



EXAMEN
DE DIVERSES
SUBSTANCES CRISTALLISÉES
PRÉPARÉES, MAIS NON DÉCRITES
Par **EBELMEN**
ET
NOTE
SUR UNE DISPOSITION PARTICULIÈRE
DU GONIOMÈTRE DE WOLLASTON

Par M. ER. MALLARD, inspecteur général des mines.

(Extrait des ANNALES DES MINES, livraison de Novembre-Décembre 1887.)

PARIS
V^{ME} CH. DUNOD, ÉDITEUR
LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES
Quai des Augustins, 49

1887



Sgu 201007 30

EXAMEN
DE DIVERSES
SUBSTANCES CRISTALLISÉES
PRÉPARÉES, MAIS NON DÉCRITES
Par **EBELMEN**
ET
NOTE
SUR UNE DISPOSITION PARTICULIÈRE
DU GONIOMÈTRE DE WOLLASTON

Par M. ER. MALLARD, inspecteur général des mines.

(Extrait des ANNALES DES MINES, livraison de Novembre-Décembre 1887.)

PARIS
V^{VE} CH. DUNOD, ÉDITEUR
LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES
Quai des Augustins, 49
—
1887

REVUE

DE

SCIENCE

ET

ARTS

ET

NOTES

DE LA

REVUE

IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION
RUE RACINE, 76, A PARIS.

PARIS

1887

REVUE

DE

PARIS

REVUE

REVUE

1887

EXAMEN
DE
DIVERSES SUBSTANCES CRISTALLISÉES

PRÉPARÉES, MAIS NON DÉCRITES

Par EBELMEN

Par M. Er. MALLARD, inspecteur général des mines.

Lorsque parurent, à de courts intervalles, de novembre 1847 à novembre 1851, les mémoires d'Ebelmen sur la reproduction des espèces minérales, la sensation fut profonde dans le monde scientifique. On attendait avec impatience la suite annoncée de ces beaux travaux, lorsqu'on apprit qu'ils devaient rester à jamais inachevés. Leur auteur était mort le 31 mars 1852, âgé de trente-huit ans seulement, dans toute la maturité de son génie.

Quelque courte qu'ait été sa vie, il a su graver à jamais son nom dans les annales de la science. Sa mémoire est préservée de l'oubli par de belles découvertes, et son nom nous inspire l'intérêt qui s'attache aux grands esprits disparus, après avoir montré leur puissance, sans qu'il leur ait été permis de la développer tout entière.

Après une mort qui la mettait si cruellement en deuil, M^{me} Ebelmen déposa, dans les collections de l'École des Mines, du Muséum et de la Manufacture de Sèvres, de nombreux échantillons de substances cristallisées préparées par son mari. Ce don précieux était accompagné d'un Catalogue détaillé indiquant sommairement, sans doute d'après les notes d'Ebelmen et les souvenirs con-

servés à son laboratoire, le mode de préparation employé pour chaque substance.

En examinant récemment avec soin les échantillons déposés à l'École des mines, et les comparant avec les divers mémoires laissés par Ebelmen, j'ai constaté qu'un très grand nombre des substances, que l'École devait à la générosité de M^{me} Ebelmen, n'avaient pas été décrites et devaient sans doute former les matériaux d'un travail que la mort n'avait pas laissé à son auteur le temps d'achever.

J'ai regardé comme un hommage dû à la mémoire d'un des savants dont le Corps des mines peut le plus justement s'enorgueillir, d'étudier ces précieux documents, et, sans espérer de retrouver complètement les idées originales qui avaient guidé Ebelmen, de sauver au moins de l'oubli tout ce qu'on peut encore en sauver. Je me suis aperçu d'ailleurs bien vite que, malgré le long temps écoulé depuis que la pensée de l'expérimentateur s'est endormie pour toujours, l'étude que j'avais entreprise comme un pieux devoir apportait quelques documents nouveaux encore dans l'état actuel de la science.

Mon collègue, M. Le Chatelier, a bien voulu me prêter son concours pour les recherches chimiques nécessaires. J'ai pu ainsi me borner presque exclusivement aux études cristallographiques. Elles étaient rendues assez difficiles par la petitesse et le mauvais état de la plupart des cristaux qu'il s'agissait de déterminer. Je me suis servi avec avantage d'une disposition particulière du goniomètre Wollaston, que je décrirai dans une note spéciale.

I. — SUBSTANCES DIVERSES.

Chromite de glucine.

Tandis que les spinelles de la formule R^2O^3,MO ont, en général, la symétrie cubique, l'aluminate de glucine

Al^2O^3, CrO_3 forme, on le sait, une espèce minérale rare, la *cymophane*, dont la symétrie est simplement rhombique. La *cymophane* a été reproduite par Ebelmen en beaux cristaux isolés, en fondant avec de l'acide borique, soit de l'alumine avec de la glucine seule, soit de l'alumine avec de la glucine et de la chaux.

Ebelmen a essayé postérieurement de produire un chromite de glucine.

Les deux préparations qui nous ont été laissées sont indiquées dans le Catalogue, l'une comme étant du « chromite de glucine en cristaux non isolés de la pâte vitreuse », l'autre comme étant du « chromite de glucine et de chaux isolé obtenu avec

Oxyde de chrome.	5
Glucine	1
Carbonate de chaux.	3
Acide borique fondu	8

On peut admettre que l'indication « chromite de glucine et de chaux » est une erreur et qu'Ebelmen n'avait ajouté de la chaux au mélange que par la même raison qui l'avait porté à faire une addition semblable dans sa seconde préparation de *cymophane*, c'est-à-dire, comme il le dit lui-même, dans la pensée « qu'on obtiendrait une cristallisation plus nette en introduisant dans les matières à fondre une certaine proportion d'une base qui ne se combine pas à l'alumine, et qui forme, avec l'acide borique, un borate fusible et indécomposable à la chaleur blanche ».

Quoi qu'il en soit, lorsque la pâte vitreuse du premier échantillon a été attaquée par l'acide chlorhydrique, on isole une poudre cristalline verte qui ne diffère d'aspect, avec la poudre cristalline du deuxième échantillon, que par une petitesse un peu plus grande des grains.

Examinées au microscope polarisant, ces poudres cristallines, d'un beau vert foncé, se montrent composées de

cristaux, à contour hexagonal régulier, aplatis parallèlement à la base et brodés par des biseaux placés sur les arêtes du prisme. Chaque base est composée de six secteurs, dont les deux opposés par le centre s'éteignent en même temps entre les Nicols croisés. Les cristaux sont donc pseudo-hexagonaux et montrent exactement le même genre de groupement que la cymophane.

Le chromite et l'aluminate de glucine sont donc isomorphes et s'écartent l'un et l'autre de la forme cubique des spinelles. J'ai montré ailleurs que cette anomalie est en rapport avec le caractère très nettement cubique de la forme cristalline de la cymophane.

Glucine.

Les cristaux de glucine préparés par Ebelmen sont relativement gros (2 à 3^{mm}), mais ils sont presque tous très mal formés, en trémies, creux, ou à l'état de squelettes. J'ai pu cependant mesurer complètement deux d'entre eux.

Le premier, que je nommerai A, se présente sous la forme d'un pointement isocéloédrique $b^1\{10\bar{1}1\}$ dont les faces sont placées sur les arêtes d'un prisme hexagonal régulier $m\{10\bar{1}0\}$. Les faces de ce prisme sont peu développées. Les faces supérieures de l'isocéloèdre manquent en partie; le cristal est terminé de ce côté par une face de la base $p\{0001\}$.

	Angles des normales	
	Mesurés.	Calculés.
$b^1b^1(10\bar{1}1)(\bar{1}011)$ par-dessus p . . .	124° 0'	124° 3'
$p^1b(0001)(10\bar{1}1)$ adj.	62° 0'	62° 1',5
$mb^1(10\bar{1}0)(10\bar{1}1)$ adj.	28° 0'	27° 58',5
$b^1b^1(01\bar{1}1)(\bar{1}101)$ adj.	52° 24'	52° 25'
$b^1m(01\bar{1}1)(10\bar{1}0)$	63° 48'	63° 47'
* $b^1b^1(1101)(01\bar{1}1)$	99° 47'	»
	1 : 4,6305	
	a h	

L'autre cristal, que nous nommerons B, présente la forme d'un octaèdre rhomboïdal aplati formé par le développement de huit des faces de l'isocéloèdre $\{10\bar{1}1\}$. Les angles de cet octaèdre ont été trouvés égaux à

	Angles des normales	
	Mesurés.	Calculés.
$(\bar{1}101)(01\bar{1}1)$	99° 44'	99° 47'
$(01\bar{1}1)(\bar{1}101)$	52° 18'	52° 25'
$(\bar{1}101)(\bar{1}\bar{1}01)$	56° 8'	55° 57'

Les deux systèmes de mesure concordent donc aussi bien qu'on le pouvait espérer. Je donne la préférence au premier cristal dont les faces qui ont servi à calculer les paramètres sont très nettes et très réfléchissantes.

Des lames parallèles à la base ont montré la croix, peu disloquée, d'un cristal uniaxe *positif*.

Mes déterminations ne sont pas tout à fait d'accord avec celles d'Ebelen qui avait trouvé $pb^1 = 61^\circ 22'$ au lieu de 62° . La différence est peu considérable, mais j'estime que mes déterminations sont préférables.

Ebelen rapprochait l'isocéloèdre de la glucine $b^1b^1 = 122^\circ 44'$ de l'isocéloèdre $e_3e_3 = 122^\circ 20'$ du corindon; il constatait d'ailleurs que le volume moléculaire de la glucine, avec la formule Gl^2O^3 , est, d'après la densité mesurée par lui ($D = 3,058$) égale à 155, celui de l'alumine étant égal à 160; que ce même volume, avec la formule GlO , serait égal à 51,8, celui de la magnésie étant égal à 68,9. Ces diverses considérations, jointes à la forme cubique de la magnésie et de l'oxyde de nickel, avaient décidé l'illustre savant à considérer la glucine comme isomorphe de l'alumine et par conséquent à regarder comme très vraisemblable la formule Gl^2O^3 .

