

# ANNALES SCIENTIFIQUES DE L'É.N.S.

P. HAUTEFEUILLE

**Sur la reproduction de quelques minéraux et sur une nouvelle méthode pour obtenir des combinaisons cristallisées par la voie sèche**

*Annales scientifiques de l'É.N.S. 2<sup>e</sup> série*, tome 9 (1880), p. 363-408

[<http://www.numdam.org/item?id=ASENS\\_1880\\_2\\_9\\_363\\_0>](http://www.numdam.org/item?id=ASENS_1880_2_9_363_0)

© Gauthier-Villars (Éditions scientifiques et médicales Elsevier), 1880, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales scientifiques de l'É.N.S. » (<http://www.elsevier.com/locate/ansens>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques  
<http://www.numdam.org/>

SUR LA

# REPRODUCTION DE QUELQUES MINÉRAUX

ET SUR UNE

NOUVELLE MÉTHODE POUR OBTENIR DES COMBINAISONS CRISTALLISÉES  
PAR LA VOIE SÈCHE,

PAR M. P. HAUTEFEUILLE.

---

Malgré les découvertes dont les chimistes contemporains ont enrichi la Minéralogie, il est encore un grand nombre de minéraux dont l'histoire complète reste à tracer. Les minéraux constitutifs des roches granitiques et éruptives sont ceux dont l'étude chimique est le moins avancée. Les progrès de la Docimasia ont permis de fixer la composition des minéraux que les géologues ont observés dans les terrains de cristallisation ; mais la recomposition de ces minéraux avec toutes leurs propriétés cristallographiques et optiques n'a pas été réalisée d'une manière aussi complète que pour les minéraux filoniens. Si, en Minéralogie comme en Chimie, nous n'avons la pleine connaissance d'un corps qu'après avoir acquis par de nouvelles expériences des notions précises sur les conditions de sa formation, nous devons instituer des essais de reproduction des espèces minérales caractéristiques des roches plutoniques acides, que nous ne savons ni préparer ni faire cristalliser.

Sans doute, après tant de savants Mémoires sur la Chimie minéralogique, il y a lieu de s'étonner qu'une lacune de ce genre existât encore en 1877, lors de la publication, dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* <sup>(1)</sup> de mes premières Notes sur la reproduction

---

<sup>(1)</sup> T. LXXXIV, p. 1301, et t. LXXXV, p. 952.

de l'albite et sur celle de l'orthose. On avait, à la vérité, trouvé dans la partie supérieure de certains fourneaux à cuivre des cristaux très nets d'orthose ; mais, comme on n'avait pu imiter les procédés qui avaient apporté par sublimation ces cristaux à côté de blende cristallisée, ces observations intéressantes n'avaient rien révélé de positif sur les conditions qu'il faut réaliser pour obtenir les silicates alumineux sous les formes où la nature nous les présente si souvent.

Bien que ces minéraux soient le plus souvent des produits de la voie humide et qu'ils se forment probablement tous avec une grande facilité sous l'influence de l'eau surchauffée, conformément aux belles expériences de M. Daubrée, je me suis attaché à les reproduire par la voie sèche. Le même résultat est, dès lors, atteint par des procédés très divers, qui, tous, peuvent un jour éclairer l'histoire si complexe de la cristallisation des éléments des roches.

La voie sèche permet, en effet, de préparer ces corps avec une grande facilité. Si les précédents expérimentateurs ont échoué, cela tient à ce qu'on est très exposé à détruire les minéraux feldspathiques, fusibles par eux-mêmes, et surtout dans les milieux aptes à les former. Les réactions, que j'utilise, changent de sens avec la température. La cristallisation est le résultat final de formations et de destructions successives s'accomplissant au-dessous du point de fusion du minéral qu'il s'agit de préparer.

Une température très élevée, loin d'avoir produit beaucoup de minéraux, les détruit à peu près tous. Ceux qui nous occupent passent à l'état d'émail, qu'avant les très récentes expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy on ne savait pas dévitrifier <sup>(1)</sup>.

J'obtiens les minéraux appartenant à la classe des silicates alumineux en maintenant les éléments de ces silicates en présence d'un sel fondu susceptible de former un sel acide. Les sels qui jouissent de cette propriété permettent, s'ils sont très fusibles, de faire cristalliser la silice, les silicates très acides et les silicates complexes moins riches en silice que ne l'est l'orthose.

Les sels que j'ai le plus souvent employés sont les tungstates, les

---

<sup>(1)</sup> *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVII, p. 700 (1878), et *Bulletin de la Société minéralogique de France*, t. II, p. 105 (1879).

vanadates et les phosphates. Je vais donner des exemples de cristallisations obtenues par l'emploi de ces sels en décrivant la reproduction de la tridymite, du quartz, de l'orthose, de l'albite, de l'oligoclase, de l'amphigène, de la néphéline, de la pétalite, du rutile, et la préparation de plusieurs combinaisons cristallisées non encore signalées dans le règne minéral. Je décrirai, dans un second Mémoire sur les agents minéralisateurs, la reproduction des minéraux du zirconium, du niobium et du tantale et la préparation d'un certain nombre de phosphates nouveaux, afin d'aborder méthodiquement l'importante étude de la décomposition des phosphates alumineux par la silice, la zirconie, l'acide titanique et l'acide borique.

#### CRISTALLISATION DE LA SILICE PAR LA VOIE SÈCHE.

M. vom Rath a signalé en 1868, dans un trachyte, de petits cristaux lamelliformes dont il a fait une espèce nouvelle, la tridymite <sup>(1)</sup>. Les observations de ce savant minéralogiste établissent que la tridymite est de la silice cristallisée sous une forme différente de celle du quartz et possédant une densité inférieure à celle de cette espèce. Comme le soufre, l'acide arsénieux, les fleurs d'antimoine, etc., la silice cristallise donc sous deux formes incompatibles. On peut, ainsi que je vais l'établir, préparer par la voie sèche la silice sous ces deux formes.

Le seul procédé connu pour faire cristalliser la silice par la voie sèche est dû à M. G. Rose; il est basé sur l'emploi du sel de phosphore et ne permet de préparer que la tridymite. J'ai étudié les réactifs qui peuvent remplacer avec avantage les phosphates pour effectuer cette reproduction, et je suis parvenu à trouver des sels fusibles avec lesquels on obtient à volonté la silice cristallisée, soit sous la forme de la tridymite, soit sous celle du quartz.

#### Reproduction de la tridymite.

La silice amorphe, maintenue à la température de la fusion de l'argent dans du tungstate de soude, cristallise en quelques heures. Après

---

<sup>(1)</sup> M. Story Maskeline a découvert dans la météorite de Breitenbach de la silice en cristaux rhombiques : c'est l'asmanite, qui pourrait bien être identique à la tridymite.

le refroidissement, un traitement par l'eau dissout le tungstate alcalin et met à nu un sable cristallin dont le poids est, à quelques millièmes près, celui de la silice employée.

Les principaux caractères cristallographiques et optiques de la tridymite se constatent aisément sur les cristaux que l'on obtient par ce procédé. Ce sont des lames hexagonales <sup>(1)</sup>, le plus souvent imbriquées les unes sur les autres au nombre de trois ou de quatre. Sur les lames les plus régulières sont implantées fréquemment une ou deux demilamelles. L'action longtemps continuée du tungstate de soude à une température à peu près constante de 1000° permet d'obtenir de la tridymite en lames d'une certaine épaisseur. Ces cristaux, mélangés avec des lamelles groupées suivant l'une des lois rappelées ci-dessus, sont des tables hexagonales à pans exempts de stries <sup>(2)</sup>.

Un faisceau de lumière polarisée parallèle n'est pas dépolarisé lorsqu'il traverse bien normalement ces lames hexagonales, quelle que soit leur épaisseur.

La densité des cristaux préparés dans des vases de platine avec un tungstate de soude pur et de la silice ne contenant ni alumine, ni oxyde de fer, ni magnésie, est de 2,30 à 16°. M. vom Rath, en opérant sur des cristaux contenant 2 pour 100 d'oxydes environ, a trouvé 2,326, 2,312, 2,296 pour la densité à cette température. La détermination faite sur un produit absolument pur établit que la silice, sous la forme de la tridymite, possède bien une densité intermédiaire entre celle du quartz, 2,65, et celle de la silice fondue, 2,20.

La tridymite est plus facilement attaquée que le quartz par les réactifs de la voie humide et de la voie sèche. Le tungstate de soude même peut détruire la tridymite. Ainsi, à une température notablement supérieure à 1000°, il se forme aux dépens des cristaux lamelliformes un silicate disséminé en gouttelettes dans le sel fondu. Cette destruction de la tridymite n'est que temporaire si l'on maintient ce silicate dans le bain liquide formé par le tungstate acide à une température comprise entre 900° et 1000°, car ce silicate subit alors une décomposition qui

(1) Ces lames sont souvent rongées en partie, comme celles qu'on rencontre dans les trachytes du mont Dore.

(2) Le rapport  $\frac{h}{\rho}$  paraît constant et égal à  $\frac{1}{2}$ .

régénère la tridymite. Cette espèce de précipitation par la voie sèche exige beaucoup plus de temps que la cristallisation de la silice employée à l'état amorphe. C'est pour cela qu'il est plus avantageux de chauffer de la silice avec du tungstate de soude que de décomposer un silicate alcalin par l'acide tungstique <sup>(1)</sup>.

La destruction de la tridymite et la précipitation subséquente de la silice sous la forme de lamelles permettent d'analyser le rôle du tungstate de soude dans l'acte de la cristallisation. L'alcali du tungstate attaque la silice en produisant un silicate alcalin, et l'acide tungstique reprend à une température inférieure l'alcali que la silice lui avait enlevé. Ces deux actions inverses se produisent successivement lorsque la température oscille entre certaines limites. Elles suffisent pour expliquer la cristallisation, sans qu'il soit besoin d'invoquer la solubilité de la silice dans le sel fondu, car ce sont là des réactions entièrement comparables à celles qui déterminent la cristallisation du sesquioxyde de fer chauffé dans l'acide chlorhydrique gazeux.

Les faits qui touchent à l'histoire de la silice ayant un intérêt exceptionnel pour le minéralogiste et le chimiste, j'ai cherché à multiplier les procédés permettant de préparer ce corps à l'état cristallisé.

Il résulte de mes expériences que les phosphates acides utilisés par M. G. Rose sont des agents minéralisateurs de la silice entièrement comparables aux tungstates. Il y a cependant une différence à signaler : c'est qu'avec les phosphates la silice amorphe ne détermine aucune réaction sensible et utilisable tant que la température reste inférieure au rouge vif, tandis que le tungstate de soude exerce son action spéciale sur la silice à une température beaucoup moins élevée <sup>(2)</sup>.

---

<sup>(1)</sup> Ces expériences peuvent se réaliser dans des vases en porcelaine ou dans des vases en platine.

L'emploi des vases en platine est indispensable toutes les fois qu'on tient à n'obtenir qu'une seule espèce minérale. On opère soit dans des creusets, soit dans des capsules, placés dans un moufle chauffé au gaz.

L'emploi des vases en porcelaine a l'inconvénient de fournir de la tridymite mélangée avec des lames très minces d'albite formée aux dépens de la couverte de la porcelaine. Le vase employé peut être alors un ballon en porcelaine qu'on chauffe dans un moufle ou directement dans la flamme après y avoir introduit de la silice calcinée et du tungstate de soude. Ce ballon résiste longtemps à l'action corrosive du tungstate.

<sup>(2)</sup> La silice agit sur les vanadates alcalins à une température encore plus basse que les

Les phosphates des bases alcalines ne sont pas les seuls phosphates qui permettent de préparer de la tridymite. Je me suis assuré que la pyromorphite, les phosphates de plomb, d'argent jouissent de la même propriété. J'ajouterai que la présence du fluor modifie les propriétés minéralisatrices des phosphates. La présence d'une petite quantité de fluor abaisse beaucoup la température des réactions qui président à la cristallisation de la silice. C'est là un fait important que j'ai utilisé pour obtenir simultanément du quartz et de l'orthose.

La silice cristallise aussi dans le chlorure de calcium fondu. La solubilité de la silice dans ce chlorure paraît très faible, car il faut employer une grande quantité de chlorure et chauffer longtemps. La longue durée de l'expérience entraîne la formation d'une assez forte proportion de silicate de chaux; on dissout ce silicate par les acides, et l'on achève la purification par une longue digestion dans du bisulfate de potasse fondu. La silice cristallisée ne retient plus que des traces de chaux après ce traitement. Cette silice présente les caractères de la tridymite. Les lamelles sont empilées et soudées, les bords sont déchirés et le contour hexagonal est rarement complet.

L'examen entre deux nicols croisés montre que ces lamelles exercent une action sur la lumière polarisée parallèle même lorsqu'elles sont bien perpendiculaires à l'axe du microscope. Elles se colorent en bleu pâle. Les accumulations de lamelles présentent aussi cette coloration; l'intensité lumineuse est alors un peu plus forte que sur les lamelles simples. Cette dépolarisation cesse d'ailleurs de se produire pour quatre positions des lamelles sur le porte-objet. D'après M. Schuster, M. von Lasaulx et M. Mallard, la tridymite naturelle subit quatre extinctions à angle droit.

