite, 660.
priorite, 614.
prochlorite, 604.
proustite, 448.
psammite, 263.
psaturose, 450.
pseudoboléite, 492.
pseudocalcédonite, 456.
pseudomalachite, 639.
psilomélane, 485.
puchérite, 630.
pycnite, 575.
pyrargyrite, 448.
pyrite, 435.
pyrochlore, 621.
pyrolusite, 478.
pyromorphite, 632.
pyrope, 558.
pyrophyllite, 608.
pyroxènes, 538.
pyroxénite, 272.
pyroxénolite, 252, 272.
pyrrhotine, 433.

Quartz, 451.
quartzine, 456.
quartzite, 263.
quartzophyllade, 265.
quercyite, 654.

Ranciéite, 485.
randannite, 480.
réalgar, 421.
résines fossiles, 694.
résinite, 480.
rétinite, 253, 694.
riebeckite, 549.
rhodite, 418.
rhodocrosite, 505.
rhodonite, 545.
rhyolites, 253.
richellite, 653.
ripidolite, 604.
roscoélite, 563.
rubellane, 563.
rubellite, 588.
rubinelle, 467.
rubinglimmer, 481.
rubis, 462, 467.
rutile, 474.

Sable, 263.
sagénite, 474.
saléïte, 648.
salmiac, 489.
salmite, 601.
salpêtre, 658.
samarskite, 614.
samirésite, 614.
sammetblende, 482.
sanidine, 534.
saponite, 605.
saphir, 462.
saphir d'eau, 554.
sardoine, 456.
sassoline, 659.
scapolite, 571.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

schalblende, 429.
schéélite, 686.
schiste, 264, 693.
schistes cristallins, 272.
schoepite, 664.
schorlomite, 599.
scolésite, 559.
scorodite, 646.
sélénite, 681.
sel gemme. 488.
séméline, 617.
senarmontite, 459.
sépiolite, 605.
séricite, 563.
serpentine, 606.
shattuckite, 555.
sidérochrome, 469.
sidérétine, 653.
sidérite, 505.
sidérites. 275.
sidérophyres, 275.
silex, 457.
sillimanite, 578.
sklodovskite, 666.
smaltine, 438.
smaragdite, 549.
smithsonite, 505.
sodalite, 556.
soufre, 413.
spath, 500.
sperkise, 441.
spessartine, 558.
sphalérite, 428.
sphène, 616.
sphérosidérite, 505.
spinelle, 467.
spinellides, 467.
spodumène, 543.
staffélite, 654.
stainiérite, 486.
stalactites, 501.
stalagmites, 501.
stannine, 440.
stasite, 649.
stassfurtite, 660.
staurolite, 589.
staurotide, 589.
stéatite. 604.
stéphanite, 450.
stibiconise, 424.
stibine, 423.
stilbite, 596.
stilpnosidérite, 483.
stolzite, 687.
strontianite, 509.
struverite, 624.
struvite, 642.
succin, 694.
syénites, 250.
sylvanite, 445.
sylvine, 489.
sylvinite, 489.

Taenite, 274.
talc, 604.
taleschistes, 271.
tantalite, 623.
tapiolite, 624.
tarbuttite, 637.
téphrite, 254.
terreau, 609.
tétraédrite, 449.
thénardite, 665.
théralites, 252.
thermonatrite, 518.
thomsonite, 601.
thoreaulite, 625.
thorianite, 478.
thorite, 571.
thulite. 581.
tinkal, 661.
titanite, 616.
topaze, 574.
topaze orientale, 462.
topazolite, 559.
torbernite, 647.
tourbe, 698.
tourmalines, 587.
tourmalinite, 589.
trachytes, 253.
trémolite, 547.
tridymite, 457.
triphane, 543.
tripoli, 480.
troctolite, 251.
troïlite, 275.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

trona, 518.
tufs, 255.
tufeau, 266.
turquoise, 651.

Ulexite, 662.
uranniobite, 663.
uraninite, 663.
uranite, 647.
uranocircite, 664.
uranopilite, 685.
uranospinite, 664.
uranotyle, 666.

Valentinite, 459.
vanadinite, 632.
vauquelinite, 676.
vésuvianite, 574.
vivianite, 643.
volnyne, 670.

Wad, 485.
wavellite, 651.
wernérites, 571.
whewellite, 689.
willémite, 566.
withérite, 509.
wolfram, 685.
wollastonite, 544.
wulfénite, 688.
wurtzite, 430.

Xénotime, 627.

Yttrotantalite, 614.

Zéolites, 591.
zincite, 461.
zinkénite, 446.
zinconise, 517.
zinnwaldite, 562.
zircite, 478.
zircon, 569.
zoïzite, 581.
zorgite, 427.

Imprimé en Belgique

IMP. H. VAILLANT-CARMANNE, S. A., Liége.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1