Mais on a déjà remarqué que la forme cristalline de la glucine est bien plus voisine de celle du protoxyde de zinc que de celle de l'alumine. Les paramètres ternaires

de l'oxyde de zinc sont, en effet, d'après M. Vom Rath, 1 : 1,6034; ceux de la glucine étant, comme on l'a vu plus haut, 1 : 1,6305.

J'ai fait une observation qui vient à l'appui de l'isomorphisme des oxydes de zinc et de glucinium, c'est que le signe optique de ces oxydes est le même et positif; le signe de l'alumine est négatif.

En me servant du prisme, formé par les faces, opposées par le sommet, de l'isocéloèdre b^1 , j'ai trouvé pour les indices principaux de la glucine :

$$\omega = 1.719,$$

$$\varepsilon = 1.733.$$

L'indice médian est ainsi égal à 1,723. De l'énergie réfractive $\frac{n-1}{d} = 0,238$, donnée par Gladstone, on aurait tiré, pour cet indice médian, la valeur peu différente, 1,728.

Il est vrai que, par contre, les volumes moléculaires des deux oxydes sont très loin d'être égaux; l'un et l'autre diffèrent beaucoup des volumes atomiques, très semblables entre eux, de la magnésie et de l'oxyde de nickel. On a en effet :

	GlO	MgO	NiO	ZnO
Poids moléculaires	25,2	40	75	81
Densités	3,06	3,67	6,80	5,57
Volumes moléculaires	8,24	10,9	11,10	14,55

Mais de semblables écarts existent souvent entre les volumes moléculaires des corps dont les analogies chimiques et cristallographiques sont évidentes. Je ne citerai que l'alumine et le sesquioxyde de fer dont les volumes moléculaires sont respectivement 25,5 et 30,45; la strontiane et la baryte dont les volumes respectifs sont 22 et 28.

D'ailleurs, il paraît bien établi que les volumes moléculaires des composés peuvent, en général, être déduits

de ceux des substances composantes, et que, d'autre part, les volumes moléculaires des corps simples satisfont à une certaine fonction périodique des poids atomiques de ces corps. L'égalité des volumes moléculaires ne peut donc être considérée comme étant liée d'une manière constante aux analogies chimiques et cristallographiques. Peut-être doit-on considérer simplement cette égalité comme facilitant, lorsqu'elle se présente, les mélanges cristallins des substances isomorphes.

Il est très intéressant de noter que l'axe ternaire de la glucine est presque exactement le double de celui de l'iodure d'argent, qui est égal à 0,8196. Or, dans cette substance, la forme rhomboédrique est étroitement liée à la forme cubique, puisque la première est subitement remplacée par la seconde à la température de 165°. L'oxyde de zinc et la glucine offrent donc, dans la série cubique des protoxydes, une anomalie qui est exactement de la même nature que celle que présente l'iodure d'argent dans la série cubique des chlorures, bromures et iodures. Ces deux anomalies s'expliquent, comme je l'ai montré dans un mémoire antérieur (*), en remarquant que la longueur de l'axe ternaire de l'iodure d'argent, et la moitié de celle de l'axe ternaire de la glucine, sont presque exactement les deux tiers de la longueur de l'axe ternaire du cube.

Ebelmen avait fondu, avec l'acide borique, un mélange de silice et de glucine. Il avait obtenu de très petits prismes hexagonaux, ayant le signe optique de la phénacite, et j'avais cru pouvoir (**) en conclure qu'Ebelmen avait reproduit cette rare espèce minérale. Malgré l'extrême petitesse des prismes, j'ai pu cependant mesurer les indices en me servant de faces inclinées l'une sur

(*) *Bulletin de la Soc. minér.*, t. VII, p. 349 (1884).

(**) *C. R.*, t. CV (1887).

l'autre de 60°. Les indices ainsi mesurés se sont trouvés différer notablement de ceux de la phénacite et être à peu près identiques à ceux de la glucine. J'ai prié alors M. Le Chatelier d'essayer de faire une analyse sur la petite quantité de substance que nous possédions, et il a pu constater qu'elle était, en effet, formée par de la glucine pure.

Acide niobique.

Ebelmen s'est contenté de noter que « l'acide niobique retiré de la bayérine donne des cristaux allongés, verdâtres, quand on passe au four à porcelaine, sur la feuille de platine, un mélange de cet acide avec trois fois son poids d'acide borique. » Les cristaux laissés par Ebelmen sont encore adhérents à la feuille de platine, d'où il est peu aisé de les détacher; ils sont d'ailleurs très petits.

La plupart d'entre eux sont des prismes de clivage nettement rectangulaires. Perpendiculairement à l'une des faces de ce prisme, ordinairement la plus large, on observe une bissectrice positive, avec des axes très écartés, dont le plan est perpendiculaire à l'intersection des deux clivages. Les cristaux sont donc rhombiques.

Quelques cristaux m'ont offert de petites faces placées dans la zone des deux clivages et qui tronquent les arêtes du prisme rectangulaire. Les meilleures faces m'ont donné 19°35' pour l'angle de la normale à l'une de ces faces avec la normale au clivage le plus développé. On peut donc donner à ce clivage le symbole $h^1\{100\}$, à l'autre clivage le symbole $g^1\{010\}$ et aux faces modifiantes le symbole $m\{110\}$. On a

		Angles des normales.
$mm(110)(\bar{1}\bar{1}0)$	sur h^1	39°40'
* $mh^1(110)(100)$		19°35'
0,356 : 1 : ?		
a	b	c

Il est à remarquer que les deux paramètres horizontaux, les seuls que j'aie pu déterminer, sont très sensiblement

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} : 1.$$

Il est donc très vraisemblable que la forme cristalline est presque exactement pseudo-cubique. Ainsi s'expliquent les cristaux de forme extérieure cubique qui ont été obtenus par M. A. Knop en fondant l'acide niobique avec le borax (*).

Acide tantalique.

Ebelmen se contente de dire qu'il a produit des cristaux prismatiques d'acide tantalique, mais il ne les décrit pas.

L'acide tantalique conservé à l'École des mines a été obtenu dans les fours de M. Bapterosses avec

Acide tantalique	2
Carbonate de baryte	2,50
Acide borique fondu	4

La matière adhérente à la feuille de platine laisse dissoudre dans l'acide chlorhydrique de l'acide borique et de la baryte. Il reste de petits cristaux prismatiques légèrement jaunâtres qui sont chargés de facettes assez nombreuses.

Les images données par ces facettes sont multiples et ne permettent pas des mesures précises.

On peut cependant constater la présence des formes $g^1\{010\}$, $h^1\{100\}$, $m\{110\}$, $g^3\{120\}$, $g^5\{230\}$.

En prenant les moyennes de mesures approximatives qui peuvent différer de 1° à 2°, on trouve

(*) *Zeit. für Kryst.*, t. XII, p. 610 (1887).

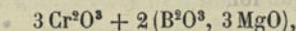
	Angles	
	Mesurés.	Calculés.
* g^1m (010) (110)	71°30'	
g^1g^3 (010) (120)	56°	56°12'
g^1g^5 (010) (230)	63°	63°21'
	0,33 : 1 : ?	
	a b c	

On peut donc admettre l'isomorphisme de l'acide niobique et de l'acide tantalique.

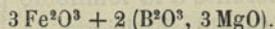
II. — BORATES.

Ebelmen, en opérant les cristallisations de diverses substances au milieu de l'acide borique fondu, avait eu l'occasion de constater la formation de certains composés contenant de l'acide borique.

Oxyde de fer magnéso-boraté. — C'est ainsi qu'il avait obtenu et analysé deux composés complexes, ayant des formules analogues :



et



L'un était obtenu en fondant, dans les mouffles à bouton de porcelaine qui donnent une température inférieure à celle des fours à porcelaines de Sèvres :

Oxyde de chrome	20 gr.
Magnésie.	15 gr.
Acide borique fondu	30 gr.

L'autre était obtenu, en fondant, dans les mêmes conditions :

Peroxyde de fer.	25 gr.
Magnésie.	20 gr.
Acide borique fondu	25 gr.

Notre collection nous offre des échantillons du second, qu'il m'a paru intéressant de décrire, car Ebelen se contente de dire que les cristaux sont noirs, brillants, prismatiques, à poussière brune, avec une densité de 3,85.

J'ai pu mesurer ces prismes qui, bien que petits, ont des faces très réfléchissantes. Ils sont probablement orthorhombiques et montrent les faces m , h^1 et g^3 .

Angles des normales.

* mm (110) ($\bar{1}\bar{1}0$) =	90° 50'	
mh^1 (110) (100) =	44° 35'	
h^1g^3 (100) (210) =	62° 40'	63° 6' calculé

On peut rapprocher le borate d'Ebelen de la Ludwigite qu'on a trouvée dans les mines de magnétite de Morawitza, et à laquelle on attribue la formule $B^2O^3, 3MgO, Fe^3O^4$. La formule d'Ebelen peut être mise sous la forme $B^2O^3, 3MgO, 3/2Fe^2O^3$, ou $B^2O^3, 3MgO, Fe^3O^{4.5}$. L'aspect des deux substances est très semblable ; les densités sont également très voisines, car on donne de 3,9 à 4,1 pour la densité de la Ludwigite toujours intimement mélangée de magnétite.

Les formes cristallines des deux substances paraissent aussi être identiques. J'ai en effet observé, sur des aiguilles très déliées de Ludwigite, isolées d'une masse fibreuse, les formes m (110), g^3 (210), h^1 (130), h^5 (140), les faces m étant prédominantes. J'ai mesuré les angles suivants :

Angles des normales.

mm (110) ($\bar{1}\bar{1}0$). . .	90° 40'		
mh^5 (110) (140). . .	40° 56'	appr ^t	44° 17' calculé
mh^1 (110) (130). . .	27° 4'	id.	26° 26' id.
mg^3 (110) (210). . .	17° 4'	Lueur	18° 30' id.