Les cristaux préparés par le chlorure de calcium se comportent donc de la même façon que ceux trouvés dans les trachytes. Les mêmes particularités se retrouvent sur ceux obtenus par un mélange de tungstate de soude et de sel marin, tandis que les lames obtenues par les tungstates purs et les phosphates entre 1000° et 1500°, plus régulières et géné-

---

tungstates, mais ces sels ne fournissent ni tridymite ni quartz; on obtient, s'ils sont neutres, des silicates fondus et, s'ils sont très acides, des produits cristallisés d'une manière confuse.

ralement plus minces, ne se colorent pas dans la lumière polarisée parallèle quand elles sont rigoureusement perpendiculaires à l'axe optique de l'instrument. Les portions de lamelles qui donnent naissance à des phénomènes de polarisation chromatique sont celles qui présentent des débris de lamelles imbriquées, et par suite obliques, sur le trajet des rayons lumineux. La tridymite en tables hexagonales épaisses obtenue accidentellement par le tungstate de soude reste aussi constamment éteinte entre les nicols croisés.

Les lamelles de tridymite artificielle présentent donc tantôt les caractères de cristaux biaxes, tantôt les caractères de cristaux uniaxes. Les cristaux biaxes ont rarement des contours polygonaux; obtenus par voie de dissolution dans le chlorure de calcium, ils se sont formés à très haute température. Les cristaux uniaxes ont des contours plus réguliers; préparés par voie d'échanges chimiques, ils se sont formés à une température relativement moins élevée.

Ces observations sur l'influence de la température et sur le rôle du mécanisme de la cristallisation n'ont pas un caractère absolu, car un mélange de tungstate de soude et de sel marin permet de préparer, vers 1000°, des lamelles identiques à celles obtenues à une plus haute température par le chlorure de calcium. Les conditions qui règlent l'enchevêtrement des lamelles ne peuvent donc être résumées en des termes aussi simples et sans tenir compte de la nature chimique du sel fondu.

Peut-on utiliser ces données pour identifier l'asmanite et la tridymite ou pour fixer le système cristallin de la tridymite? Il est difficile, après avoir constaté que les cristaux les plus réguliers se comportent en réalité comme des cristaux uniaxes, de refuser à la tridymite artificielle la forme hexagonale. On parvient, ainsi que je viens de le dire, à constater les caractères des cristaux biaxes sur des échantillons formés de lamelles superposées. On peut en induire que chacune de ces lamelles, si elle était isolée, offrirait plus nettement les caractères propres aux cristaux à deux axes optiques. Ces cristaux, qui se forment concurremment avec ceux de tridymite ou à une température un peu plus élevée, pourraient bien être des représentants de l'asmanite, espèce contestée.



## Reproduction du quartz.

Le tungstate de soude est un agent minéralisateur de la silice, puisqu'il permet, ainsi que je l'ai établi dans le Chapitre précédent, de reproduire la tridymite. Il me reste à faire voir que ce même réactif peut transformer en quartz la silice amorphe et la tridymite.

A la température strictement nécessaire pour maintenir le tungstate de soude en fusion,  $750^{\circ}$  environ, les grains de silice amorphe disparaissent et sont remplacés par des agglomérations de bâtonnets transparents; puis, après plusieurs centaines d'heures de chauffe, on observe des doubles pyramides hexagonales qui se colorent de nuances très vives lorsqu'on les place entre deux nicols croisés. Ces doubles pyramides ont tous les caractères du quartz.

La cristallisation est tellement lente, lorsqu'on opère vers  $750^{\circ}$ , que ce mode opératoire a dû être remplacé par le suivant, quoiqu'il ait l'inconvénient de donner des cristaux bipyramidés mélangés de beaucoup de tridymite.

La silice est traitée par le tungstate de soude fondu, dont on fait osciller un très grand nombre de fois la température entre  $800^{\circ}$  et  $900^{\circ}$ . Dans les périodes d'échauffement la silice se combine à la soude, dans les périodes de refroidissement la silice est précipitée par l'acide tungstique; au début de chacune des périodes de refroidissement la silice prend la forme de la tridymite, puis, dès que la température du bain est inférieure à  $850^{\circ}$  environ, la silice prend la forme du quartz<sup>(1)</sup>.

Dans ces conditions, la silice amorphe disparaît en quelques heures; elle est remplacée par de très minces lamelles de tridymite au milieu desquelles on distingue quelques cristaux microscopiques de quartz. Ces cristaux augmentent en nombre et croissent sensiblement lorsqu'on prolonge l'action du sel fondu. Après deux mois de chauffe, il y a à peu près autant de cristaux de quartz que de cristaux de tridymite.

---

(1) J'ai reconnu que le tungstate de soude acide jouit de la propriété de mettre en liberté la totalité de la silice combinée à l'alcali avant que la température se soit assez abaissée pour qu'on puisse avoir du quartz, et qu'il est avantageux, lorsqu'on fait osciller la température entre des limites un peu étendues, d'employer une forte proportion de tungstate de soude, par exemple vingt fois le poids de silice.

Les facettes que portent les cristaux de quartz obtenus correspondent, ainsi que les mesures goniométriques l'établissent, aux faces  $p$ ,  $e^{\frac{1}{2}}$ ,  $e^5$ ,  $e^1$  et  $e^2$  de l'espèce quartz :

D'après M. Des Cloizeaux.

$pe^{\frac{1}{2}}$ .....	76° 33'	76° 26'
$pe^5$ .....	163° 9'	163° 16'

Les faces les plus développées sont celles des deux rhomboèdres  $e^5$ ,  $e^1$ . La double pyramide hexagonale produite par la combinaison de ces deux formes a une hauteur double de la pyramide  $pe^{\frac{1}{2}}$ . De là l'aspect particulier des cristaux de quartz préparés par cette méthode. Cette double pyramide ne porte aucune modification lorsque la température ne s'est pas abaissée au-dessous de 800° pendant la cristallisation. Elle est quelquefois aplatie suivant l'un des axes binaires à la façon du quartz comprimé. Les faces sont très réfléchissantes, quoique striées parallèlement aux arêtes de l'hexagone de base. La disposition des stries montre que l'accroissement de ces cristaux se fait par dépôts successifs parallèles aux faces  $e^5$  et  $e^1$ .

Les cristaux préparés à une température un peu moins élevée portent un plus grand nombre de faces que les précédents. Ils sont fréquemment terminés par la pyramide  $pe^{\frac{1}{2}}$  qu'on est habitué à trouver sur les cristaux de quartz.

Les facettes dissymétriques très petites que je crois pouvoir rapporter aux faces plagiédrales  $x$  se montrent sur des cristaux préparés dans le tungstate de soude en surfusion. Presque tous ces cristaux sont formés de deux ou d'un plus grand nombre d'individus cristallins ayant même axe principal.

Le tungstate de lithine fondu permet de préparer du quartz sous la forme de pyramides beaucoup plus aiguës que celles qu'on obtient avec le tungstate de soude. Les plus nombreuses et les plus développées sont formées par les faces  $e^3$ ,  $e^{\frac{7}{5}}$  ; elles ont quatre fois la hauteur de la pyramide  $pe^{\frac{1}{2}}$ .

Enfin, l'addition de l'acide borique au bain de tungstate facilite la production du quartz en fuseau et celle du prisme hexagonal  $e^2$ .

Le quartz préparé par voie sèche rappelle le quartz en obélisque de

Chamounix ; il est presque toujours fusiforme, quelquefois par suite du groupement de cristaux superposés, mais le plus souvent par l'extension considérable des faces appartenant à des rhomboèdres aigus. Les différents individus associés s'éteignent ensemble dans la lumière polarisée, bien que les contours soient très sinueux.

L'action de tous ces cristaux sur la lumière polarisée est très énergique. L'extinction s'observe lorsqu'ils ont leur axe principal parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation. Les lames taillées perpendiculairement à l'axe se conduisent dans la lumière polarisée parallèle comme de très minces lames de quartz.

La densité de ces cristaux est supérieure à celle de la tridymite, car la densité du mélange des deux espèces, tel qu'on l'obtient dans le mode opératoire que j'ai décrit, est 2,46, nombre compris entre 2,30, densité de la tridymite, et 2,65, densité du quartz. Ce mélange est formé à peu près de parties égales de quartz et de tridymite. La séparation mécanique effectuée par la méthode très élégante décrite récemment par M. Thoulet permet d'enlever la presque totalité des lames de tridymite et de porter la densité à 2,61 (1).

L'analyse de ces cristaux, faite au moyen de l'acide fluorhydrique, a établi que ces cristaux de silice contenaient  $\frac{3}{1000}$  de soude et des traces d'acide tungstique.

Ces matières étrangères proviennent du tungstate emprisonné dans les cristaux. Les cristaux de quartz de certaines préparations sont criblés de cavités rappelant les bulles des verres mal affinés. Ces cavités sont ordinairement superficielles; lorsqu'elles sont intérieures, elles marquent les strates d'accroissement. Elles semblent provenir de l'action corrosive du tungstate sur le quartz, car ces particularités se remarquent principalement sur les cristaux obtenus en faisant osciller la température entre des limites très étendues, 800° à 1100°. Au-dessus de 1000°, non seulement la tridymite, mais le quartz lui-même est vivement attaqué par le tungstate alcalin.

On observe aussi quelquefois à la surface du quartz artificiel des ca-

---

(1) Voir le triage par la liqueur d'iodures dans le *Mineralogical Magazine*, novembre 1877, par M. Church, et la Thèse de M. Thoulet dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5<sup>e</sup> série, t. XX, p. 362 (1880).

vités polyédriques; elles sont les moules de cristaux de quartz détachés mécaniquement.

J'ai souvent observé des cristaux de quartz pris dans des lames de tridymite, tandis que je n'ai pas rencontré de tridymite incluse dans le quartz.

Les agents minéralisateurs qu'on peut utiliser pour reproduire la tridymite sont très nombreux. Les mêmes agents se prêteront-ils à la reproduction du quartz? Le chlorure de calcium et les phosphates alcalins ne déterminant la cristallisation de la silice qu'à une température très élevée, ces réactifs ne sauraient servir à préparer du quartz.

Mais ayant constaté que l'un de ces sels, le phosphate de potasse acide, réagissait sur la silice à une température peu élevée lorsqu'on l'avait mélangé avec une petite quantité de fluosilicate de potasse, il a été possible de le faire servir à préparer des cristaux de quartz. Cette préparation ne réussit que si l'on opère en vase clos dans une atmosphère de fluorure de silicium.

L'expérience ayant été faite dans un verre peu fusible, le quartz était associé à de l'orthose. Dans ces conditions le quartz semble exclure la tridymite, car je n'ai pas observé la plus petite lame de cette espèce minérale parmi les cristaux de quartz et d'orthose.

Les cristaux préparés ainsi rappellent ceux des pegmatites graphiques. On observe les faces  $e^2$ ,  $p$ ,  $e^{\frac{1}{2}}$  et de très nombreuses faces rhomboédriques peu développées. Les stries horizontales sont très accusées et passent à de véritables cannelures transversales.

Ces cristaux de quartz, obtenus en utilisant les réactions successives et inverses se manifestant en présence du fluor et des phosphates acides, à une température notablement inférieure au rouge sombre, sont donc assez semblables à ceux des filons et des roches.

La préparation du quartz par ce procédé, n'exigeant qu'une quantité de phosphate très petite, est compatible avec les conditions qui ont pu exceptionnellement présider à la production de cette espèce minérale dans les filons.

Les cristallisations de la silice dans les tungstates fondus s'éloignent davantage de ces conditions; elles sont cependant intéressantes à plus d'un titre. Elles ont permis de signaler une fois de plus l'influence de

la température sur les formes polyédriques que prennent les corps sous l'influence des agents minéralisateurs. La tridymite cristallise vers la température de la fusion de l'argent, et le quartz au rouge naissant. L'influence de la température se fait également sentir sur les formes dominantes. Ainsi, l'aspect du quartz artificiel est variable; ses formes dominantes s'éloignent d'autant plus des formes du quartz hyalin des filons que la température à laquelle on l'a préparé a été plus élevée.

Sur la cristallisation de l'acide titanique employée pour constater les propriétés minéralisatrices des réactifs de la voie sèche.

Il est bon d'avoir, pour se guider dans la recherche des réactions utilisables pour faire cristalliser la silice, un autre corps cristallisant plus rapidement. Je me suis servi de l'acide titanique, qui se prête à tous les essais de ce genre; il me paraît donc utile de signaler l'aspect des cristaux d'acide titanique qu'on obtient par l'action des sels en fusion sur l'acide amorphe précipité par l'ammoniaque ou par l'ébullition d'une liqueur chargée d'acide chlorhydrique.

1<sup>o</sup> L'acide titanique amorphe, chauffé à une température voisine de 1000° dans un bain de tungstate de soude, est attaqué par ce sel et l'on ne tarde pas à constater dans le tungstate la présence de très petits cristaux d'un bleu foncé. Ces cristaux sont disséminés dans le bain si l'acide a été précipité par l'ébullition, adhérents aux fragments d'acide titanique resté amorphe, si la précipitation a été effectuée par l'ammoniaque.

Dans ces deux cas, ce n'est qu'après un temps assez long que l'acide titanique est entièrement cristallisé. Quand l'acide titanique amorphe est en fragments, les cristaux se nourrissent aux dépens du précipité qui leur sert de support, car les cristaux adhèrent aux parois de cavités d'autant plus creuses qu'ils sont plus développés. Ces cristaux sont tous colorés en bleu par le sesquioxyde de titane; ils ont tous même forme dominante quelle que soit leur grosseur. Ce sont des prismes d'un diamètre à peu près le même pour tous les cristaux d'une même préparation, mais de hauteur variable, comme si l'accroissement se faisait uniquement par dépôt sur les bases. Ces bases ne sont pas planes; elles

rappellent celles des prismes d'aragonite de Bastennes : les cristaux d'acide titanique obtenus par les tungstates alcalins sont donc des édifices cristallins complexes.

Le nombre des pans de ces prismes est de huit ; les inclinaisons mutuelles de ces pans oscillent autour de  $135^\circ$ , sans avoir jamais rigoureusement cette valeur. Des stries en zigzag font le tour du prisme ; elles sont parallèles aux intersections des faces  $mh'$  de la macle du rutile de Grave's Mountain, décrite par G. Rose. Les faces qu'on observe dans chacune des zones parallèles aux stries sont  $h'$ ,  $h''$  et  $m$ . Les cannelures des pans sont formées par les intersections des faces  $h''$ . La structure intérieure des cristaux préparés par le tungstate de soude est également celle de cette macle remarquable. Une coupe mince perpendiculaire à l'axe du prisme montre, en effet, huit secteurs triangulaires assemblés autour de l'axe. Dans la lumière polarisée parallèle, deux secteurs consécutifs ne sont jamais éteints simultanément ; de plus, chacun des secteurs est à l'extinction lorsque sa base est sensiblement parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation. Ce prisme est donc bien formé de cristaux maclés et chacun d'eux a l'un de ses axes d'élasticité optique parallèle à celui des pans qu'il concourt à former. L'axe du prisme est, comme dans la macle de Grave's Mountain, parallèle à l'arête culminante de l'octaèdre  $b'$ . Les plans de jonction voisins font théoriquement un angle de  $45^\circ 2'$ .

La structure est souvent plus compliquée encore, car on observe des secteurs plus aigus qui correspondent à des portions très étroites des pans ; ces pans sont alors formés de plusieurs faces se coupant sous des angles rentrants très ouverts.

2° Les vanadates alcalins permettent de préparer des aiguilles d'acide titanique d'un beau rouge.

C'est, à ma connaissance, le seul procédé qui fournisse du rutile artificiel possédant la couleur si remarquable et si caractéristique de l'espèce titane rutil.

3° Le chlorure de calcium permet aussi de préparer des cristaux d'acide titanique. Il suffit, en effet, de chauffer cet acide avec du chlorure de calcium bien exempt de chaux libre à la température de la fusion du cuivre, pendant plusieurs heures, pour ne plus retrouver une seule parcelle d'acide amorphe.

Les cristaux ne contiennent pas de chaux ; ils possèdent les caractères du titane rutil ; leur aspect diffère de ceux que l'on obtient en décomposant le titanate de chaux par l'acide chlorhydrique, car ce sont des aiguilles fines, un peu aplaties, d'un jaune verdâtre.

Les cristaux qu'on obtient en chauffant de l'oxyde bleu de titane dans le chlorure de calcium sont identiques aux précédents, même par la couleur. Il résulte de ce fait que non seulement l'acide titanique ne se réduit pas dans le chlorure de calcium, mais encore que le sesquioxyde de titane s'y oxyde complètement, même dans les gaz d'un foyer alimenté avec du charbon des cornues.

4° Les silicates peuvent également servir à préparer de l'acide titanique cristallisé. Si, par exemple, on fait un silicotitanate alcalin fusible et qu'on le chauffe, après avoir constaté son homogénéité, à une température suffisante pour le ramollir, il se produit rapidement des druses de fines aiguilles d'acide titanique. On peut admettre ici que le silicate détermine la cristallisation en vertu de réactions comparables à celles qui se manifestent entre les tungstates alcalins et les acides silicique et titanique. Les cristaux sont ordinairement bleus, ce qui prouve que les gaz réducteurs peuvent agir malgré la couche de silicate ramolli qui les protège. Cette réduction semble même jouer un rôle dans la cristallisation, car elle paraît plus rapide dans le verre chauffé directement dans la flamme d'un bec Bunsen que dans le même verre chauffé à l'abri des gaz susceptibles de réduire l'acide titanique.

#### CRISTALLISATION DES SILICATES ALUMINEUX.

##### Reproduction de l'albite.

L'albite s'obtient facilement en portant au rouge sombre un mélange d'acide tungstique et d'un silico-aluminate de soude très alcalin. L'acide tungstique s'empare d'une partie de l'alcali, et, si les poids de silice et d'alumine sont entre eux dans des rapports convenables, le silico-aluminate de soude, que l'acide tungstique ne décompose plus, quel que soit l'excès de cet acide, contient exactement la même quantité de soude que l'albite naturelle. Le produit de cette réaction a une com-

position constante et est entièrement cristallisé. Les cristaux sont microscopiques; mais, longtemps maintenus dans le tungstate de soude fondu, ils grossissent sensiblement.

Ce mode de préparation peut être remplacé par un autre plus intéressant et plus propre à mettre en évidence les propriétés minéralisatrices des tungstates alcalins.

En effet, la silice et l'alumine n'ont pas besoin d'être au préalable combinées avec la soude. Un mélange de 6<sup>es</sup> de silice et de 1<sup>er</sup> d'alumine, maintenu pendant plusieurs jours au rouge sombre, après avoir été imprégné d'une petite quantité de tungstate de soude, se transforme intégralement en un silico-aluminate de soude cristallisé. L'eau bouillante enlève le tungstate de soude avec excès d'acide qui a déterminé la cristallisation. Une fusion dans le bisulfate de potasse achève la purification. Après ce double traitement, les cristaux ne retiennent plus que des traces d'acide tungstique.

L'analyse faite par les méthodes si précises de M. H. Sainte-Claire Deville montre que les quantités d'oxygène contenues dans la soude, l'alumine et la silice sont entre elles comme les nombres 1 : 3 : 12. Ce sont les rapports qui caractérisent les feldspaths les plus silicatés : orthose, microcline et albite.

				Rapports.
Silice.....	68,65	6SiO <sup>2</sup> .....	68,57	12
Alumine.....	19,64	Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	19,62	3
Soude.....	11,10	NaO.....	11,81	1
Perte.....	0,61		100,00	
	100,00			

Le silicate dont je cite les résultats de l'analyse a exactement la composition de l'albite. Il a été préparé par le tungstate neutre de soude et maintenu dans ce sel pendant un mois à une température comprise entre 900° et 1000°. On s'est assuré de l'homogénéité du produit par un examen attentif dans la lumière polarisée.

Le tungstate de soude, en réagissant sur un mélange d'alumine et de silice, permet de contrôler synthétiquement la composition de l'albite, car, si l'alumine et la silice ne sont pas très exactement dosées, on constate dans les produits de la réaction la présence de lames de tri-



dymite ou celle de cristaux d'oligoclase. Le tungstate de soude ne permet pas de préparer un silicate plus silicaté que l'albite (<sup>1</sup>). L'excès de silice cristallise à l'état libre. Au contraire, le tungstate de soude se prête à la cristallisation d'un feldspath moins silicaté que l'albite; aussi le moindre excès d'alumine entraîne la production de l'oligoclase. Ces mélanges d'albite avec la tridymite ou l'oligoclase sont intéressants; je les mentionne en passant, pour bien établir que l'analyse dont je cite plus haut les résultats n'a pas porté sur un mélange d'oligoclase et d'un silicate analogue à la pétalite, mais bien sur des cristaux appartenant à une seule et même espèce.

Les cristaux d'albite qui ont pris naissance et se sont accrus lentement dans le tungstate en fusion ont tous la même forme: ils appartiennent au type triclinique. La comparaison entre les angles mesurés et les angles assignés à l'albite établit que la forme cristallographique de ce silico-aluminate de soude peut être rapportée au même prisme que l'espèce naturelle de même composition chimique.

	Albite artificielle.	Albite, d'après M. Des Cloizeaux.
<i>mt</i> ....	120°40' à 120°45'	120.47 <sup>0</sup>
<i>tg</i> <sup>1</sup> .....	119°40'	119.33
<i>pg</i> <sup>1</sup> .....	93° environ	93.36
<i>mp</i> .....	69° à 68°50'	69.10

Le clivage principal est presque toujours indiqué par des glaces parallèles à la base *p*; les cristaux sont, par suite, très fragiles.

Presque tous les cristaux sont maclés. On observe le mode d'assemblage ordinaire à l'albite du Dauphiné. Le plan de macle est parallèle et l'axe de révolution normal à *g*<sup>1</sup>; mais la macle la plus fréquente a son axe de révolution parallèle à l'arête *mt*. Les cristaux maclés suivant cette dernière loi sont aplatis parallèlement à *g*<sup>1</sup>. Les faces *p*, *a*<sup>1</sup>, *a*<sup>1/2</sup>, généralement visibles sur le contour, et les stries rectilignes se coupant sous des angles de 52° à 53° permettent de reconnaître sûrement la face *g*<sup>1</sup> de cette variété. Lorsqu'on les clive, ils se dédoublent fréquem-

---

(<sup>1</sup>) Je montrerai dans un autre Chapitre qu'avec d'autres sels que les tungstates on peut obtenir un silicate plus silicaté que le feldspath.

ment sur une partie de leur longueur; ils présentent alors à l'une de leurs extrémités un angle rentrant de  $127^{\circ}$ .

L'albite artificielle se colore de nuances très vives dans la lumière polarisée parallèle.

L'enchevêtrement des lames hémitropes ne permet que rarement de constater sur ces cristaux les directions suivant lesquelles se produit l'extinction de la lumière polarisée. Ce n'est que sur quelques plages étroites formées par une lamelle débordant le contour d'un cristal qu'on peut faire ces observations. Mais, avec des lames très amincies par la taille parallèlement à  $g'$ , on peut fixer l'angle du plan d'extinction maximum de la lumière polarisée avec l'arête  $pg'$ . Cet angle a, depuis les travaux de M. Des Cloizeaux, la valeur d'un caractère spécifique.

Les lames les plus minces éteignent la lumière polarisée lorsque l'arête  $pg'$  (direction fixée par celle du clivage basique) est à  $15^{\circ}$  du plan de polarisation. Sur quelques lames également parallèles à  $g'$ , plus épaisses et cependant exemptes de lamelles hémitropes, cet angle est un peu plus ouvert, mais difficile à mesurer exactement. L'angle d'extinction dans la face  $g'$  à partir de l'arête  $pg'$  est, d'après M. Des Cloizeaux, compris entre  $15^{\circ}$  et  $20^{\circ}$ , savoir  $15^{\circ}$  à  $17^{\circ}$  sur quelques péristérites du Canada et  $18^{\circ}$  à  $20^{\circ}$  sur les autres cristaux d'albite naturelle <sup>(1)</sup>.

Les plaques taillées parallèlement à  $p$  dans un groupe artificiellement hémitrope, par cristaux accolés et placés dans une situation inverse, sont toujours très étroites, et, par suite, l'angle des deux extinctions ne peut être déterminé avec précision. La moyenne de plusieurs observations donne  $10^{\circ}$  environ. L'angle du plan d'extinction avec l'arête  $pg'$  est donc voisin de  $5^{\circ}$ . Cet angle est de  $3^{\circ}49'$  à  $4^{\circ}27'$  dans l'albite naturelle, d'après M. Des Cloizeaux <sup>(2)</sup>.

L'examen dans la lumière polarisée parallèle montre donc que ces cristaux se conduisent à très peu près comme des cristaux d'albite taillés dans des directions correspondantes.

La densité des cristaux artificiels est 2,61 à 15°; celle de l'albite

---

<sup>(1)</sup> *Annales de Chimie et de Physique*, 5<sup>e</sup> série, t. IX, p. 478.

<sup>(2)</sup> *Ibid.*, p. 477.

est comprise entre 2,59 et 2,66. En résumé, les cristaux obtenus par dissolution apparente dans le tungstate de soude ont la composition et la densité de l'albite; ils appartiennent au même système cristallin, et la forme primitive a les mêmes angles, à quelques minutes près. L'orientation des axes d'élasticité optique par rapport aux arêtes de la forme primitive est telle, que l'examen des cristaux dans la lumière polarisée parallèle ne permettrait pas de distinguer sûrement les cristaux obtenus par la voie sèche des cristaux d'albite des filons.