L'identité des deux substances est donc vraisemblable. Cependant une difficulté reste à éclaircir, car Ebelen dit expressément que, dans ces cristaux, le fer est entiè-

rement à l'état de sesquioxyde, et l'existence d'un composé analogue chromé semble bien lui donner raison.

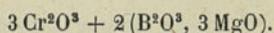
Oxyde de chrome magnésio-boraté. — Ebelmen avait produit un spinelle octaédrique de la formule $\text{Cr}^3\text{O}^3, \text{MgO}$ en fondant ensemble au four à porcelaine :

Oxyde vert de chrome	4 ^{sr} ,00
Magnésie	1 ^{sr} ,20
Acide borique fondu	4 ^{sr} ,00

Plus tard, en laissant pendant cinq jours dans les mouffes à boutons de porcelaine le mélange :

Oxyde de chrome	20 gr.
Magnésie	15 gr.
Acide borique fondu	30 gr.

Il avait trouvé le centre de la capsule occupé tout entier par une matière d'un beau vert d'herbe, en cristaux prismatiques très petits et transparents. Ces cristaux, inattaquables par les acides, d'une densité de 3,82, correspondaient à la formule



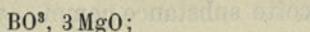
L'École des mines ne possède que le produit obtenu par la fusion prolongée du mélange :

Oxyde de chrome vert	5 ^{sr} ,00
Magnésie	12 ^{sr} ,50
Acide borique fondu	12 ^{sr} ,50

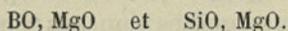
La matière forme une poudre d'un brun très foncé, qui montre au microscope de petits cristaux prismatiques à peine translucides, qui s'éteignent suivant la longueur.

Ebelmen avait aussi préparé un borate de magnésie tribasique, en soumettant à l'action prolongée d'une haute température, un mélange d'acide borique et de

magnésie avec excès de magnésie. Il ne donne pas une description détaillée de ce produit qu'il dit seulement se présenter sous la forme de cristaux radiés, ayant un aspect nacré et un assez grand éclat; être inattaquable par l'eau, facilement soluble dans les acides, difficilement fusible, donnant au chalumeau des effets de scintillation fort remarquables; ayant une densité de 2,98 à 21°. Il a fait l'analyse de la substance à laquelle il assigne la formule



et il fait remarquer l'analogie de cette composition avec celle du péridot. Il propose même de donner à l'acide borique la formule BO , analogue à celle qu'il proposait pour la silice SiO . De la sorte le borate magnésien et le péridot avaient les formules analogues



C'est sans doute pour voir jusqu'à quel point se poursuivait cette analogie qu'Ebellen a entrepris de préparer, par fusion des éléments, une série intéressante de borates qui forme une grande partie des échantillons qui ont enrichi notre collection.

Les borates préparés par Ebellen peuvent se diviser en trois groupes :

Le premier ne comprend que le borate d'alumine;

Le second comprend les borates qui ont pour base un ou plusieurs protoxydes de la série magnésienne MgO , MnO , CO ;

Le troisième comprend les borates qui ont pour base la chaux seule ou mélangée avec un oxyde de la série magnésienne.

Les borates de ce troisième groupe sont malheureusement mal cristallisés. Les cristaux qu'on peut séparer de la masse sont petits, et il est fort difficile d'en connaître la composition exacte, qui peut différer beaucoup

de celle de la masse de l'échantillon, seule analysable. J'ai donc dû, à mon grand regret, laisser de côté l'étude de ces composés intéressants.

Premier groupe.

Borate d'alumine. — D'après Ebelmen, ce borate se produit lorsqu'on fond le borax avec l'alumine, ou lorsqu'on fond l'acide borique avec l'alumine et le cadmium. Il décrit cette substance comme ayant une densité égale à 3,00; rayant le quartz; se présentant en longs prismes quadratiques. Il lui assigne, d'après deux analyses concordantes, la formule $\text{BO}^3, 3\text{Al}^2\text{O}^3$.

Le borate d'alumine de notre collection provient de l'essai de préparation de l'aluminate de cadmium, en mélangeant l'acide borique, l'alumine et l'oxyde de cadmium.

Il forme de longues aiguilles blanches translucides, d'une largeur de $0^{\text{mm}},5$ au maximum, presque quadratiques, formées par les faces $m\{110\}$ d'un prisme dont les plans sont inclinés l'un sur l'autre de $91^\circ 30'$. Les faces $h^1\{100\}$ et $g^1\{010\}$ forment de petites troncatures sur l'angle obtus.

La bissectrice aiguë positive est parallèle à l'arête du prisme; le plan des axes est parallèle à g^1 .

Les prismes sont en général brisés à leurs extrémités; j'ai cependant trouvé un cristal portant une face de la forme $b^{1/2}(111)$ et j'ai pu mesurer approximativement $mb^{1/2}$ ou $(110)(111) = 45^\circ 48'$. Les paramètres cristallographiques sont donc :

$$0,974 \quad 1 \quad 0,679;$$

très voisins par conséquent des paramètres cubiques :

$$1 \quad 1 \quad \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

J'ai pu mesurer, avec le microscope Bertrand, l'écartement, dans l'huile, des axes optiques, que j'ai trouvé égal à $2H = 97^{\circ}4$.

En me servant du prisme formé par une face m et une face g^1 non adjacente, j'ai déterminé deux indices de réfraction α et ρ , dont l'un α est l'indice maximum. Ces données m'ont permis de calculer les axes de l'ellipsoïde optique :

$$\alpha_n = 1,623, \quad \beta_n = 1,603, \quad \gamma_n = 1,586, \quad 2V = 87^{\circ}5.$$

Il est à remarquer que les paramètres cristallographiques du borate $B^2O^3, 3Al^2O^3$, étant très approximativement ceux d'un cube rapporté à deux axes binaires et à un axe quaternaire, sont presque exactement les mêmes que ceux de l'Andalousite SiO^2, Al^2O^3 , qui sont :

$$0,986, \quad 1, \quad 0,702.$$

Les propriétés optiques des deux substances sont également très voisines, car, pour l'Andalousite comme pour le borate, la bissectrice aiguë est parallèle à la hauteur, le plan des axes est parallèle à g^1 , et l'écartement des axes optiques très voisins d'un angle droit. La seule différence est dans le signe de la bissectrice aiguë qui est négatif pour l'Andalousite.

Le type cristallin du borate d'alumine et de l'Andalousite est aussi celui de la boracite, de la pérowskite, des grenats pyrénéite et ouvarowite et de la staurotide. Dans ces dernières substances, l'angle des axes optiques est aussi presque droit, mais l'ellipsoïde optique est autrement orienté, car la bissectrice aiguë y coïncide, non pas avec un axe pseudoquadratique, mais avec un axe pseudo-binaire.

La *cubicité*, si l'on me permet ce barbarisme, y est ainsi plus parfaite, puisque les axes pseudo-binaires jouent alors à peu près le même rôle, au point de vue optique comme au point de vue cristallographique. Cette particu-

larité s'accompagne, comme on sait, de groupements mimétiques remarquables qui ne se montrent, ni dans l'Andalousite, ni dans le borate d'alumine.

Je terminerai en faisant remarquer qu'il y a au moins deux borates d'alumine, tous deux cristallisés, puisque le beau minéral récemment découvert, la Jéréméiewite, a, d'après M. Damour, la formule B^2O^3, Al^2O^3 . Il est, d'après Websky, rhombique et pseudo-hexagonal.

Deuxième groupe.

Borates de manganèse. — Ebelmen nous a laissé deux préparations de borate de manganèse obtenues par fusion, dans un creuset brasqué, des deux mélanges suivants :

A. 57. — Protoxyde de manganèse.	48	} soit	$B^2O^3 + 3 MnO;$
Acide borique fondu . . .	16		
A. 58. — Protoxyde de manganèse.	45	} soit 2,03 $B^2O^3 + 3 MnO.$	
Acide borique fondu . . .	30		

Le n° 57, compacte, un peu bulleux, gris brun, à éclat vitreux, très aigre, paraît très sensiblement homogène. La masse se compose de cristaux, à peu près orientés parallèlement, mais impossibles à séparer les uns des autres. On distingue très nettement deux clivages nets, quoique peu faciles, inclinés l'un sur l'autre de $66^{\circ}8'$.

Les deux clivages sont manifestement égaux, et chaque lame de clivage s'éteint suivant la longueur. La substance est donc rhombique, et l'on peut appeler m (110), la forme de clivage. Un petit cristal, que je suis parvenu à isoler, m'a donné la face h^1 (100) placée sur l'angle obtus des clivages et également inclinée sur ceux-ci, en même temps qu'une face terminale e^1 (011) placée obliquement et symétriquement sur l'angle des faces m .

J'ai pu, ainsi qu'il suit, déterminer les paramètres cristallins de la substance.

Angles des normales.

$$\begin{aligned}
 *mm(110)(\bar{1}10) &= 66^{\circ}8' \text{ sur } h^1 \\
 mh^1(110)(100) &= 33^{\circ}4' \\
 *me^1(110)(011) &= 75^{\circ}5' \text{ adj}^t \\
 e^1e^1(011)(\bar{0}11) &= 56^{\circ}18' \text{ sur } p \text{ (calculé).} \\
 &0,6511 : 1 : 0,5351 \\
 &\quad a \quad b \quad c
 \end{aligned}$$

La plupart des cristaux ont la forme rhombique précédente; cependant, dans quelques géodes, il s'est formé de très petits prismes allongés qui paraissent avoir une forme tout à fait différente. Ces prismes, dont le diamètre transversal est fort petit, ne s'éteignent pas suivant la longueur; ils sont en outre découpés par un seul clivage transversal oblique à éclat très nacré. Les faces latérales du prisme ne sont symétriques par rapport à aucun plan. On déduit de là que le cristal est triclinique.

Les faces du prisme sont au nombre de 8, parallèles entre elles deux à deux; on peut leur assigner les symboles

$$t(110), m(\bar{1}10), h^1(100), g^1(010).$$

La face t , parallèle à un clivage vitreux, est la plus développée. Les inclinaisons mutuelles sont les suivantes :

Angles des normales.

	Mesurés.	Calculés.
* $h^1t(100)(110)$	67°39'	
* $g^1t(010)(110)$	37°20'	
$h^1g^1(100)(010)$	104°59'	
$g^1m(010)(\bar{1}10)$	28°23'	28°26'
$mt(\bar{1}10)(110)$	65°43'	65°46'
$mh^1(\bar{1}10)(100)$	46°38'	46°35'

Les paramètres horizontaux sont donc

$$1,8373 : 1 : ?$$

20 EXAMEN DE DIVERSES SUBSTANCES CRISTALLISÉES

La composition de la masse principale a été déterminée par M. Le Chatelier qui a trouvé sur 100 parties

MnO. 73,5,

La composition $B^2O^3,3 MnO$ exigerait

MnO. 75,3.

On peut donc regarder la composition du borate rhombique comme correspondant à un borate tribasique. Ce borate ne s'est pas formé seul, il s'est formé en même temps une faible quantité d'un borate triclinique dont la préparation A58 va nous permettre de déterminer la composition.

Nous allons voir que ce borate est plus acide que le borate rhombique, ce qui explique la faible quantité de protoxyde de manganèse trouvée en moins dans l'analyse.

L'échantillon A58 est remarquablement homogène; il constitue une agglomération cristalline de couleur légèrement violette. Les cristaux, ayant 3 à 4 millimètres de diamètre, sont confusément mêlés; ils sont découpés par un clivage à éclat très nacré, et extrêmement faible, de sorte qu'on ne peut isoler que des lames assez minces. Ces lames sont découpées latéralement par un autre clivage, à éclat vitreux, très net, mais moins facile que le précédent avec lequel il forme un angle de $75^{\circ}55'$. Ce clivage étant unique, comme le clivage nacré, le cristal a au plus la symétrie clinorhombique; si cette symétrie était la sienne, les deux clivages appartiendraient à la zone du plan de symétrie et l'extinction, sur la lame de clivage, serait perpendiculaire à l'intersection des deux clivages, ce qui n'est pas.

Le cristal est donc triclinique, et cette circonstance, jointe à la propriété du clivage nacré, ne permet pas de douter que le borate de l'échantillon A58 ne soit le même

que celui qui s'est formé en petite quantité seulement dans l'échantillon A57. Le clivage vitreux est la face que nous avons désignée par t (110); nous désignons le clivage nacré par p (001).

En général, les lames découpées par le clivage nacré ne montrent pas d'autre face cristalline que le clivage vitreux. J'ai pu cependant, par des recherches très attentives, trouver quelques échantillons dans lesquels j'ai pu observer et mesurer quelques petites faces cristallines.

C'est ainsi que j'ai retrouvé la face h^1 , dont on a pu mesurer l'angle avec t , trouvé égal à $67^{\circ}39'$, ce qui achève de démontrer l'identité avec les cristaux trichliques de A57. J'ai constaté de plus l'existence des faces f^1 (112), a^1 (10 $\bar{1}$).

J'ai pu ainsi former le tableau suivant et déterminer complètement les paramètres cristallins de la substance :

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
* h^1t (100) (110) adj.	67°39'	»
h^1t (100) (110) sur g^1	112°21'	»
* g^1t (010) (110) adj.	37°20'	»
g^1t (010) (110) sur h^1	142°40'	»
g^1h^1 (010) (100) sur t	104°59'	»
g^1h^1 (010) (100) sur m	75°01'	»
g^1m (010) (110) adj.	28°23'	28°26'
h^1m (100) (110) adj.	46°38'	46°35'
mt (120) (110) sur g^1	65°43'	65°46'
mt (110) (110) sur h^1	114°17'	»
* ph^1 (001) (100) en avant et en haut.	55°31'	»
ph^1 (001) (100) en arrière	124°29'	»
* h^1a^1 (100) (101) en arrière	55°50'	»
pa^1 (001) (101) en arrière	68°39'	»
* pt (001) (110) en avant	75°55'	»
pf^1 (001) (112) en avant	36°0'	appr. 35°33'
tf^1 (111) (112) en avant	39°55'	appr. 40°22'
pg^1 (001) (010) à droite.	»	96°44'

22 EXAMEN DE DIVERSES SUBSTANCES CRISTALLISÉES

pg^1 (001) ($\bar{0}\bar{1}0$) à gauche	»	83°12'
pm (001) ($\bar{1}10$) en arrière.	»	111°33'
pm (001) ($\bar{1}10$) en avant	»	68°27'
at ($\bar{1}01$) ($\bar{1}10$) en avant et en haut.	79°33'	79°19'

$xy = 76°26'$	$z = 75°1'$		$XV = 104°59'$	$Z = 103°34'$
$xz = 123°58'$	$y = 124°29'$		$XZ = 55°31'$	$Y = 56°2'$
$yz = 92°6'$	$x = 83°16'$		$YZ = 96°44'$	$X = 87°54'$

$$1,8373 : 1 : 2,012$$

$a \quad b \quad c$

En jetant les yeux sur la projection gnomonique des pôles du cristal (Pl. XV, *fig.* 1), on s'aperçoit immédiatement que le réseau polaire serait presque rhombique si l'on prenait pour axes les rangées, X', Y', Z', à peu près rectangulaires entre elles, qui se croisent au point (120) de la projection. Cela revient à prendre pour plans coordonnés du réseau polaire les plans ayant les symboles suivants dans ce réseau :

X'Y'	001
X'Z'	010
Y'Z'	$\bar{2}\bar{1}1$

Les nouveaux axes du réseau primitif ont alors dans ce réseau des symboles respectivement identiques :

z'	[001]
y'	[010]
x'	$[\bar{2}\bar{1}1]$

On prendra pour paramètres du nouveau réseau les longueurs OY', Y'Y et Y'(011).

On trouve ainsi, pour ces nouveaux axes, les données suivantes :

$x'y' = 94°6'$	$z' = 94°6'$
$y'z' = 92°7'$	$x' = 92°7'$
$x'z' = 90°4'$	$y' = 90°14'$

$$3,048 : 1 : 2,077$$

$a' \quad b' \quad c'$

Il est en outre aisé de voir, soit au moyen des formules générales de transformation, soit directement sur la projection de la *fig. 1*, que les nouveaux symboles des faces sont les suivants :

$$\begin{aligned} (010) &= (\bar{1}10)' \\ (100) &= (100)' \\ (001) &= (\bar{1}01)' \\ (\bar{1}01) &= (101)' \\ (110) &= (\bar{1}10)' \\ (110) &= (310)' \\ (\bar{1}12) &= (312)' \\ (102) &= (001)' \\ (120) &= (010)' \end{aligned}$$

J'ai essayé de déterminer aussi complètement que possible les propriétés optiques de ce borate, ce qui est assez difficile, car les cristaux sont trop petits pour pouvoir être taillés.

Avec les cristaux prismatiques de A 57, on peut se servir du prisme formé par les deux faces p et h^1 afin de mesurer deux des indices, qu'on trouve égaux, pour la lumière jaune du sodium, à 1,776 et 1,736, à 2 ou 3 unités près du troisième ordre. Le degré de netteté des faces ne permet pas une plus grande approximation.

On admet provisoirement comme valeur approximative de l'indice moyen 1,74.

Sur les belles lames de clivage, parallèles à p , du produit A 58, en se servant du microscope à lumière convergente de M. Bertrand, et prenant des images à la chambre claire conformément à un procédé d'observation décrit jadis par moi (*), on observe que l'axe optique, vu dans l'air, fait avec la normale à la lame p , un angle de $15^{\circ}12'$ (moyenne de 4 observations dans 4 quadrants différents), soit $8^{\circ}40'$ en valeur absolue en admettant l'indice moyen 1,74.

(*) *Bull. Soc. Min.*, t. V. 1882, p. 77.

On observe en outre que le plan mené par la normale à la lame et l'axe optique fait, avec la trace T du plan mené par la normale, perpendiculairement au plan des axes optiques, un angle de 9° . Le pied de cette trace T, sur le plan des axes, tombe entre l'axe optique et la bissectrice aiguë qui est négative. Si l'on mène la normale à l'arête pt , et si l'on considère comme positive la direction allant de la normale à p vers l'arête obtuse, l'angle de cette direction positive compté dans le sens des aiguilles d'une montre, avec la trace T, est égal à $15^\circ 13'$.

En utilisant des lames de clivage bien nettes, parallèles à la face t , on constate que la direction d'extinction fait avec la normale à l'arête obtuse tp , et à partir de cette normale un angle égal à $26^\circ 54'$ compté dans le sens des aiguilles d'une montre.

De ces diverses données, il est facile de déduire les éléments suivants :

$$\begin{array}{ccc} 2V = 55^\circ 47' & & \\ \alpha = 1,776 & \beta = 1,738 & \gamma = 1,617 \end{array}$$

ce qui vérifie suffisamment la supposition $\beta = 1,74$ qui avait servi de point de départ.

On a de plus

$$\gamma t = 63^\circ 0' \quad \gamma p = 27^\circ 43' \quad \gamma h^1 = 29^\circ 11'$$

Ces résultats, représentés graphiquement sur la *fig. 2*, ne sont évidemment qu'approximatifs, en raison des procédés d'observation, très indirects, au moyen desquels ils ont été établis. Ils permettent cependant d'avoir une idée assez précise sur la grandeur de la biréfringence et sur l'orientation de l'ellipsoïde optique.

Comme vérification, on constate que l'angle calculé de l'une des sections principales de p avec l'arête pt est égal à $-23^\circ 14'$. Le même angle, déduit de la moyenne de nombreuses observations (d'ailleurs assez imparfaites,

car l'extinction est toujours assez mauvaise), a été trouvé égal à $- 23^{\circ}$.