Les phosphates et les vanadates de soude jouissent également de la propriété de faire cristalliser un silico-aluminate de soude ayant la composition et la forme de l'albite. Avec les vanadates neutres ou acides, on peut obtenir des cristaux assez différents de ceux décrits plus hauts. Ils sont prismatiques; ils forment des nodules hérissés de pointes dont la cassure est fibreuse et rayonnée. Les cristaux qui font saillie sur la surface de la druse globulaire se terminent par un pointement surbaissé à quatre faces. La section de ces prismes est sensiblement hexagonale; les pans  $m$  et  $t$  sont striés parallèlement à l'intersection avec la base  $p$ ; les faces  $g'$ , quand leur largeur est suffisante, laissent voir par transparence des stries croisées qui indiquent nettement l'existence dans ces cristaux de lames hémitropes suivant la loi de Carlsbad.

#### Reproduction de l'orthose.

L'orthose peut être préparé en suivant une méthode calquée sur celle qui m'a permis d'effectuer la reproduction de l'albite. On obtient l'orthose en portant à une température comprise entre 900° et 1100° un mélange d'acide tungstique et d'un silico-aluminate de potasse très alcalin, contenant 1<sup>er</sup> d'alumine pour 6<sup>es</sup> de silice. L'acide tungstique forme du tungstate de potasse aux dépens d'une partie de l'alcali du silico-aluminate, qui se trouve ainsi ramené à la composition de l'orthose. Ce silicate cristallise comme s'il était soluble dans le tungstate de potasse.

On peut remplacer le silico-aluminate de potasse par un mélange de silice et d'alumine; la potasse est alors fournie par un tungstate de potasse qui, pour être fusible à la température de 900°, doit être un

tungstate acide. La silice, l'alumine et le tungstate de potasse, en réagissant à cette température, produisent de la tridymite, de l'orthose et un silicate alumino-potassique qui n'a pas été rencontré dans la nature. Si la silice et l'alumine contenues dans le mélange sont exactement dosées, la tridymite et le silicate dont je viens de parler ne tardent pas à disparaître; leurs éléments concourent à l'accroissement des cristaux d'orthose. Après quinze à vingt jours de chauffe, ces derniers cristaux restent seuls, et ils sont parfaitement déterminables.

Le tungstate acide de potasse étant soluble dans l'eau bouillante, il est facile de mettre à nu le silicate cristallisé sans l'altérer.

L'analyse montre que les quantités d'oxygène contenues dans la potasse, l'alumine et la silice qui entrent dans la composition de ce produit sont entre elles comme les nombres 12:3:12. Ce sont là les rapports qui caractérisent les feldspaths les plus silicatés: orthose, microcline et albite.

Rapports.			Rapports.		
Silice.....	64,77	12,00	6SiO <sup>2</sup> .....	64,62	12
Alumine....	18,69	2,99	Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	18,49	3
Potasse.....	15,07	0,96	KO.....	16,89	1
Soude.....	0,73				
Perte.....	0,74			100,00	
	100,00				

La petite quantité de soude trouvée dans ces cristaux fait réellement partie de leur composition, car on a constaté, par l'examen au microscope entre deux nicols croisés, l'absence de cristaux d'albite et d'inclusions cristallines. Ces cristaux, qui ont la composition de l'orthose, sont, comme tous ceux de cette espèce, inattaquables par les acides. Leur densité est 2,55 à 16°; celle de l'orthose est comprise entre 2,50 et 2,59, d'après M. Damour.

Les cristaux appartiennent au type monoclinique. La comparaison entre les angles mesurés et les angles assignés à l'orthose établit que la forme cristallographique de ce silico-aluminate de potasse peut être rapportée au même prisme que l'espèce naturelle de même composition chimique.

	Orthose artificiel.	Orthose, d'après M. Des Cloizeaux.
<i>nm</i> .....	118°42'	118.48 <sup>0</sup>
<i>pm</i> .....	112°8' et 112°25'	112.16
<i>pa'</i> .....	130°	129.40

Les cristaux se clivent avec facilité parallèlement à la base *p* : c'est le clivage principal de l'orthose. Contrairement à ce qui arrive pour l'albite artificielle, les macles sont rares dans l'orthose obtenu par cette méthode.

La forme dominante des cristaux varie un peu avec la température à laquelle s'est effectuée la cristallisation. Dans une préparation faite à la plus haute température à laquelle elle puisse réussir, un peu plus de 1100°, les cristaux sont des prismes à quatre pans terminés par des sommets cunéiformes, dont l'arête est parallèle à la diagonale horizontale. Le coin est formé par la base *p* combinée avec la face *a'*. Ces prismes ont les dimensions assignées à la forme primitive de l'orthose. Toutes les faces sont exemptes de stries.

Les cristaux préparés à une température un peu moins élevée, 900° environ, sont généralement plus allongés dans le sens vertical. La face *a'* s'observe encore; elle est toujours plus petite que la face *p*, et elle porte des stries horizontales très fines. Les arêtes *b* de la forme primitive sont simultanément modifiées par une facette qui répond au symbole  $b^{\frac{1}{8}}$  <sup>(1)</sup>.

Ces facettes, quelquefois très développées, sont striées parallèlement à leur intersection avec la base *p*; les stries sont produites par l'accumulation sur la base de lames en retrait; sur quelques échantillons, ces lames sont remplacées par de véritables prismes inégalement développés et exactement opposés base à base.

Des plaques parallèles au clivage basique, examinées au microscope entre deux nicols croisés, permettent de fixer par rapport aux axes cristallographiques les deux directions suivant lesquelles la polarisation cesse d'être troublée. L'une de ces directions d'extinction maximum est exactement parallèle à l'arête d'intersection de la face *a'* avec la

---

(1) Cette modification n'a pas encore été signalée dans l'orthose.

base  $p$ , c'est-à-dire avec la diagonale horizontale de la base. Les cristaux sont donc bien monocliniques, comme ceux d'orthose. Ils n'ont pas la forme triclinique limite, assignée au microcline par M. Des Cloizeaux.

Quelques-uns de ces cristaux, taillés en lames minces, sensiblement parallèles à  $p$ , n'éteignent pas le rayon polarisé lorsque le plan de polarisation coïncide rigoureusement avec le plan de symétrie. La diagonale horizontale étant à  $2^\circ$  environ à droite ou à gauche du plan de polarisation, la plaque se partage en quatre secteurs limités par les diagonales de la base rhombe du cristal; deux de ces secteurs sont colorés, tandis que les deux autres ne troublent pas la polarisation. La plaque est donc formée de deux parties croisées ayant leurs plans d'extinction maximum de part et d'autre des diagonales de la base. M. Mallard a constaté un phénomène analogue sur l'adulaire du Saint-Gothard. C'est là un nouveau rapprochement entre le produit artificiel et l'orthose naturel; les cristaux artificiels peuvent donc se grouper et se pénétrer à la façon de l'adulaire.

En résumé, les propriétés minéralisatrices du tungstate de potasse permettent de préparer un silicate cristallisé ayant la composition et les propriétés chimiques de l'orthose. La forme primitive des cristaux a les mêmes angles, à quelques minutes près, que celle de l'orthose, et les propriétés optiques sont celles qui caractérisent le système monoclinique, car l'un des axes d'élasticité optique est perpendiculaire au plan de symétrie.

Dans les cristallisations réalisées par le tungstate de potasse entre  $900^\circ$  et  $1000^\circ$ , on obtient donc de l'orthose, feldspath monoclinique; entre les mêmes limites de température, le tungstate de soude donne, ainsi que je l'ai établi plus haut, de l'albite, qui est un feldspath triclinique. Toutes les conditions étant identiques, c'est donc bien la nature de l'alcali qui détermine le pseudo-dimorphisme dans le groupe des silicates  $R\frac{A}{Al}Si^o$ .

Le vanadate de potasse peut remplacer le bitungstate de potasse dans la préparation de l'orthose. Ce sel est très fusible et attaque au rouge naissant l'alumine et la silice; il permet de faire cristalliser le feldspath orthose à une température notablement inférieure à celle de la fusion de l'argent; mais, lorsque le mélange de silice et d'alumine n'est

pas intime, l'orthose est associé à l'amphigène. L'orthose obtenu par ce sel est en cristaux toujours maclés; ils diffèrent en cela de ceux précédemment décrits. Ils sont tous hyalins comme l'adulaire, quoiqu'ils ressemblent peu aux cristaux de cette variété. Les cristaux d'une même préparation sont maclés, partie suivant la loi de Carlsbad, partie suivant une loi différente, qui paraît être celle des cristaux de Baveno.

Le phosphate de potasse acide, chauffé avec de la silice et de l'alumine, fournit également des cristaux déterminables de feldspath orthose. Lorsque la cristallisation s'effectue vers  $1000^{\circ}$ , le silico-aluminate de potasse prend les formes propres à l'orthose adulaire.

L'addition d'une substance fluorée à un mélange de phosphate, de silice et d'alumine, qui fournirait à haute température de la tridymite et de l'orthose, permet de préparer des cristaux de quartz associés à des cristaux d'orthose, parce que des réactions successives et inverses se produisent, en présence de traces de fluor, au-dessous de  $700^{\circ}$ . La production simultanée de ces deux espèces prouve que l'orthose a cristallisé à une température beaucoup moins élevée qu'en présence des tungstates et phosphates exempts de fluor.

Les cristaux d'orthose que l'on obtient dans ces conditions sont frittés ou pierreux; ils sont tous maclés suivant la loi propre aux cristaux de Carlsbad, et ils rappellent l'orthose vitreux des trachytes. Quelques cristaux mesurables implantés sur les parois de vacuoles formées de petits cristaux d'orthose vitreux adhérents entre eux sont très transparents; le faible développement des faces  $g'$  leur donne quelquefois l'aspect de l'adulaire. Ils portent les faces  $m$ ,  $g'$ ,  $p$  et  $a'$ . Les faces  $a'$  sont moins développées que les faces  $p$ ; elles sont striées, tandis que ces dernières sont courbes. L'une des faces  $g'$  est striée parallèlement à l'arête  $pg'$ ; l'autre face  $g'$  présente dans la direction de l'arête  $a'g'$  des stries ou des fissures planes. Cette disposition croisée des stries parallèles au clivage basique indique que le cristal est maclé; l'examen attentif des faces  $p$  et  $a'$  permet de reconnaître une ligne de suture et de dénivellation parallèle à la face  $g'$ .

Les deux individus cristallins enchevêtrés sont ordinairement très inégalement développés; aussi n'a-t-on pas pu fixer avec précision l'angle que font entre elles les faces  $p$  dans cette macle de Carlsbad. Cet angle est compris entre  $52^{\circ}$  et  $53^{\circ}$ ; sa valeur calculée est  $52^{\circ} 14'$ .

L'observation entre les nicols croisés m'a permis de constater que l'angle d'extinction dans les faces  $g'$  à partir de l'arête  $pg'$  ne dépasse pas  $5^\circ$ . Cet angle est de  $4^\circ$  à  $6^\circ$  dans l'orthose et de  $5^\circ$  à  $7^\circ$  dans le microcline, feldspath triclinique.

Ces cristaux sont d'ailleurs monocliniques, car une plaque ayant ses faces perpendiculaires au plan de symétrie  $g'$  permet de constater que l'angle compris entre l'extinction successive de deux lamelles hémitropes juxtaposées, sans être absolument nul, ne dépasse pas l'angle qui mesure le défaut de parallélisme des faces  $g'$  de quelques cristaux maclés. S'il ne reste pas de doute sur le système cristallin, il reste encore à fixer si cet orthose a ses axes optiques dans un plan perpendiculaire à  $g'$ , à la façon de l'adulaire du Saint-Gothard, ou dans le plan  $g'$ , ainsi que cela s'observe sur l'orthose déformé d'une façon définitive quand on le chauffe au-dessus d'une certaine température. L'étude de la zone  $g'h'$ , faite suivant la méthode décrite par M. Michel Lévy, permet d'établir que les cristaux d'orthose artificiel sont déformés, car l'extinction se fait toujours à un petit nombre de degrés de la trace du clivage  $p$ ; les axes optiques sont donc dans le plan de symétrie  $g'$ .

La cristallisation du silico-aluminate de potasse, que j'ai réalisée par l'action combinée d'un phosphate et du fluor, acquiert de l'intérêt, parce qu'elle montre l'influence du milieu et de la température sur les formes de l'orthose artificiel. Les tungstates m'ont permis de préparer des cristaux qui présentent les caractères cristallographiques et optiques de l'orthose; l'emploi des phosphates fluorés peut encore enchérir sur ces sels en produisant de l'orthose maclé et associé au quartz.

Ajoutons que ces cristaux, lorsqu'ils sont implantés sur leur gangue, ressemblent beaucoup à ceux trouvés dans les fours à cuivre de Sangershausen. Les conditions inconnues de la production de l'orthose dans les opérations métallurgiques ont pu être différentes de celles que je viens d'étudier; mais les faits que j'ai constatés conduisent à penser que les fluophosphates alcalins volatilisés et entraînés avec les gaz de ces fours, s'ils séjournent dans des cavités creusées dans des briques et maintenues à  $700^\circ$  ou  $800^\circ$ , formeront aux dépens de la silice et de l'alumine de la paroi des cristaux feldspathiques. Ce n'est pas là une pure conjecture, car j'ai obtenu des cristaux déterminables en cherchant à rapprocher de ces conditions les expériences synthétiques.