Il ne reste plus qu'à déterminer la composition chimique de ce borate triclinique. L'analyse est ici facile, car l'échantillon est remarquablement homogène. M. Le Chatelier a trouvé, sur 100 parties :

MnO 61,0

La théorie pour $2 B^2O^3, 3 MnO$ exigerait :

MnO 60,3

Le borate triclinique est donc un borate sesquibasique.

M. Le Chatelier en a trouvé la densité égale à 3,61.

En résumé, l'acide borique et le protoxyde de manganèse sont susceptibles de former, par fusion à haute température, des composés cristallins de deux natures.

L'un est un borate tribasique, $B^2O^3, 3MnO$, de forme rhombique;

L'autre est un borate sesquibasique, $2B^2O^3, 3MnO$, de forme triclinique.

Ces borates peuvent se former à la fois dans la même préparation.

Borates de magnésie. — Notre collection possède deux échantillons de borate de magnésie préparés par Ebelmen, qui sont cotés 54 et 55.

Le catalogue remis par M^{me} Ebelmen s'exprime ainsi à leur égard.

« 54. — Borate de magnésie obtenu dans un creuset brasqué de charbon avec les proportions d'acide borique et de magnésie qui constituent le borate représenté par la formule $BO^3, 3MgO$ ou

Acide borique 35
Magnésie. 60

55. — Borate de magnésie obtenu par la fusion dans un étui brasqué de charbon, de

Magnésie.	75
Acide borique fondu.	45 »

Le n° 55 se présente sous la forme d'un gâteau, montrant à la surface, noircie par le charbon, des cristaux prismatiques mal terminés et engagés dans la masse. La cassure présente une substance blanche très translucide, très homogène, découpée par des faces de clivage très nettes et assez larges. Les clivages, assez faciles, sont au nombre de deux qui paraissent égaux; ils font entre eux un angle de $65^{\circ} 20'$.

On s'assure aisément que la substance est rhombique, que la bissectrice aiguë positive est parallèle à l'intersection des clivages; le plan des axes est parallèle au plan $g^1(010)$, en appelant $m(110)$ les faces de clivage. L'écartement des axes observé est égal à $43^{\circ} 18'$, avec une dispersion faible $\rho > v$.

J'ai pu, avec un petit prisme formé par les clivages naturels, mesurer les indices maximum et minimum α et γ , et j'ai trouvé

$$\alpha_D = 1,6748 \quad \gamma_D = 1,6527.$$

De ces nombres dans lesquels d'ailleurs on ne peut compter sur la dernière décimale qu'à 4 ou 5 unités près, et de la mesure de l'angle $2E = 43^{\circ} 18'$, on déduit

$$\beta_D = 1,6537.$$

J'ai pu trouver un cristal, présentant un sommet, qui m'a permis de déterminer complètement la forme cristalline. Le sommet était formé par les faces $e^1(011)$, $a^1(101)$, $a^{3/4}(403)$.

		Angles des normales.	
		Mesurés.	Calculés.
* <i>mm</i>	(110) ($\bar{1}\bar{1}0$)	65° 20'	»
	(110) ($\bar{1}\bar{1}0$)	114° 40'	»
<i>mh</i> ¹	(110) (100)	32° 40'	32° 40'
* <i>me</i> ¹	(110) (011)	74° 56'	»
<i>g</i> ¹ <i>e</i> ¹	(010) (011)	»	61° 43'
<i>e</i> ¹ <i>e</i> ¹	(011) ($\bar{0}\bar{1}\bar{1}$)	»	57° 34'
<i>h</i> ¹ <i>e</i> ¹	(100) (011)	89° 58'	90° 0'
<i>h</i> ¹ <i>a</i> ¹	(100) (101)	49° 1' (lueur)	49° 24'
<i>h</i> ¹ <i>a</i> ^{3/4}	(100) (403)	40° 36' (lueur)	41° 12'

Les paramètres sont en conséquence

$$0,6412 \quad 1 \quad 0,5494.$$

Il n'est donc pas douteux que ce borate ne soit le borate tribasique B²O³, 3 MgO, pleinement isomorphe avec le borate tribasique de manganèse dont les paramètres sont

$$0,6511 \quad 1 \quad 0,5351.$$

L'échantillon 54, qui se présente à peu près sous la même forme extérieure que le premier paraît, au premier abord, dans la cassure, formé de la même substance, sauf que les cristaux ont des dimensions transversales plus petites et affectent une structure rayonnée. Mais un examen plus attentif fait découvrir que, entre les grands prismes de clivage du premier borate, se trouve un autre borate, en longs prismes allongés, à section transversale assez faible (0^m,5 environ), et remarquables surtout parce qu'ils sont coupés par un clivage oblique très facile, ayant un vif éclat nacré. Ces petits prismes ne forment qu'une partie relativement faible de la masse, mais ils sont répandus dans toute la masse. Ils ont évidemment cristallisé après le premier borate qu'ils enveloppent en quelque sorte.

Ces prismes peuvent être mesurés avec précision; ils portent, dans la zone verticale, 4 paires de faces parallèles que j'ai désignées par *m* ($\bar{1}\bar{1}0$), *t* (110), *h*¹ (100),

$g^1(010)$. Je désigne par $p(001)$ la face du clivage nacré. Les cristaux appartiennent au système triclinique. Je n'ai pu trouver, en dehors de la zone verticale, d'autre face que le clivage p ; les paramètres du cristal n'ont donc pu être complètement déterminés. Voici le résultat des mesures qui ont pu être effectuées :

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
* $h^1t(100)(110)$ adjt.	66°22'	»
* $g^1t(010)(110)$ adjt.	37°52'	»
$g^1h^1(010)(100)$ sur t	104°14'	»
$g^1m(010)(\bar{1}10)$ adjt.	29°5'	29°9'
$h^1m(100)(\bar{1}10)$ adjt.	46°41'	46°37'
[$mt(\bar{1}10)(110)$ sur g^1	66°57'	67°3'
* $ph^1(001)(100)$ en avant	55°43'	»
* $pg^1(001)(010)$ à droite	96°31'	»
$pt(001)(110)$ en avant	75°26' (appr.)	75°41'
$pm(001)(\bar{1}10)$ en arrière	68°38' (appr.)	68°26'

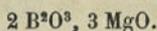
D'où l'on déduit les paramètres :

$$\begin{array}{ccc}
 1,795 & 1 & ? \\
 a & b & c \\
 xy = 77^\circ 12' & & z = 75^\circ 46' \\
 xz = 123^\circ 46' & & y = 124^\circ 17' \\
 yz = 91^\circ 47' & & x = 83^\circ 29'
 \end{array}$$

Malgré les lacunes laissées par les mesures goniométriques, l'isomorphisme est évidemment parfait avec le borate sesquibasique de manganèse. L'isomorphisme se traduit non seulement par le rapprochement très grand de ceux des paramètres qui sont connus dans le borate magnésien, mais encore par la position et la facilité relative des clivages. Dans les deux substances il y a un clivage p très facile, à éclat nacré, et un clivage moins facile, t .

On n'a pu analyser le borate triclinique de magnésie qui ne se trouve, dans les préparations, qu'en petits cristaux disséminés, mais l'isomorphisme avec le borate ses-

quibasique de manganèse ne laisse aucun doute sur leur composition qui doit être exprimée par la formule



Je n'ai pu déterminer complètement les propriétés optiques de ce borate magnésien, mais on constate très aisément qu'un axe optique, assez rapproché d'une bissectrice négative, est à très peu près perpendiculaire au clivage nacré p . Cette quasi-perpendicularité est plus grande que dans le borate de manganèse. L'angle compris entre l'axe optique et la normale à p est, en effet, de $9^{\circ},5$ seulement dans l'air, soit $5^{\circ},6$ vrai, en calculant avec l'indice 1,7 mesuré approximativement par le procédé de Chaulnes.

La bissectrice aiguë est encore négative, mais l'orientation de l'ellipsoïde optique est très différente de ce qu'elle est dans le borate de manganèse. Le plan des axes fait en effet avec l'arête pt un angle de 79° environ, ayant ainsi une direction presque perpendiculaire à celle qu'elle a dans le borate de manganèse.

Il est fort curieux de constater que, malgré les différences que présentent les ellipsoïdes optiques des deux borates sesquibasiques de manganèse et de magnésie, une propriété commune persiste pour témoigner en quelque sorte de leur isomorphisme, celle de l'existence d'un axe optique presque normale au plan de clivage facile. Cela est d'autant plus surprenant que l'orientation de l'axe optique est en général considérée comme une particularité d'ordre secondaire, puisqu'elle dépend non seulement de l'orientation des axes de l'ellipsoïde, mais encore des grandeurs relatives de ces axes. Nous verrons tout à l'heure que dans le borate sesquibasique de zinc, isomorphe à ceux de magnésie et de manganèse, l'axe optique presque normal au clivage facile se retrouve encore à sa place.

Borate de cobalt. — Ebelmen a fait deux préparations dans les proportions suivantes :

A 64.	1,42 B ² O ³ + 3 CbO
A 63.	1,92 B ² O ³ + 3 CbO

Elles se présentent l'une et l'autre sous la forme de gâteaux très minces composés de petits prismes d'un beau rouge violet.

Tous les cristaux, d'ailleurs très petits, que l'on peut séparer de l'une ou de l'autre de ces préparations, sont orthorhombiques et isomorphes avec le borate tribasique de magnésie. On les trouve formés des faces *m*, *m*, *h*¹

	B ² O ³ , 3 MgO
<i>mm</i> = 65° 45'	65° 20'
<i>mh</i> ¹ = 32° 52'	32° 40'

Il paraît pourtant s'être formé des borates sesquibasiques, mais les cristaux sont trop petits pour être mesurés.

Mélanges isomorphes.