Dans ce but, on incorpore, dans une capsule de porcelaine chauffée au rouge sombre, la silice et l'alumine à un phosphate acide de potasse. Le mélange, rendu homogène par la fusion, est concassé en petits fragments et introduit dans un tube en verre de Bohême avec de la silice pulvérulente additionnée de  $\frac{1}{10}$  de son poids de fluosilicate de potasse. On ajoute ensuite les fragments de la capsule de porcelaine et on étire le tube immédiatement au-dessus de ces débris sur une assez grande longueur; on fait le vide et on ferme à la lampe. On place dans un moufle garni de magnésie la partie du tube contenant la préparation. On chauffe lentement le moufle; dès que la température atteint  $700^{\circ}$ , le verre de Bohême, quoique peu fusible, s'aplatit irrégulièrement sous la pression atmosphérique, et il se produit une division du tube en loges distinctes communiquant difficilement entre elles. Cet effet obtenu, on brise la pointe qui termine le tube de verre pour le fermer moins hermétiquement avec un tube en caoutchouc. Le fluorure de silicium qui se dégage presque immédiatement creuse des cavités dont les parois siliceuses sont imbibées par le phosphate acide d'alumine et de potasse. L'action combinée du fluorure et des phosphates détermine, à une température comprise entre  $700^{\circ}$  et  $800^{\circ}$ , une cristallisation d'orthose non seulement sur les parois des cavités creusées dans le mélange pâteux, mais aussi sur les fragments de porcelaine, bien que ce mélange ne forme à leur surface qu'un léger vernis. A l'ouverture d'un tube chauffé un mois, on trouve sur les débris de la capsule de porcelaine des cristaux visibles avant même un traitement par l'eau.

La porcelaine sert de support à des druses comparables à celles retirées des fourneaux de Sangershausen.

Les loges qui contenaient un excès de silice fournissent des cristaux de quartz associés aux cristaux d'orthose.

#### Reproduction de l'oligoclase.

Il résulte des expériences précédemment décrites que l'albite est susceptible de cristalliser dans des milieux appropriés lorsque l'aluminate de soude rencontre une quantité suffisante d'acide silicique.

J'ai entrepris de chercher comment, avec la silice, avec l'aluminate de soude, le tungstate alcalin peut faire cristalliser des sels moins sili-

catés que l'albite, et si ces sels artificiels exempts de chaux correspondent à l'oligoclase et au labradorite, qui sont des silico-aluminates de soude contenant plus ou moins de chaux.

Des expériences faites avec des mélanges d'alumine et de silice s'écartant du rapport 1 : 6 suffisent pour démontrer que le plus léger excès d'alumine entraîne la formation de lamelles qu'on peut distinguer au milieu des lames d'albite. Comme les lames de ce minéral, elles se laissent cliver et elles résistent aux acides; comme elles, examinées entre deux nicols croisés, elles éteignent la lumière polarisée dans quatre positions; mais l'angle d'extinction dans la face  $g'$ , à partir de l'arête  $pg'$ , est voisin de  $5^\circ$ , c'est-à-dire qu'il est à peu près celui des variétés d'oligoclase de Mineral Hill.

L'albite et l'oligoclase s'obtiennent donc simultanément dès que la proportion de silice contenue dans le mélange chauffé avec le tungstate de soude est inférieure à celle qu'exige la composition de l'albite. On pouvait penser que l'oligoclase se formerait seul si les quantités relatives de silice et d'alumine étaient celles que l'on constate par l'analyse dans ce feldspath. Il n'en est rien, car, si l'on traite un mélange d'alumine et d'une très petite quantité de silice par le tungstate de soude au rouge sombre, il se forme non seulement de l'oligoclase, mais aussi de l'albite, et ce sont les cristaux d'albite qui sont les plus volumineux et souvent les seuls déterminables. Un silicate de soude très alumineux traité par l'acide tungstique donne également le mélange des deux feldspaths, quoique dans ce mode d'expérience l'alumine soit en excès en tous les points du bain fondu.

Quand on traite par l'eau le produit de ces réactions, on constate que les lames des deux feldspaths sont associées à des cristaux lourds, insolubles dans l'eau, qui se frittent au rouge et que les acides concentrés attaquent lentement. Ces cristaux, qui agissent sur la lumière polarisée s'ils n'ont pas été chauffés à la température à laquelle ils commencent à se déformer, renferment de l'acide tungstique, de l'alumine et de la soude. Ce composé ( $WO^3$ ,  $Al^2O^3$ ,  $2NaO$ ) cède, au rouge sombre, l'alumine qu'il contient à la silice pour constituer de l'albite et de l'oligoclase. La stabilité de ce tungstate d'alumine et de soude étant la cause probable des difficultés que l'on éprouve à obtenir une quantité notable de cristaux d'oligoclase, j'ai cherché à préparer cette

espèce par le vanadate de soude ; mais ce sel, loin de faire cristalliser l'oligoclase, transforme les éléments de ce minéral en un mélange d'albite et de néphéline.

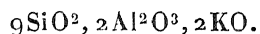
Quant au labradorite, il ne cristallise ni dans le tungstate, ni dans le vanadate de soude.

**Préparation d'un silico-aluminate de potasse correspondant à l'oligoclase.**

J'ai signalé dans la préparation de l'orthose une phase transitoire pendant laquelle on constate la formation de petits cristaux moins riches en silice que ce feldspath. C'est un silicate alumineux bien défini, non encore signalé dans la nature, que j'ai observé toutes les fois que j'ai chauffé au rouge sombre, avec un tungstate de potasse assez acide pour être très fusible, un mélange contenant au moins 2<sup>éa</sup> d'alumine pour 9<sup>éa</sup> de silice. Lorsqu'on veut obtenir ce composé dans un grand état de pureté, il faut remplacer le tungstate de potasse acide par le vanadate neutre de cette base, en ayant la précaution de doser très exactement la silice et l'alumine, parce que, dans ce sel fondu, le plus léger excès de cette base détermine la cristallisation d'une espèce plus riche en alumine, l'amphigène.

Les cristaux formés dans le vanadate ne retiennent pas d'acide vanadique ; ceux qui prennent naissance dans le bitungstate de potasse ne sont jamais exempts d'acide tungstique. Les cristaux présentent le même aspect, que la cristallisation ait été obtenue par l'un ou l'autre de ces sels. Chaque grain cristallin est une druse globulaire limitée par des faces planes ou courbes ; on observe sur tous les cristaux des signes non équivoques de ces enchevêtrements complexes qui permettent à des cristaux tricliniques de ressembler à des cristaux cubiques. Leur action sur la lumière polarisée est faible. Ils sont inattaquables par les acides, ce qui permet de les distinguer facilement de l'amphigène.

La formule qui représente le mieux leur composition est



Ces cristaux appartiennent donc à une espèce qui est à l'orthose ce que l'oligoclase est à l'albite ; mais la difficulté des clivages ne permet pas de la faire rentrer dans la famille des feldspaths.

C'est là un produit d'art qui prend exclusivement naissance dans les conditions que je viens d'indiquer.

Un mélange d'orthose et d'amphigène chauffé avec du vanadate de potasse ne se transforme pas en ce silico-aluminate de potasse intermédiaire, et, si la silice et l'alumine, bien qu'employées l'une et l'autre à l'état pulvérulent, ne sont pas intimement mélangées avant d'être chauffées dans le vanadate de potasse, les parties les plus riches en silice fournissent des cristaux d'orthose et les parties contenant un excès d'alumine des cristaux volumineux d'amphigène. Tout à l'heure j'ai signalé pour l'oligoclase sodique un dédoublement en albite et en néphéline.

Les deux silico-aluminates alcalins caractérisés par les rapports 1 : 3 : 9 ne sont donc pas très stables, même dans les milieux propres à les faire cristalliser.

#### Reproduction de l'amphigène.

On sait que la méthode imaginée par MM. Fouqué et Michel Lévy pour la préparation des feldspaths permet d'obtenir l'amphigène <sup>(1)</sup>; celle que j'ai donnée pour effectuer les reproductions de l'orthose, de l'albite et de l'oligoclase se prête également à la cristallisation de ce silico-aluminate naturel. Le vanadate de potasse, qui peut, ainsi que je l'ai déjà indiqué, remplacer les tungstates et les phosphates alcalins dans la préparation des feldspaths, fournit, en effet, des cristaux qui ont la forme et la composition de l'amphigène toutes les fois que le mélange de silice et d'alumine traité par le vanadate contient une forte proportion d'alumine.

L'étude cristallographique de la forme de ce silicate a été faite sur des cristaux obtenus en maintenant au rouge, dans un creuset de platine, de l'aluminate et du vanadate de potasse avec des fragments cohérents de silice fortement calcinée. Les réactions qui déterminent la cristallisation commencent dès que les fragments de silice sont attaqués. Les premiers cristaux formés sont très petits ; ils grossissent en empruntant leurs éléments à la silice, cédée lentement par les fragments,

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVII, p. 961.

et à l'aluminate, toujours en excès dans le sel fondu. L'action du vanadate peut être prolongée avec avantage, même après la disparition de la silice, car les petits cristaux finissent par disparaître à leur tour. Dans les meilleures conditions de température, c'est-à-dire entre  $800^{\circ}$  et  $900^{\circ}$ , les cristaux atteignent, après vingt-cinq jours de chauffe, des dimensions linéaires qui les rendent parfaitement déterminables. Accolés les uns aux autres, ils forment des druses très ramifiées, qui tapissent les parois du creuset. Quelques cristaux sont aussi régulièrement développés que les cristaux naturels; cependant on rencontre, plus souvent que dans les leucitophyres, des cristaux allongés suivant l'un des axes de symétrie quaternaire du pseudo-icositétraèdre  $\alpha^2$ .

Ces cristaux mesurables portent des traces indélébiles de leur mode de formation, car on aperçoit des inclusions de vanadate de potasse dans un grand nombre des plus parfaits et des plus limpides. Ils sont hyalins ou légèrement opalins, quelquefois blonds. Les faces réfléchissent bien la lumière, malgré les stries fines qu'on y découvre presque toujours par un examen à la loupe. Quelques faces présentent des stries comparables à celles qu'on observe sur les cristaux maclés des feldspaths tricliniques.

Les angles dièdres des huit angles trièdres de ces cristaux à vingt-quatre faces ne diffèrent pas les uns des autres de plus de  $20'$ : la moyenne des mesures goniométriques s'écarte très peu de  $146^{\circ}27'$ , angle mesuré sur l'arête F de l'icositétraèdre  $\alpha^2$ . Les angles dièdres des angles solides à quatre faces ne sont pas aussi constants, car on a trouvé les valeurs extrêmes suivantes:  $131^{\circ}27'$  et  $137^{\circ}$ .

Quand l'écart est de plusieurs degrés par rapport à  $131^{\circ}49'$ , angle mesuré sur l'arête D de l'icositétraèdre  $\alpha^2$ , les faces sur lesquelles se réfléchit successivement la mire lumineuse n'appartiennent manifestement pas à un même cristal (<sup>1</sup>).

En résumé, la mesure des angles dièdres des cristaux d'amphigène obtenus par dissolution apparente montre que les seuls angles solides

---

(<sup>1</sup>) J'ai trouvé sur l'une des deux faces du dièdre une plage très voisine de l'arête D faisant avec l'une des faces un angle voisin de  $131^{\circ}49'$  et avec l'autre face un angle rentrant de  $174^{\circ}$ . Il y avait sur cette dernière face une gouttière à peu près parallèle à l'arête D. Les jeux de lumière à l'intérieur du cristal indiquaient en outre que l'un des plans de l'angle rentrant se prolongeait dans le cristal; une coque géométriquement semblable au cristal le recouvrait

qu'on puisse regarder comme fixes et constants sur un cristal donné sont les angles trièdres. Quant aux différences constatées entre les trois angles dièdres d'un de ces angles solides, elles sont de l'ordre des erreurs d'observation; elles peuvent servir cependant à établir que ces polyèdres à vingt-quatre faces sont entièrement comparables à ceux observés par M. vom Rath sur les cristaux provenant de la Somma.

L'examen optique confirme cette déduction et permet de comparer la structure des cristaux obtenus par le vanadate avec celle des cristaux d'amphigène de Frascati décrits par M. Mallard.

Les cristaux taillés en lames à faces parallèles se colorent lorsqu'on les examine entre les nicols croisés. Le mode de préparation des cristaux ne permettant pas de supposer qu'ils renferment des lames minces d'un minéral biaxe, l'amphigène artificiel est biréfringent, et, par suite, les cristaux n'appartiennent pas au système cubique. Leur forme primitive est très voisine du cube et l'ellipsoïde d'élasticité optique diffère peu de la sphère, car les lames d'amphigène artificiel prennent dans la lumière polarisée parallèle la teinte bleu pâle propre aux substances dont les indices sont presque égaux.

Les coupes minces pratiquées dans les cristaux permettent, en outre, d'étudier leur structure. L'examen, dans la lumière polarisée parallèle, montre que l'extinction ne se produit pas toujours simultanément pour tous les points de la section d'un cristal, et que les plages amenées dans l'azimut d'extinction présentent des lignes ou bandes claires, tandis que les plages orientées différemment montrent des bandes obscures. Quelquefois le nombre de ces bandes est si considérable que la plage elle-même est formée par des bandes très étroites, alternativement claires et foncées. Les bandes de deux plages contiguës sont souvent rectangulaires entre elles.

Les extinctions se font quelquefois symétriquement par rapport au plan de jonction des bandes. C'est ce que l'on constate ordinairement sur les sections qui présentent des lamelles hémitropes dans deux direc-

---

partiellement. J'ai observé plusieurs exemples de l'enveloppement complet d'un cristal, mais le plus souvent le cristal de nouvelle formation est très mince et laisse libre plusieurs des angles solides de cette espèce de noyau. Les couches d'accroissement se montrent aussi parfois sous la forme de zones concentriques : la cassure révèle seule ce dernier mode de structure.

tions rectangulaires, car alors l'extinction se produit suivant la bissectrice des deux séries de bandes.

Ces observations suffisent pour montrer que la structure des cristaux d'amphigène artificiel est aussi compliquée que celle des cristaux de Frascati et qu'ils se composent comme ceux-ci de plusieurs systèmes de macles répétées <sup>(1)</sup>.

Les cristaux destinés à l'analyse de ce silicate ont été préparés avec un mélange très intime de silice et d'alumine pulvérulentes. Ils étaient très petits, mais très nets, exempts d'inclusions étrangères, et par conséquent très propres à faire connaître la composition de ce silico-aluminate de potasse. Les rapports entre les proportions d'oxygène de la potasse, de l'alumine et de la silice sont très voisins de 1 : 3 : 8. Par la composition, comme par la forme, ces cristaux appartiennent donc bien à l'espèce amphigène <sup>(2)</sup>.

L'acide qui attaque le mieux les cristaux est l'acide sulfurique, autre trait commun avec ceux de l'espèce naturelle.

La densité de l'amphigène artificiel est 2,47 à 13°; celle de l'amphigène est 2,48, d'après M. Damour.

L'amphigène a donc été reproduit avec toutes ses propriétés essen-

(<sup>1</sup>) La structure de l'amphigène artificiel paraît être la cause d'un mode d'attaque assez singulier que j'ai constaté en traitant, sur le porte-objet du microscope, ce silicate par l'acide nitrique concentré. Chaque cristal se réduit en fines écailles, qui ne sont ensuite attaquées qu'avec une grande lenteur. L'amphigène naturel, soumis à la même action corrosive, se montre composé de strates irrégulièrement attaquables, mais il ne se délite pas, probablement parce que les couches ne sont pas assez étroites pour que les nitrates, en cristallisant dans les fissures, y jouent utilement le rôle de coin.

(<sup>2</sup>) Je citerai cependant, de préférence, les résultats de l'analyse des cristaux mesurables obtenus dans la préparation que j'ai décrite précédemment, un triage sur le porte-objet du microscope ayant permis d'éliminer sensiblement tous les cristaux contenant des inclusions:

		Oxygène.	Rapports.
Silice.....	52,40	27,9	8
Alumine.....	25,70	11,8	3,2
Potasse.....	20,20	3,4	0,98
Perte .....	1,70		
	<u>100,00</u>		

*Observations.* — L'alumine contient des traces d'acide vanadique.  
Les rapports 8:3,2:0,98 diffèrent peu des rapports 8:3:1.

tielles, et même avec des particularités qu'on pouvait regarder comme accidentelles et dues aux circonstances de sa formation dans les laves.

Le mica alumineux potassique, chauffé dans le vanadate de potasse, est attaqué vers  $800^{\circ}$  et transformé en cristaux d'amphigène.

Dans les mêmes conditions, le mica magnésien fournit des cristaux ayant la forme et l'aspect des cristaux de leucite du Vésuve. Ces cristaux sont jaunes, opalins, plus gros et plus réguliers que ceux préparés avec de la silice et de l'alumine pures; de plus, chacune des pyramides quadrangulaires du pseudo-icositétraèdre  $a^2$  porte une troncature. La structure de ces cristaux est quelquefois moins compliquée que celle des cristaux bien limpides, car on n'y constate qu'un petit nombre de lamelles d'orientations alternantes et l'on peut obtenir des sections étendues qui demeurent éteintes dans toutes les positions sur le porte-objet du microscope polarisant.

L'analyse de ces cristaux conduit à leur assigner la composition d'une wernérite, la paranthine magnésienne (<sup>1</sup>). Mais nul doute que la presque totalité de la magnésie dosée ne provienne des inclusions très abondantes dans certaines parties des cristaux. On peut les regarder comme de l'amphigène ayant emprisonné du grenat pyrope, car les inclusions sont monoréfringentes et possèdent la dureté du quartz.

Ces cristaux d'amphigène sont plus semblables encore aux cristaux des volcans que ceux d'une pureté absolue précédemment décrits.

Leur étude fournit une preuve nouvelle que les cristaux de cette espèce dérivent d'un prisme quadratique.

Les cristaux formés en présence de la magnésie portent les faces  $m$ ,  $a^2$  et  $a_2$ .

Les faces du dioctaèdre sont quelquefois assez développées pour

(1)		Oxygène.	Rapports des quantités d'oxygène.	
Silice.....	51,04	27,22	9,6	2 + 7,6
Alumine.....	26,09	12,04	4,2	1 + 3,2
Magnésie.....	7,73	3,09	} 5,66	2
Potasse par différence..	15,14	2,57		
	100,00			

Les rapports 2 : 1 : 1 caractérisent le grenat pyrope; les rapports 7,6 : 3,2 : 1 sont voisins de ceux de l'amphigène.



faire perdre aux cristaux leur forme dominante habituelle, qui est le pseudo-icositétraèdre  $a^2$ .

Les angles de ce dioctaèdre sont ceux assignés par M. vom Rath à la forme  $a_2$  observée sur les cristaux du Vésuve, ainsi que le prouve les mesures suivantes :

	Amphigène du Vésuve, d'après vom Rath.	Amphigène artificiel, type pyramidal.
$a_2 a_2$ ar. culm. sur $h'$ .....	146. <sup>0</sup> 10'	146. <sup>0</sup> 15'
$a_2 a_2$ ar. culm. sur $m$ .....	131.24	131.37 à 131°45'
$a_2 a_2$ sur $m$ .....	119.10	119.00

Quant aux cristaux qui conservent l'aspect d'un icositétraèdre, leurs angles ne sont pas constants; cependant je citerai les mesures suivantes, effectuées sur un cristal d'une régularité presque géométrique :

	Amphigène du Vésuve.	Amphigène artificiel en pseudo-icositétraèdre.	Icositétraèdre $a^2$ .
$a^2 a^2$ .....	146. <sup>0</sup> 10'	145. <sup>0</sup> 30'	146. <sup>0</sup> 27'
$a_2 a_2$ sur $p$ .....	119.10	110.50 à 111°7'	109.28
$a_2 a_2$ ar. basique ....	133.58	132.30	131.49
$a^2 a^2$ adj.....	130.3	130.5	131.49

Ces angles sont à peu près tous compris entre ceux de l'amphigène quadratique et ceux du polyèdre  $a^2$  dérivé du cube. J'ajouterai que des macles répétées suivant l'une des quatre faces  $b'$  se révèlent par des stries sur toutes les faces de ce cristal.

On pouvait prévoir qu'un cristal d'une structure aussi compliquée ne présenterait pas des incidences observées sur des cristaux exempts de macles. Tous les cristaux sont maclés, mais ceux du type pyramidal ne le sont pas dans le voisinage des arêtes basiques. Aussi le grand développement des faces du dioctaèdre  $a_2$  est-il le meilleur signe d'une structure relativement simple et désigne-t-il les cristaux du type pyramidal pour la détermination des angles de l'espèce et le calcul des dimensions de la forme primitive.

Sur un silicate de sesquioxyde de fer et de potasse correspondant à l'amphigène.

Les premiers travaux de Mitscherlich établirent l'isomorphisme de l'alumine et du sesquioxyde de fer. Les combinaisons naturelles dans

lesquelles l'alumine et le sesquioxyde de fer se remplacent partiellement ou en totalité ne se comptent plus. Mais quelques silicates alumineux contiennent de si faibles quantités de sesquioxyde de fer, qu'on n'a aucune preuve de l'isomorphisme de ces bases dans ces composés, d'ailleurs peu nombreux, et parmi lesquels les plus importants sont l'amphigène et les feldspaths. Ces exceptions tiennent-elles à la nature des combinaisons, ou bien aux conditions particulières de la cristallisation de ces minéraux? Telle est la question qu'on pourra se poser toutes les fois qu'on aura à sa disposition une méthode nouvelle pour faire cristalliser ces silicates. J'ai vainement tenté de remplacer dans la préparation des feldspaths l'alumine par le sesquioxyde de fer, mais j'ai pu obtenir un silicate de sesquioxyde de fer et de potasse qui rappelle l'amphigène par l'ensemble de ses propriétés et par les rapports des quantités d'oxygène contenues dans l'acide et les deux bases.

C'est en traitant par le vanadate de potasse les éléments de ce silicate, à la température de la fusion de l'argent, qu'il se forme et cristallise. La silice et le sesquioxyde de fer amorphe disparaissent en moins d'une heure et sont remplacés dans le vanadate fondu par un sable cristallin formé de très petits pseudo-icositétraèdres. Un séjour prolongé dans ce sel de potasse permet d'obtenir des druses dans lesquelles on trouve du fer oligiste, des silicates variés et au premier rang, par le nombre et par l'éclat, des cristaux transparents d'un vert jaunâtre, dont les formes rappellent celles de l'amphigène. Ces cristaux grossissent plus rapidement et s'obtiennent exempts de tout mélange en ajoutant au bain fondu de vanadate de potasse, dès que les éléments amorphes ont disparu, environ  $\frac{1}{100}$  de son poids de fluosilicate de potasse. Les cristaux nourris ainsi dans le vanadate de potasse restent rarement simples; ils s'accolent, suivant des lois variées et compliquées, pour former des groupes étoilés <sup>(1)</sup>.

---

(<sup>1</sup>) MM. Fouqué et Michel Lévy ont décrit (*Bulletin de la Société minéralogique de France*, t. III, p. 118; 1880) les formes naissantes cristallitiques de la leucite obtenue par le recuit d'une masse vitreuse. Les cristaux naissants de leucite rappellent tout à fait les cristaux de l'amphigène de sesquioxyde de fer nourris dans le vanadate de potasse. Contrairement à ce que ces savants ont observé pour la leucite, l'espèce nouvelle revêt une forme pseudo-régulière avant de constituer des groupes étoilés.

L'analyse des petits cristaux permet de fixer la composition de ce silicate; elle a pu être faite par l'acide sulfurique, qui les attaque complètement :

		Oxygène.	Rapports.
Silice.....	49,66	26,49	8
Sesquioxyde de fer.....	32,13	9,64	2,9
Potasse.....	17,53	2,98	0,9
Perte.....	0,68		
	100,00		

Ces rapports conduisent à la formule  $4\text{SiO}^2, \text{Fe}^2\text{O}^3, \text{KO}$ . Le sesquioxyde de fer peut donc remplacer la totalité de l'alumine dans le silicate  $4\text{SiO}^2, \text{Al}^2\text{O}^3, \text{KO}$ , qui exprime la composition de l'amphigène. Ces deux composés sont isomorphes; les cristaux du nouveau silicate présentent même toutes les particularités observées sur les cristaux d'amphigène des volcans. Ce sont des polyèdres à vingt-quatre faces que la mesure des angles dièdres ne permet pas de distinguer facilement de l'icositétraèdre  $a^2$ . Cependant ces cristaux, pas plus que ceux d'amphigène, n'appartiennent au système cubique; ce sont des pseudo-icositétraèdres formés d'un octaèdre  $a^2$  et d'un dioctaèdre  $a_2$ , dérivés d'un prisme quadratique.

La forme primitive du nouveau silicate est encore plus voisine du cube que celle de l'amphigène; c'est ce qui résulte des mesures suivantes :

	Amphigène desesquioxyde de fer.		Amphigène de Frascati, par vom Rath.	Icositétraèdre $a^2$ .
	Angles			
	observés.	calculés.		
$a^2 a^2$ adj. ....	130°.53'	130°.58'	130°. 3'	131°.49'
$a^2 a_2$ adj. ....	147. 8	146.54	146.37	146.27
$a_2 a_2$ ar. basique ....	*132.50		133.58	131.49
$a_2 a_2$ ar. culm. sur $h^1$ ....	146.38	146.18	146.10	146.27
$a_2 a_2$ ar. culm. sur $m$ ....		131.38	131.24	131.49
$b : h :: 1000 : 1024,4, \quad b : h :: 1000 : 1052,716$				

Ces cristaux sont très fortement biréfringents, ceux d'amphigène le sont fort peu : c'est la différence la plus importante qu'on puisse citer entre ces deux espèces.