Borate de magnésie et de manganèse. — Ebelmen a fait deux préparations de borate double de magnésie et de manganèse avec les proportions suivantes :

A 59. — Magnésie . . . 25 ^{gr}	} soit 2 B ² O ³ + (1,51 MgO + 1,56 MnO).
Oxyde rouge	
de mangan. 49 ^{gr}	
Acide borique fondu . . . 58 ^{gr}	
A 60. — Magnésie . . . 10 ^{gr}	} soit 2,36 B ² O ³ + (1,50 MgO + 1,52 MnO).
Protoxyde de	
manganèse. 48 ^{gr}	
Acide borique fondu . . . 28 ^{gr}	

Ces deux préparations diffèrent beaucoup en apparence. A59 est une masse blanche à l'intérieur, très légèrement

rosée à la surface ; à cassure compacte, légèrement cristalline ; montrent des cavités nombreuses et assez petites disséminées dans la masse. Deux ou trois de ces cavités, beaucoup plus larges et placées à la surface présentent des cristaux prismatiques rosés, très nets, généralement engagés par leurs deux extrémités. Ces prismes sont traversés par un clivage oblique à éclat fortement nacré.

A 60 est un agrégat cristallin formé de cristaux assez gros, qui s'isolent assez aisément les uns des autres. Ces cristaux sont des primes très fortement cannelés et traversés par un clivage oblique à éclat fortement nacré. Un autre clivage vitreux, beaucoup moins facile, est dirigé parallèlement à la hauteur des prismes.

Un examen cristallographique superficiel permet donc de présumer l'identité des deux préparations. Les mesures goniométriques précises confirment absolument cette conclusion. Les cristaux de l'une et de l'autre préparation sont des mélanges isomorphes des borates sesquibasiques de magnésie et de manganèse.

Je n'ai pu, faute de modifications obliques en nombre suffisant, déterminer complètement les paramètres cristallins. Les résultats donnés par l'observation sont consignés dans le tableau suivant :

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
* h^1t (100) (110) adj ^t	67° 1'	»
* g^1t (010) (110) adj ^t	37° 36'	»
h^1g^1 (100) (010) sur t	104° 37'	»
g^1m (010) (110) adj ^t	28° 47'	28° 47'
h^1m (100) (110) adj ^t	46° 36'	46° 36'
mt (110) (110) sur g^1	66° 23'	66° 23'
g^1h^3 (010) (210) sur t	62° 43'	62° 43'
th^3 (110) (210) adj ^t	24° 58'	24° 58'
h^1h^3 (100) (210) adj ^t	42° 3'	»

32 EXAMEN DE DIVERSES SUBSTANCES CRISTALLISÉES

ph^1 (001) (100) en avant	55°13'	55°26'
* pg^1 (001) (010) à droite	96°26'	»
* pt (001) (110) en avant.	75°27'	»
pm (001) (110) en arrière	»	68°30'

D'où l'on déduit les paramètres :

	1,821	1	?
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
$xy = 76°42'$			$z = 75°23'$
$xz = 124°6'$			$y = 124°34'$
$yz = 92°13'$			$x = 83°34'$

Clivage nacré très facile suivant p .

Clivages vitreux moins faciles suivant t et g^1 .

Le tableau ci-dessous donne la comparaison entre les paramètres des borates sesquibasiques de magnésie, de manganèse, et de magnésie avec manganèse :

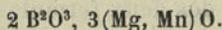
	Borates sesquibasiques		
	de magnésie.	de magnésie et de manganèse.	de manganèse.
a	1,795	1,821	1,837
xy	77°12'	76°42'	76°26'
xz	123°46'	124°6'	123°58'
yz	91°47'	92°13'	92°6'

On voit que les paramètres, relatifs au plan xy , du mélange isomorphe sont presque exactement les moyennes arithmétiques respectives de ceux des borates correspondants. Il n'en est pas de même pour les paramètres angulaires des plans xz et yz . Mais il faut remarquer que ces angles ne sont pas déterminés avec la même précision que les autres, parce que la face de clivage nacré p n'est jamais parfaitement plane.

Quant aux propriétés optiques, je ne les ai pas déterminées d'une façon complète, mais j'ai constaté très aisément que, de même que cela a lieu pour les borates de

magnésie et de manganèse, un axe optique, qui n'est pas très écarté d'une bissectrice négative, est presque perpendiculaire au clivage nacré *p*.

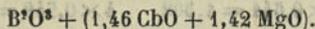
L'examen cristallographique ne laisse aucun doute sur la composition de ce borate triclinique, dont la formule doit être nécessairement



C'est ce qu'a pleinement confirmé l'analyse de la préparation A59 faite par M. Le Chatelier. Cette analyse, faite sur 0^{gr},200 de matière, a donné :

	En centièmes.		En molécules.	
MnO	0,075	37,50	1,055	} 3
MgO	0,034	17,00	0,825	
B ² O ³ (par différ.) .	0,091	45,50	1,300	2 07
	0,200	100,00		

Borate de magnésie et cobalt. — Ebelmen a préparé un borate de magnésie et de cobalt en faisant fondre le mélange



La masse, d'une très belle couleur rose, montre des cristaux qui, tous, sont isomorphes au sesquiborate magnésien.

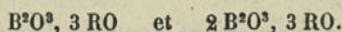
	2 B ² O ³ , 3 (Cb, Mg)O.	2 B ² O ³ , 2 MgO.
<i>mt</i>	113° 27'	113° 13'
<i>mh</i> ¹	46° 46'	46° 42'
<i>th</i> ¹	66° 25'	66° 32'
<i>ph</i> ¹	55° approx.	55° 46'

La face *p* correspond, comme dans les autres composés isomorphes, à un clivage nacré facile montrant un axe optique qui lui est presque perpendiculaire.

Ce résultat confirme l'existence d'un sesquiborate de cobalt triclinique.

RÉSUMÉ.

En résumé, les oxydes de la série magnésienne MgO , MnO , CbO , ne forment, dans les conditions des expériences d'Ebelmen, que deux séries de borates qui correspondent à l'une des deux formules :



Ces borates sont respectivement isomorphes entre eux et peuvent se mélanger isomorphiquement.

Les borates tribasiques sont rhombiques.

Il est curieux de constater que les paramètres cristallographiques de ces borates sont à peu près dans des rapports simples avec ceux du péridot qu'Ebelmen rapprochait du borate tribasique de magnésie. On a en effet :

$B^2O^3, 3MgO$, Par. .	0,644	1	0,549
$SiO^2, 2MgO$	0,587	1	0,466
ou	1,265	2,15	1

Or il est aisé de voir que

$$2 \times 0,644 = 1,302 \quad 4 \times 0,549 = 2,14$$

Les borates sesquibasiques sont tricliniques avec un réseau pseudorhombique; ils sont remarquables par un clivage nacré très facile qui coupe obliquement les prismes et auquel un axe optique est toujours à peu près perpendiculaire.

Les borates préparés par Ebelmen sont d'ailleurs les premiers borates anhydres, à base protoxyde, qui aient encore été complètement et cristallographiquement décrits (*). Il est profondément regrettable que l'illustre

(*) Schabus a, il est vrai, décrit un borate de potasse clinorhombique, auquel il a attribué la formule $B^2O^3K^2O$; mais l'analyse de ce sel n'a pas été faite.

savant, qui les avait obtenus, n'ait pu lui-même faire connaître leur composition et leurs propriétés physiques. Cette étude, si tardive, me paraît cependant présenter, à l'heure actuelle, un véritable intérêt.

La composition des borates anhydres a encore été en effet peu étudiée. Le seul travail, de quelque étendue, qui ait été publié sur ce sujet, est dû à M. Ditte (*). Ce savant a annoncé avoir isolé les combinaisons suivantes :

2 B ² O ³ , 3 CaO	B ² O ³ , CaO	3 B ² O ³ , 2 CaO	2 B ² O ³ , CaO
2 B ² O ³ , 3 StO	B ² O ³ , StO	3 B ² O ³ , 2 StO	2 B ² O ³ , StO
.	3 B ² O ³ , 2 BaO	2 B ² O ³ , BaO
2 B ² O ³ , 3 MgO	B ² O ³ , MgO

Aucun de ces sels n'a été cristallographiquement étudié; il peut ainsi rester des doutes sur l'homogénéité des produits analysés par M. Ditte, et par conséquent sur la réalité de l'existence des types multiples qu'il a admis.

L'étude des produits d'Ebelmen montre que l'existence du type 2B²O³, 3RO est certaine, au moins pour le magnésium et le manganèse; et qu'il faut y joindre, comme également hors de doute, au moins pour le magnésium, le manganèse et le cobalt, le type B²O³, 3RO qu'avait annoncé Ebelmen lui-même pour le magnésium, et que Bénédicte a trouvé aussi pour le sodium.

Quant aux autres types admis par M. Ditte, ils ne se sont pas formés dans les conditions où s'est placé Ebelmen.

(*) C. R., t. LXXVII, p. 783-892.

Les résultats obtenus par ces analyses ont permis de constater que les cristaux obtenus n'ont pas la même forme cristalline que ceux obtenus par les autres procédés. Les cristaux obtenus par le procédé de précipitation sont plus petits et plus nombreux que ceux obtenus par les autres procédés. Les cristaux obtenus par le procédé de précipitation sont plus petits et plus nombreux que ceux obtenus par les autres procédés.

2 200	2 200	2 200	2 200	2 200	2 200
2 200	2 200	2 200	2 200	2 200	2 200
2 200	2 200	2 200	2 200	2 200	2 200

Les cristaux obtenus par le procédé de précipitation sont plus petits et plus nombreux que ceux obtenus par les autres procédés. Les cristaux obtenus par le procédé de précipitation sont plus petits et plus nombreux que ceux obtenus par les autres procédés. Les cristaux obtenus par le procédé de précipitation sont plus petits et plus nombreux que ceux obtenus par les autres procédés.

1000 1000 1000 1000 1000 1000

NOTE

SUR UNE DISPOSITION PARTICULIÈRE

DU GONIOMETRE DE WOLLASTON

Par M. ER. MALLARD, inspecteur général des mines.