Leur structure est très analogue à celle de l'amphigène, car tous les

cristaux sont maclés parallèlement à  $b'$  et les macles se répètent quelquefois par séries parallèles. Les plaques minces constamment éteintes dans la lumière polarisée parallèle sont très rares dans les préparations, mais on observe des plages restreintes de forme rectangulaire qui sont perpendiculaires à un axe optique. Ces plages rectangulaires, quand elles sont très allongées, forment des bandes interrompues par d'autres qui leur sont perpendiculaires; elles donnent alors aux plaques minces examinées dans la lumière polarisée l'aspect d'une fine marqueterie formée de bandes obscures sur un fond très vivement coloré, pourvu que les sections principales des nicols croisés ne soient pas à  $45^\circ$  des plans de macle. Ces phénomènes prouvent que ces cristaux sont des assemblages : les conditions cristallographiques particulières qui déterminent le mode de groupement de l'amphigène existent donc dans les cristaux de l'espèce isomorphe exempte d'alumine.

Le sesquioxyde de fer ne se combine pas aussi facilement à la silice et à la potasse que l'alumine. Il faut, pour obtenir ce silicate, non encore signalé dans la nature, exclure complètement l'alumine du bain fondu de vanadate de potasse. La température nécessaire pour la formation de ce silicate est un peu plus élevée que celle nécessaire à la préparation des feldspaths, probablement parce que le sesquioxyde de fer n'est attaqué par le vanadate alcalin qu'à plus haute température que l'alumine. Il est, en effet, possible de préparer de l'orthose en chauffant modérément un mélange d'alumine et de sesquioxyde de fer avec de la silice et du vanadate de potasse sans former un seul cristal d'amphigène de sesquioxyde de fer.

Le vanadate de potasse, employé comme agent minéralisateur, peut fournir cette nouvelle espèce chimique associée à l'orthose, à l'amphigène et à des silicates variés, parmi lesquels je me propose de chercher la szaboïte ( $3\text{SiO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), découverte récemment par M. Koch.

#### Reproduction de la néphéline.

On obtient des prismes hexagonaux sans modification aucune en traitant les éléments de la néphéline, silice et aluminat de soude, par le vanadate de soude en fusion. Ces cristaux présentent la composition de la néphéline et s'attaquent dans les acides comme ceux de cette espèce.

## Sur la pétalite, silicate d'alumine et de lithine.

La pétalite est intéressante à plus d'un titre ; c'est le silicate alumineux le plus riche en silice et l'un des rares minéraux contenant de la lithine. Ses formes cristallines et ses propriétés optiques sont bien connues depuis les travaux de M. Des Cloizeaux sur la pétalite de l'île d'Elbe, décrite sous le nom de *Castor* ; mais on n'est pas d'accord sur la formule qu'on doit assigner à cette espèce minérale, car, tandis que MM. G. Rose et Rammelsberg adoptent entre les quantités d'oxygène des éléments constituants de ce silicate, la lithine, l'alumine et la silice, les rapports 1 : 4 : 18, Plattner propose les rapports 1 : 6 : 27. La difficulté de se procurer des échantillons exempts d'inclusions quartzeuses laisse donc planer quelques doutes sur les résultats numériques fournis par les analyses de la pétalite. Ce silicate, produit artificiellement dans les conditions les plus favorables à sa pureté, ne répond exactement ni à l'un ni à l'autre des rapports précédents, mais à très peu près aux rapports 1 : 4 : 20 admis par Berzélius, à la suite de ses analyses de la pétalite d'Utö.

La reproduction de la pétalite est facile à réaliser par voie d'échanges chimiques à la température de la fusion de l'argent. Il suffit pour cela d'en chauffer les éléments, silice, alumine et lithine, avec du vanadate de lithine, sel très fusible et susceptible de former des sels acides. Ni le tungstate ni le phosphate de lithine, en réagissant sur ce mélange, ne fournissent ce silicate. Ces sels sont bien des agents minéralisateurs pour les silicates d'alumine et de lithine, mais ils déterminent la formation de cristaux de tridymite et d'un silicate moins riche en silice que la pétalite. Le vanadate seul jouit de la propriété de faire cristalliser ce silicate toutes les fois que la silice se trouve en quantité suffisante dans le mélange. Dans le cas où ce corps est employé en excès, le silicate n'est pas pour cela mélangé avec de la tridymite, car la silice qui ne se combine pas aux bases ne cristallise pas ; elle s'unit à de l'acide vanadique, ce qui permet d'en débarrasser le silicate par des traitements successifs à l'eau bouillante, à l'ammoniaque et à l'acide chlorhydrique. Un excès de silice dans le mélange ne peut altérer la pureté du silicate ; il convient donc d'employer la silice et l'alumine

dans les proportions où se trouvaient ces deux corps dans la pétalite la plus riche en silice, c'est-à-dire au moins 30<sup>es</sup> de silice pour 4<sup>es</sup> d'alumine.

La silice et l'alumine sont intimement mélangées avant d'être imbibées de vanadate de lithine fondu, dans lequel elles doivent séjourner plusieurs jours. Après les réactions qui président à la cristallisation, une partie de la lithine est fixée par le silicate, et le vanadate est devenu un peu acide. Cet état final du vanadate est si utile pour obtenir une pétalite exempte d'un autre silicate d'alumine et de lithine que je décrirai plus loin, qu'il est bon d'ajouter dès le début un peu d'acide vanadique au vanadate neutre de lithine.

Ces conditions permettent d'obtenir un sable cristallin bien homogène, et par suite très convenable pour en fixer la composition.

L'analyse, faite par la voie moyenne, donne les résultats suivants :

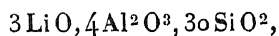
		Oxygène.	Rapports.		
Silice.....	77,65	41,41	20,00	30 SiO <sup>2</sup> .....	78,05
Alumine...	17,80	8,21	3,97	4 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> ....	18,04
Lithine....	4,27	2,30	1,10	3 LiO.....	3,91
Perte.....	0,28				<hr/> 100,00
	<hr/> 100,00				

Ce silicate raye difficilement l'orthose; il possède, par suite, la dureté de la pétalite. Il en a également la densité.

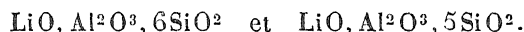
Les cristaux sont incolores et biréfringents, quoique peu transparents; ils ont pour forme dominante un octaèdre à base rectangle dont les faces sont peu réfléchissantes et comme cariées. Ils s'agrègent entre eux de façon à constituer des druses et quelquefois des trémies.

#### Sur deux nouveaux silicates d'alumine et de lithine.

La méthode de préparation des silico-aluminates alcalins, basée sur l'emploi des sels fusibles susceptibles de former des sels acides, permet d'obtenir, lorsque l'agent minéralisateur est le vanadate de lithine, une substance cristallisée ayant la composition de la pétalite



le plus silicaté des minéraux et le plus riche en lithine. Ce silicate alumineux naturel n'est pas le seul composé défini que fasse cristalliser le vanadate de lithine, car j'ai reconnu que ce sel minéralise au rouge sombre la lithine, l'alumine et la silice dans deux autres proportions, savoir



Le tungstate de lithine ne peut remplacer le vanadate de cette base dans toutes ces préparations, car ce sel jouit de la propriété de ramener tous les silico-aluminates de lithine à un type unique, celui qui contient 6<sup>es</sup> de silice pour 1<sup>er</sup> d'aluminate de lithine. Ce sel fournira donc ce silicate intermédiaire exempt de tout mélange avec la pétalite et avec le silicate d'alumine et de lithine le moins silicaté.

1<sup>o</sup> *Silicate d'alumine et de lithine*  $5\text{SiO}^2, \text{Al}^2\text{O}^3, \text{LiO}$ . — Ce composé, qu'on n'a pas encore signalé dans les roches et que les chimistes n'ont pas préparé, s'obtient en beaux cristaux par une méthode calquée sur celle qui m'a permis de reproduire l'amphigène.

La silice et l'alumine, chauffées avec du vanadate de lithine à une température un peu supérieure à celle de la fusion de ce sel, fournissent en quelques heures un sable cristallin au milieu duquel se développent lentement des cristaux déterminables. En opérant sur un mélange qui contient au moins 1<sup>er</sup> d'alumine pour 5<sup>es</sup> de silice, le vanadate de lithine minéralise un silico-aluminate alcalin d'une grande pureté. L'analyse permet de constater que l'alumine et la silice s'y trouvent exactement dans le rapport de 1 à 5 :

Silice. . . . .	69,03	5 SiO <sup>2</sup> . . . . .	69,12
Alumine. . . .	23,74	Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> . . . . .	23,96
Lithine . . . . .	6,08	LiO. . . . .	6,92
Perte. . . . .	1,15		<hr/> 100,00
	<hr/> 100,00		

Les quantités d'oxygène des éléments lithine, alumine et silice sont donc entre elles dans les rapports 1 : 3 : 10. La composition de ce silicate rappelle celle de l'oligoclase, car les analyses de ce feldspath conduisent à adopter les rapports 1 : 3 : 9 ou, avec presque autant de probabilité, les rapports 1 : 3 : 10, qui ont sur les premiers l'avantage de faire rentrer la formule de ce minéral dans une série régulière.

Comme l'oligoclase, ce silicate résiste à l'action des acides, et comme lui il raye facilement le verre. Sa densité est 2,40 à 2,52.

Les cristaux sont transparents, quelquefois laiteux, isolés ou réunis en druses. La forme dominante est un octaèdre à base carrée. La base *p* est rare, ainsi que les faces d'un dioctaèdre; mais presque toutes les faces portent des stries parallèles aux intersections de cette forme simple à seize faces avec les faces de l'octaèdre :

	Angles observés.	Angles calculés.
$b^1 b^1$ sur $p$ .....	* 101° à 100°50'	»
$b^1 b^1$ .....	114° à 114°25'	113°52'

Le rapport du côté de la base à la hauteur du prisme est à peu près celui des nombres 1000 et 824.

Ces cristaux sont biréfringents. L'examen optique et la détermination cristallographique s'accordent pour les rapporter au système quadratique, car des plaques taillées parallèlement à la base *p* ne rétablissent pas la lumière lorsqu'on les place entre les nicols croisés d'un microscope.

Ces mêmes cristaux se forment aux dépens du mica lorsqu'on chauffe ce minéral avec du vanadate de lithine. Les lames de mica deviennent opaques et s'incrudent d'octaèdres qui s'accroissent entre eux à la façon des octaèdres de la hausmannite.

2° *Silicate d'alumine et de lithine*  $6\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{LiO}$ . — Ce silicate se prépare indifféremment par le vanadate et par le tungstate de lithine. Il suffit que l'alumine et la silice soient exactement dans le rapport de 1<sup>re</sup> d'alumine pour 6<sup>es</sup> de silice pour l'obtenir exempt de tout mélange et en cristaux mesurables.

L'analyse de ce silicate préparé par le vanadate de lithine fournit les résultats suivants :

Silice... ..	72,60	$6\text{SiO}_2$ .....	72,30
Alumine.....	22,00	$\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	21,60
Lithine par différence..	5,40	$\text{LiO}$ .....	6,10
	100,00		100,00

Ce silicate vient donc se placer par sa composition à côté de l'orthose et de l'albite, puisque les quantités d'oxygène contenues dans la



lithine, l'alumine et la silice sont dans les rapports 1:3:12. Il est à l'orthose ce que le silicate précédent est à l'oligoclase.

Il a la dureté de l'orthose, le même degré de résistance vis-à-vis des réactifs. Sa densité est 2,41 à 11°.

Obtenu par le vanadate, ce silicate se présente en petits octaèdres qu'on ne peut distinguer par les mesures d'angles de l'octaèdre  $b^1$ , que j'ai décrit pour le silicate  $5\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}^2\text{O}_3$ ,  $\text{LiO}$ ; mais, tandis que le silicate correspondant à l'oligoclase dépolarise énergiquement la lumière, le silicate correspondant à l'orthose s'illumine à peine dans le champ obscur d'un microscope polarisant.

Les cristaux préparés par le tungstate de lithine retiennent toujours un peu d'acide tungstique, mais ils sont souvent isolés, d'une transparence parfaite et leurs faces, bien exemptes de stries, réfléchissent vivement la lumière. Leur forme dominante est un octaèdre à base carrée très surbaissée, portant en bordure les faces de l'octaèdre observé sur les cristaux qui prennent naissance dans le vanadate.

	Angles observés.	Angles calculés.
$b^2b^2$ sur $p$ . . . . .	*117.36	»
$b^2b^1$ . . . . .	137.10	136.58
$b^1b^1$ sur $p$ . . . . .	99.50	101.2

L'octaèdre  $b^1$  est, à quelques minutes près, celui de l'oligoclase lithique. Ces deux silicates, différents l'un de l'autre par les proportions relatives de leurs éléments, offrent donc un nouvel exemple d'isomorphisme géométrique, analogue à celui qu'on observe entre les feldspaths tricliniques.

Cette similitude de forme n'entraîne pas l'égalité des constantes optiques, car le silicate  $5\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}^3\text{O}_3$ ,  $\text{LiO}$  possède seul une double réfraction énergétique.

Il est impossible de ne pas rapprocher, au point de vue chimique, ces deux silicates des feldspaths. Leur forme quadratique et l'absence de clivages faciles conduisent à les placer à côté de l'amphigène, minéral qui appartient à la famille des feldspathides. L'albite et l'oligoclase du sous-groupe des feldspaths correspondent aux deux espèces  $6\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}^2\text{O}_3$ ,  $\text{LiO}$  et  $5\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}^2\text{O}_3$ ,  $\text{LiO}$ , que je propose de placer dans le sous-groupe de l'amphigène. Elles ne sont encore que des produits

de laboratoire, mais on peut espérer les découvrir dans les roches, associées à la pétalite et aux micas lithiques.

C'est également dans ce sous-groupe que vient se placer l'amphigène de sesquioxyde de fer, ce qui porte à trois le nombre des espèces artificielles à réunir à la leucite.

#### SUR DEUX NOUVEAUX SILICOTITANATES DE SOUDE.

J'ai donné précédemment plusieurs exemples de l'utilité de l'emploi de certains sels fondus en Chimie minéralogique, soit pour reproduire des espèces naturelles, soit pour assigner les limites dans lesquelles leurs éléments sont isomorphes.

Je me propose de faire connaître deux silicotitanates obtenus dans des expériences instituées pour fixer la composition des silicates naturels contenant des oxydes capables de saturer les alcalis concurremment avec la silice.

La silice amorphe, chauffée avec du tungstate de soude, fournit de la tridymite et du quartz; l'acide titanique précipité cristallise également dans ce sel fondu et prend alors l'une des formes les plus rares du titane rutil, car les cristaux sont maclés comme les échantillons de Grave's Mountain décrits par G. Rose. Le mélange des deux acides, traité par le tungstate neutre de soude à 900° environ, donne des cristaux de tridymite et de rutil associés à quelques cristaux contenant à la fois de la silice, de l'acide titanique et de la soude. On parvient à éviter la cristallisation des acides libres en employant un tungstate de soude assez alcalin pour qu'une partie de la silice échappe à la minéralisation et reste à l'état de silicate de soude. La totalité de l'acide titanique se combine rapidement à la silice et à la soude si l'on a la précaution de former du titanate de soude aux dépens de la soude du tungstate très alcalin avant d'ajouter la silice. Les cristaux obtenus, en faisant réagir au rouge sombre 2<sup>es</sup> de silice sur du tungstate de soude qu'on avait maintenu au rouge vif avec les éléments de 1<sup>er</sup> de titanate de soude, appartiennent à deux espèces de composition différente :  $4\text{SiO}^2$ ,  $5\text{TiO}^2$ ,  $2\text{NaO}$  et  $3\text{SiO}^2$ ,  $2\text{TiO}^2$ ,  $\text{NaO}$ .

1<sup>o</sup> Le silicotitanate  $4\text{SiO}^2$ ,  $5\text{TiO}^2$ ,  $2\text{NaO}$  se présente en nodules héri-

sés de pointes cristallines et formés de fibres radiées, ou en prismes très aplatis et finement cannelés, quelquefois réunis en gerbes. Les faces des prismes et les sections des nodules possèdent un vif éclat soyeux.

Ces cristaux sont toujours hyalins et très fortement biréfringents. Ils rayent le verre, mais ils sont très fragiles. Ils résistent aux acides qui attaquent le silicotitanate de chaux naturel.

L'analyse leur assigne la composition suivante :

Silice (par différence)....	31,83	4 SiO <sup>2</sup> .....	31,00
Acide titanique.....	52,08	5 TiO <sup>2</sup> .....	52,97
Soude.....	16,09	2 NaO.....	16,03
	100,00		100,00

Les quantités d'oxygène des éléments soude, acide titanique et silice sont donc entre elles dans les rapports 1:5:4.

2° Le silicotitanate 3SiO<sup>2</sup>, 2TiO<sup>2</sup>, NaO a un tout autre aspect que le précédent. Les cristaux de cette nouvelle espèce chimique sont des prismes courts, isolés ou réunis en druses. Ils sont incolores, transparents et très réfringents. Leur forme primitive est un prisme orthorhombique presque quadratique. Les faces *a'* et *e'* se retrouvent sur tous les cristaux, mais elles sont souvent très petites. Ces cristaux se clivent parallèlement aux pans du prisme de 91°.

	Angles observés.	Angles calculés.
<i>m m</i> ... ..	91.00'	»
<i>h' p</i> ... ..	90.05	90
<i>p a'</i> ... ..	*143.28	»
<i>p e'</i> ... ..	144.15	143.57

Les incidences de ces faces conduisent à adopter pour le rapport de *b:h* celui des nombres 1000:519.

La forme primitive de ce composé est bien un prisme orthorhombique, car les plaques parallèles à la base examinées entre les nicols croisés, au lieu de rester constamment éteintes, à la façon des lames perpendiculaires à l'axe de symétrie principal d'un prisme quadratique, se conduisent comme le ferait une lame d'un cristal biaxe; elles se colorent et elles s'éteignent seulement suivant les plans bissecteurs de la base rhombe *p*.

Ces cristaux sont difficiles à attaquer par les acides et même par le bisulfate de potasse fondu.

L'analyse, faite en traitant des cristaux triés par l'acide fluorhydrique, donne les nombres suivants :

Silice (par différence).....	43,86	3SiO <sup>2</sup> .....	44,33
Acide titanique.....	40,00	2TiO <sup>2</sup> .....	40,39
Soude. ....	16,14	NaO.....	15,28
	<u>100,00</u>		<u>100,00</u>

Les quantités d'oxygène des éléments soude, acide titanique et silice sont entre elles dans les rapports 1 : 4 : 6,

Le groupe des silicotitanates s'annonce comme très riche en espèces, car nul doute qu'en remplaçant les tungstates par les vanadates, on ne puisse réaliser des combinaisons intermédiaires entre ces nouveaux composés et le sphène (1 : 2 : 2).

Ces deux silicotitanates se distinguent facilement du rutile, toujours jaune verdâtre quand il n'est pas violet ou bleu, par l'absence de toute coloration, et surtout par leur fusibilité. En effet, les cristaux de ces deux espèces, chauffés sur une lame de platine dans le dard oxydant du chalumeau, fondent immédiatement en fournissant une goutte vitreuse incolore et bien limpide. Ce caractère est important : il permettrait de les distinguer des silicates alumineux avec lesquels on pourrait les confondre.

Le verre obtenu dans la fusion de ces silicotitanates, s'il est refroidi lentement, abandonne des cristaux aciculaires verts qui donnent, à l'analyse, les résultats suivants :

Acide titanique.....	98,75
Soude.....	0,54
Silice (par différence). ....	0,71
	<u>100,00</u>

Les cristaux formés dans ce verre appartiennent donc à l'espèce rutile.

Les silicotitanates cristallisés chauffés au-dessous de la température de leur fusion sont très stables; mais, une fois qu'ils ont été fondus, ils se dévitrifient avec une remarquable rapidité. La dévitrification les

transforme en une aventurine de rutile aciculaire qui se détruit lorsqu'on la porte au rouge vif; le silicate alcalin attaque en effet, à cette température, l'acide titanique cristallisé, en reproduisant un verre limpide susceptible de se dévitrifier de nouveau à une température convenable.

La cristallisation de l'acide titanique aux dépens de ces composés vitrifiés rappelle les belles expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy; les réactions qui la déterminent sont identiques à celles qui font cristalliser les silicotitanates dans le tungstate de soude en fusion. La comparaison des conditions qui président à ces cristallisations me paraît de nature à établir un lien entre les procédés de ces expérimentateurs et ceux que j'ai fait connaître dans ce Mémoire <sup>(1)</sup>.

---

#### CONCLUSIONS.

La reproduction d'une espèce minérale aux dépens de ses éléments est une épreuve à laquelle on doit soumettre les résultats de son analyse et qui peut les confirmer ou les faire mettre en doute.

La plupart des minéraux dont je me suis occupé dans ce Mémoire étaient bien connus, tant au point de vue de la nature de leurs éléments qu'à celui de leurs proportions relatives. Aussi mes expériences viennent-elles toutes à l'appui des formules qui leur étaient assignées.

Les expériences que j'ai exécutées pourront servir à apprécier l'influence exercée sur la forme de quelques silicates par les différentes bases terreuses ou alcalines et dans quelle limite ces bases sont isomorphes.

Je ne reviendrai pas sur les faits que j'ai constatés ni sur les conséquences qu'on en peut tirer; on les trouve exposés plus haut avec les développements suffisants. Mais il est utile de jeter un coup d'œil d'en-

---

<sup>(1)</sup> Voir les Notes insérées dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXIV, p. 1301, t. LXXXV, p. 952, t. LXXXVI, p. 1133 et 1194, t. LXXXVII, p. 961, t. XC, p. 313, 378, 541 et 868, ainsi que le *Bulletin de la Société philomathique de Paris*, 7<sup>e</sup> série, t. II, p. 62 et 123, et le *Bulletin de la Société minéralogique de France*, t. I, p. 3.

semble sur les résultats obtenus, afin de bien apprécier le rôle du milieu dans la cristallisation par la voie sèche. Un corps prend-il une forme géométrique, la volatilisation ou la dissolution est invoquée pour expliquer la cristallisation; on ne va guère au delà que depuis quelques années.

M. H. Sainte-Claire Deville ayant reconnu que deux actions chimiques inverses l'une de l'autre faisaient souvent croire à la volatilisation de composés fixes, j'ai dû me demander si les cristallisations réalisées en présence des sels fondus sont la conséquence des variations de solubilité ou de réactions chimiques. Si le chlorure de calcium agit sur les acides silicique et titanique à la façon de l'eau dans la cristallisation des sels, les tungstates et les vanadates alcalins se conduisent tout autrement; des réactions chimiques suppléent au défaut de solubilité. La cristallisation des acides silicique, titanique, ainsi que celle des silicates alumineux dans ces sels alcalins, s'effectuent par voie d'échanges chimiques; la dissolution n'est qu'apparente.

Les sels qui sont susceptibles de jouer le rôle de dissolvant apparent sont les sels capables de former des sels acides : de là la possibilité de remplacer ces sels les uns par les autres.

Ils ont cependant chacun des propriétés spéciales qui les rendent plus propres, les uns à la cristallisation des minéraux caractéristiques des roches acides, les autres à la cristallisation des composés alumineux les moins silicatés.

C'est ainsi que les tungstates alcalins sont les agents minéralisateurs les plus puissants de l'orthose et de l'albite, de la tridymite et du quartz; mais ils ne permettent pas de préparer un silicate alumineux moins silicaté que l'oligoclase.

Les phosphates alcalins ne donnent facilement que la tridymite et les feldspaths les plus riches en silice; mais, par l'action combinée des phosphates et des fluorures, on peut utiliser ces sels pour préparer simultanément du quartz et de l'orthose.

Les vanadates alcalins sont les réactifs qui peuvent faire cristalliser les silicates alumineux les plus variés. L'amphigène et la néphéline ont été obtenus par ces sels aussi facilement que l'albite et l'orthose. Ils ne donnent pas de silice nettement cristallisée, mais ils permettent de préparer le silicate le plus riche en silice, la pétalite ou castor.

Le choix du dissolvant apparent se fait, dans chaque cas particulier, en tenant compte de sa fusibilité à l'état de sel neutre et de sel acide, et de la facilité avec laquelle il cède son alcali, qui est l'agent de l'attaque, tandis que le sel acide détermine, en reprenant l'alcali qu'il avait cédé à haute température, la précipitation sous forme de cristaux.

Quand l'expérience a dévoilé une des conditions dans lesquelles un minéral se forme, on n'a pas découvert pour cela les réactions qui ont présidé à sa formation dans son gisement naturel; mais on est assuré de ne pas le détruire dans le milieu apte à le reproduire en cristaux, bien que le fait de sa cristallisation implique qu'il s'y dissolvait ou s'y décomposait momentanément sous l'influence des variations de température. Le choix des réactifs utilisables dans les synthèses minérales peut donc se faire en soumettant à leur action des cristaux naturels. On découvre ainsi, plus facilement que par une autre voie, les conditions de leur cristallisation ou celles de la production d'autres minéraux formés aux dépens de leurs éléments. C'est ainsi qu'en faisant agir les vanadates en fusion sur les micas j'ai obtenu des cristaux déterminables observés dans les roches de la Somma.

J'ai exposé en détail divers essais d'un intérêt exclusivement minéralogique, pour faire voir la manière dont les réactifs de la voie sèche pourront être employés à la cristallisation des espèces rares et peu connues, et pour montrer que la Chimie minéralogique n'est pas, comme on serait tenté de le penser, uniquement destinée à contrôler et à reproduire, mais qu'elle peut, en signalant l'existence de certaines combinaisons très stables, conduire à la découverte dans les roches terrestres d'espèces minérales variées.

---