Dans les laboratoires, la mesure des angles dièdres des cristaux se fait ordinairement au moyen d'un goniomètre de Wollaston, en se servant, comme signal lumineux, d'une fente horizontale pratiquée dans un écran qui recouvre un bec de gaz. Comme point de repère, on se sert ou d'une ligne quelconque placée dans le plan perpendiculaire à la fente horizontale et à l'axe de rotation du goniomètre, ou, ce qui vaut beaucoup mieux, de l'image de la fente donnée par un petit miroir fixé au pied du goniomètre. Le miroir doit être disposé de manière que le plan en soit parallèle à l'axe de rotation du goniomètre.

Les mesures sont affectées de deux erreurs : l'une provient de la variation, presque inévitable, de la position de l'œil pendant la mesure ; l'autre, plus considérable, en général, résulte de l'impossibilité de placer le cristal de manière que l'axe de rotation soit exactement compris dans le plan bissecteur du dièdre à mesurer (*).

(*) Voir, pour plus de détails, Mallard, *Traité de Cristallographie*, t. I, p. 221-226.

Ces deux erreurs s'annulent lorsque la distance du signal lumineux au cristal est infinie. Pratiquement, cette distance ne peut guère dépasser quelques mètres, ce qui rend possible des erreurs de quatre à cinq minutes.

Pour des mesures très précises, on emploie un goniomètre à axe vertical, sur lequel sont installés un collimateur dont la fente lumineuse sert de signal, ainsi qu'une lunette pointant à l'infini, et pourvue d'un réticule, à l'aide de laquelle on observe les images réfléchies sur les faces cristallines. Ce procédé supprime bien les deux erreurs fondamentales que nous avons définies, mais il rend les mesures beaucoup plus pénibles et plus longues. Non seulement, en effet, l'interposition de la lunette entre l'œil et le cristal fait perdre beaucoup de lumière, mais encore et surtout elle rend beaucoup plus laborieuse l'orientation du cristal sur l'axe de rotation, ce qui est la partie la plus délicate et la plus longue de la mesure.

Pour concilier, autant que possible, la précision du goniomètre à lunette avec la facilité d'emploi du goniomètre Wollaston ordinaire, j'emploie une disposition tellement simple qu'elle mérite à peine une description détaillée, mais qui m'a paru présenter de tels avantages que je crois utile de la signaler aux cristallographes.

Cette disposition consiste essentiellement à subsister au signal lumineux, placé le plus loin possible du goniomètre, une fente lumineuse placée au foyer d'une large lentille. On a ainsi un vrai collimateur qu'on place très près du goniomètre.

Le miroir ordinaire du gonfomètre est rapproché du cristal de manière à recevoir en même temps que celui-ci, le faisceau lumineux émergeant du collimateur. On prend pour ligne de repère l'image de la fente lumineuse réfléchie par le miroir.

Le signal lumineux et la ligne de repère pouvant être

considérés comme étant l'un et l'autre à l'infini, les erreurs de parallaxe sont éliminées. Les mesures se font avec une aussi grande commodité qu'avec la disposition ordinaire. En outre, la lumière réfléchie par les faces cristallines est plus intense et tout l'appareil comprenant le goniomètre, le signal lumineux, la ligne de repère, est rassemblé dans un petit espace.

Il ne me reste plus qu'à donner les détails de l'installation représentée Pl. XV, *fig. 3*.

L est la lentille du collimateur; elle doit être assez large pour que la partie centrale du faisceau tombant sur le cristal A, le miroir M reçoive encore une partie de ce faisceau.

Je me sers d'une lentille de 0^m,10 de diamètre; elle n'a pas besoin de posséder un achromatisme parfait. Il suffit que la partie centrale du faisceau qui tombe sur le cristal soit achromatique. L'image réfléchie par le miroir M est rendue achromatique par des verres colorés P placés devant ce miroir.

C est le cylindre du collimateur, noirci intérieurement; il est maintenu par les deux montants à rainure QQ, entre lesquels il peut glisser, et auxquels il peut être fixé par les vis de pression *q*. Au besoin on peut disposer les choses de manière que le cylindre puisse s'incliner sur l'horizontale en tournant autour d'un axe porté par les vis *q*; mais cela n'est pas indispensable.

En avant, le cylindre est fermé par la lentille L, portée par un tuyau qui entre à frottement dans le cylindre C; on fixe ce tuyau au moyen de la vis de pression *c*, lorsque le fond postérieur du cylindre est exactement le plan focal de la lentille.

Le fond postérieur du cylindre est plein, sauf un orifice central assez large. En avant de cet orifice glisse, dans une rainure convenablement disposée, une lame métallique RR, représentée en détail (*fig. 4*). Elle porte

des fentes de diverses formes, f , f' , f'' , qui peuvent successivement venir se placer au centre de l'ouverture. Lorsque l'une de ces fentes vient se placer dans cette position, un petit cran d'arrêt l'y arrête.

La fente est éclairée par un bec de gaz G.

Pour les cristaux ordinaires, j'emploie la fente (f) (*fig. 4*), employée par Websky. Lorsque les cristaux sont très peu réfléchissants et qu'on a besoin de beaucoup de lumière, j'emploie la fente (f').

On peut, dans les mesures, superposer l'image de la fente lumineuse vue par réflexion sur le cristal avec celle de la même fente vue par réflexion sur le miroir. Lorsque cette superposition est obtenue, le miroir et la face cristalline sont parallèles; la superposition ne cessera donc pas d'avoir lieu lorsqu'on changera d'une façon quelconque la position relative du goniomètre et du collimateur, ou même lorsqu'on déplacera la fente lumineuse d'une façon quelconque dans le plan focal.

Mais on n'arrive pas à une grande précision, surtout lorsque l'image donnée par la face cristalline n'est pas très bonne, en superposant les deux images de la même fente. Il est préférable de disposer un peu au-dessous de la fente que j'appellerai *fente-signal*, et qui a l'une des formes (f) et (f'), une autre fente très étroite f_1 (*fig. 4*), parallèle à la direction de la première et que j'appellerai *fente-réticule*. Elle est, comme la fente-signal, croisée perpendiculairement par une petite fente également très déliée et qui doit être le prolongement exact de celle qui croise la fente-signal.

La fente réticule, très déliée, ne donne pas, en général, d'image nette par réflexion sur les faces cristallines; mais elle donne, par réflexion sur le miroir, une image très nette, colorée par le verre P. C'est avec cette image que l'on superpose l'axe de l'image de la fente-signal réfléchi par le cristal, en se servant de l'image de la fente-réticule

vue sur le miroir, comme d'un véritable réticule. On arrive ainsi à une exactitude de pointé qui, avec de bonnes faces cristallines, atteint aisément la minute et même la demi-minute.

Il est vrai qu'avec ce mode opératoire, la face cristalline et le miroir ne sont plus rigoureusement parallèles lorsque l'image cristalline de la fente-signal est superposée à l'image du miroir de la fente réticule. La position du goniomètre par rapport au collimateur n'est donc plus indifférente, et il est nécessaire que l'axe du goniomètre soit perpendiculaire à celui du collimateur. Mais l'angle que fait, au moment de la superposition des images, la face cristalline avec le miroir est égal à l'angle que sous-tend, du centre optique de la lentille comme centre, la distance des deux fentes. Cet angle, qui est de 2° à 3° seulement, est assez petit pour que la position relative du goniomètre et du collimateur n'ait besoin que d'être fixée d'une manière très grossièrement approchée.

Le miroir peut faire, avec l'horizontale, un angle de 40° à 50° , et être tout à fait fixe, réserve faite du léger mouvement nécessaire au réglage. Ce réglage, qui a pour but de placer le miroir rigoureusement parallèle à l'axe de rotation, se fait très simplement en plaçant à l'extrémité de l'axe du goniomètre une lame à faces parallèles, tel qu'un petit fragment très régulier de clivage de spath. Le miroir est réglé lorsque les deux images données par chacune des deux faces de la lame peuvent être amenées, par la rotation de l'axe du goniomètre, en superposition avec l'image réfléchie par le miroir.

Les cristaux à mesurer pouvant avoir des dimensions très différentes, il est commode de pouvoir déplacer le miroir, tout en le maintenant parallèle à lui-même. Il est donc utile de donner au support du miroir trois mouvements de translation perpendiculaires entre eux, dont l'un suivant la direction de l'axe du goniomètre.

La disposition que je viens de décrire peut s'adapter à tous les goniomètres, mais les mesures deviennent beaucoup plus aisées lorsqu'on adopte pour le cristal le mode de support imaginé par M. Groth. Le cristal, fixé avec de la cire sur un petit disque circulaire d (fig. 3), peut recevoir, comme cela est indispensable, deux mouvements de rotation autour de deux droites perpendiculaires à l'axe de rotation de l'appareil. Ces mouvements sont produits par des glissements sur deux arcs de cercle perpendiculaires entre eux et ayant leur centre commun situé vers le milieu du cristal A, de sorte que les changements d'orientation du cristal ne déplacent pas trop considérablement son centre de gravité. Les deux mouvements de glissement sur les arcs de cercle sont obtenus en agissant sur les vis vv et $v'v'$.

Bien qu'il ne soit nullement nécessaire, pour l'exactitude de la mesure, que le cristal A ait, par rapport à l'axe de rotation du goniomètre, une position déterminée, il est beaucoup plus commode que cet axe soit à peu près à égale distance des faces de la zone que l'on mesure, de telle sorte que l'œil n'ait pas trop à se déplacer lorsqu'on passe de l'observation de l'image réfléchie par une face à celle de l'image donnée par la face voisine. Lorsque les faces sont très petites, on risque en effet, pendant ce déplacement, de ne plus retrouver aisément la position que l'œil doit prendre pour recevoir le faisceau lumineux réfléchi par la petite face. Par cette raison, il est commode d'employer le dispositif imaginé aussi par M. Groth, et de fixer tout le système qui tient le cristal à deux glissières planes g et g' , qui, au moyen des vis u et u' , permettent de donner au cristal deux mouvements de translation dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation.

Mesure des indices. — Lorsqu'on mesure les inclinai-

sons mutuelles de faces cristallines appartenant à une même zone, il arrive très souvent qu'avec les images réfléchies par les faces, il se présente à l'œil des images colorées produites par réfraction à travers deux faces de la zone convenablement inclinées. Il est très important de pouvoir se servir de ces images, souvent très nettes, pour en tirer les indices du cristal suivant une direction de propagation connue.

Pour adapter le goniomètre à cette mesure, il suffit de disposer le miroir de manière qu'il puisse tourner autour de l'axe de rotation du goniomètre.

Supposons le prisme P (*fig. 5*), recevant le faisceau parallèle AC du collimateur, et le renvoyant, après réfraction suivant l'angle de déviation minima, dans la direction AD. L'angle δ de la direction minima est DAC'. On fait tourner le miroir MM₁ jusqu'à ce que l'image réfractée se superpose à l'image réfléchie par MM₁. A ce moment, il est clair que l'angle δ de la déviation minima étant le supplément de AOF, l'angle M₁OF, que forme le miroir avec la déviation du faisceau lumineux convergent du collimateur est égal à $\frac{\delta}{2}$. Il suffira donc, pour connaître l'angle δ , de mesurer l'angle que forme MM₁ avec OF. Il faudrait, pour y arriver, faire tourner le miroir, préalablement fixé au linbe divisé, jusqu'à ce que l'angle M₁OF soit nul, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'image de la fente spectroscopique donné par le miroir MM₁ vienne se superposer avec la fente elle-même. Cette superposition est impossible à obtenir rigoureusement, car dès qu'elle a lieu, l'image s'évanouit. Mais il est aisé de tourner la difficulté, en superposant au moment de la déviation minima, l'image réfractée, non pas avec l'image réfléchie de la fente spectroscopique F, mais avec celle d'une fente F' placée dans le plan focal un peu au-dessous de la première.

Le faisceau émis par cette fente F' a la direction OF'.

On a évidemment

$$DAC = AOF = AOF' - FOF',$$

et par conséquent

$$\frac{\delta}{2} = M_1OF' + \frac{FOF'}{2}.$$

Si l'on fait tourner le miroir jusqu'à ce que l'image réfléchie de F se superpose à F' vue directement, il aura, au moment de cette superposition, une position telle qu'il bisse l'angle FOF'.

L'angle $M_1OM'_1$ dont on aura tourné le miroir sera ainsi égal à $M_1OF' + \frac{FOF'}{2}$, c'est-à-dire à $\frac{\delta}{2}$.

Le miroir doit donc non seulement pouvoir recevoir trois mouvements de translation perpendiculaires entre eux, mais encore pouvoir tourner d'angles connus autour de l'axe de rotation du goniomètre.

Pour réaliser ces conditions multiples, le miroir M est fixé sur un manchon rectangulaire mobile, grâce à la vis t , le long d'une tige rectangulaire à crémaillère T, parallèle au limbe, horizontale quand le miroir est horizontal; la tige T est fixée elle-même à l'extrémité d'une tige T' perpendiculaire à la première et enfilée dans un manchon carré dans lequel elle peut glisser en agissant sur la vis t . Ce manchon lui-même est enfilé sur une troisième tige rectangulaire T'' le long de laquelle il se déplace en agissant sur la vis t'' . La tige T'' est fixée à un bras BB qui se termine à une de ses extrémités par un cylindre creux I embrassant l'arbre du goniomètre.

La tige T'' est reliée au bras BB par une pièce N mobile autour d'un arbre b et fixée par une vis à ressort antagoniste f . En agissant sur cette vis, on peut donner un petit mouvement à la tige T'' et par conséquent au miroir, de manière à placer celui-ci dans une position exactement parallèle à l'axe du goniomètre.

Le bras BB glisse à son extrémité libre le long d'un axe de cercle K relié, dans une position invariable, au support du goniomètre. Lorsque le miroir doit rester fixe, pour la mesure des angles des cristaux, le bras BB est, au moyen d'une vis de pression y , relié invariablement à l'arc KK. Pour la mesure des indices, on desserre la vis y , et on relie, au moyen de la vis z , la barre BB et par conséquent le miroir au limbe divisé du goniomètre.

On peut, avec cet appareil, faire les divers pointés à une minute près, ce qui permet de compter, pour les indices, sur une approximation de 4 à 5 unités du quatrième ordre décimal.

Je citerai pour exemple une mesure faite sur une prisme de phénacite que Sénarmont avait jadis fait travailler. J'ai obtenu, avec la lumière du sodium, $\omega_D = 1,6537$. M. Des Cloizeaux donne $\omega_D = 1,6540$.

Le plan de la glise à son extrémité libre
 est de section K rectil, dans une position in-
 support au générique. Lorsque le miroir doit
 pour la mesure des angles des cristaux, le plan
 moyen d'une vis de pression V, rectil, l'axe
 des KK, l'axe la mesure des indices, on passe
 et on rectil, on moyen de la vis à la partie libre
 égale le miroir au limbe divisé en centes
 du tout, avec cet appareil, l'axe des divers
 une minute près, ce qui permet de compter
 indices, sur une approximation de 1 à 5 mil-
 lièmes de degré décimal.

Le cercle pour exemple une mesure l'ax
 qu'une de précision que généralement avait
 travail, l'ax obtenu, avec la lumière
 1827. M. Des Choixaux de l'ax =

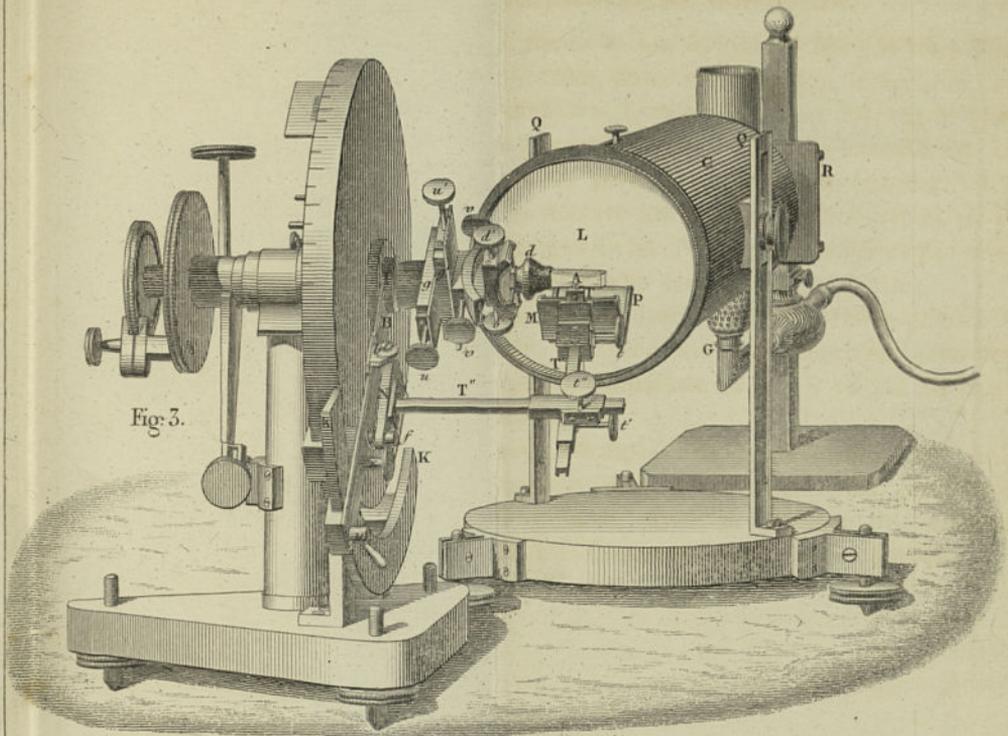


Fig. 3.

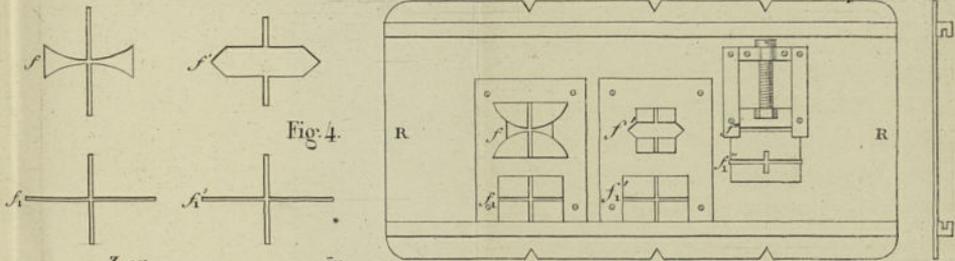


Fig. 4.

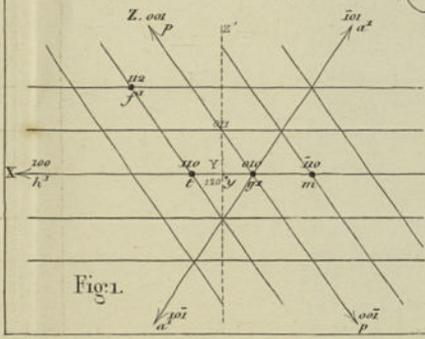


Fig. 1.

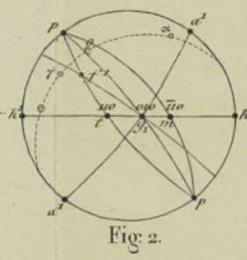


Fig. 2.

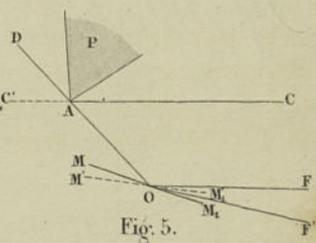


Fig. 5.

Annales des Mines, 8^e Série Tome XIII, pages 427 et suiv. pages 460 et suiv., pages 469 et suiv.



IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION
RUE RACINE, 26, A PARIS.

