H. F. u. f. 167. (8, 8.)

N° D'ORDRE
260.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR

OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. LECHARTIER,

Ancien élève de l'École Normale, Agrégé, Préparateur de Chimie à l'École Normale.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE FRANCE

FACULTÉ des SCIENCES
BIBLIOTHÈQUE
PARIS

1re THÈSE. — CHIMIE ET MINÉRALOGIE.

2e THÈSE. — PROPOSITIONS DE PHYSIQUE DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 16 Juillet 1864, devant la Commission d'Examen.

MM. DELAFOSSE, *Président.*
P. DESAINS,
H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE, } *Examinateurs.*

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DE L'ÉCOLE IMPÉRIALE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55.

1864.

DON
N° 11772

ACADÉMIE DE PARIS.

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

DOYEN	MILNE EDWARDS, Professeur.	Zoologie, Anatomie, Physiologie.
PROFESSEURS HONORAIRES	PONCELET.	
	LEFÉBURE DE FOURCY.	
PROFESSEURS	DUMAS	Chimie.
	DELAFOSSE	Minéralogie.
	BALARD	Chimie.
	CHASLES	Géométrie supérieure.
	LE VERRIER	Astronomie.
	DUHAMEL	Algèbre supérieure.
	LAMÉ	Calcul des probabilités, Physique mathématique.
	DELAUNAY	Mécanique physique.
	C. BERNARD	Physiologie générale.
	P. DESAINS	Physique.
	LIOUVILLE	Mécanique rationnelle.
	HÉBERT	Géologie.
	PUISEUX	Astronomie.
	DUCHARTRE	Botanique.
	P. GRATIOLET	Anatomie, Physiologie comparée, Zoologie.
	JAMIN	Physique.
	SERRET	Calcul différentiel et intégral.
AGRÉGÉS	BERTRAND	Sciences mathématiques.
	J. VIEILLE	Sciences mathématiques.
	PELIGOT	Sciences physiques.
SECRÉTAIRE	E. PREZ-REYNIER.	

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Rue de Seine-Saint-Germain, 10, près l'Institut.

A

MONSIEUR

H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE.

TÉMOIGNAGE DE RECONNAISSANCE

ET DE RESPECTUEUSE AFFECTION.

PREMIÈRE THÈSE.

ANALYSE IMMÉDIATE DES MINÉRAUX.

INTRODUCTION.

Une espèce minérale est définie par l'ensemble de ses propriétés physiques, dont la plus importante est la forme cristalline, et par sa composition chimique, qui fait connaître la nature et la proportion relative de ses éléments constitutifs.

Un seul cristal, dont les faces régulières sont terminées par un sommet, suffit pour révéler la forme cristalline; même, il importe peu qu'il existe à l'intérieur quelques fragments de matière étrangère. Mais, pour déterminer la composition, il est nécessaire d'avoir une substance parfaitement pure. Si cette condition n'est pas remplie, l'analyse, fût-elle faite avec la plus grande exactitude, ne conduira pas à la véritable formule de l'espèce minérale. En général il n'y aura aucune constance dans les résultats que l'on obtiendra, en analysant deux échantillons différents, ou même deux fragments d'un même échantillon.

Lorsqu'on passe en revue les analyses publiées pour une même espèce, on y remarque souvent des différences considérables. Il est vrai que les procédés employés par les chimistes pour séparer les éléments d'un minéral ne sont pas d'une rigueur absolue; mais les imperfections d'analyse ne peuvent expliquer les variations que le même chimiste obtient en employant toujours la même méthode. La cause doit donc résider dans le défaut de pureté des substances analysées.

Ce qui se passe dans les laboratoires et dans l'industrie, où l'on cherche à réunir toutes les conditions possibles pour obtenir des sels cristallisés purs, peut facilement en rendre compte. Des dissolutions impures ne donnent jamais que des cristaux impurs, et ce n'est que par des cristallisations répétées que l'on arrive à les purifier. Tout précipité formé au sein d'un liquide entraîne une partie des sels dissous; un minéral a-t-il cristallisé dans ces circonstances, l'eau mère est restée emprisonnée dans son intérieur, apportant quelque substance étrangère, que nous ne pouvons enlever par des cristallisations.

Des cristaux de nature différente peuvent même se former en même temps au sein d'une même liqueur et rester enchevêtrés les uns dans les autres.

Si le minéral s'est formé pendant le refroidissement d'une matière en fusion, ou par la réaction d'éléments volatils les uns sur les autres, les résultats sont encore les mêmes. Les cristaux ne seront purs que dans le cas où les éléments mis en présence ne peuvent donner qu'une seule combinaison. Mais au milieu d'une masse hétérogène en fusion, à une température déterminée, certains éléments s'unissent pour former un cristal, produit d'une combinaison stable dans les conditions existantes. A une température plus basse, les mêmes éléments s'unissant entre eux dans d'autres proportions, ou s'alliant à d'autres éléments encore libres, produiront des cristaux différents qui resteront intimement mélangés à ceux qui sont déjà formés, et le tout sera réuni par une gangue qui aura servi elle-même dans la cristallisation.

C'est ainsi que des cristaux de staurotide sont enfermés avec du grenat, du disthène, de la tourmaline, au milieu de schiste micacé. Souvent même un cristal de staurotide emprisonne complétement un cristal de disthène qui le pénètre suivant son axe. Des cristaux de trémolite sont fréquemment implantés sur une gangue de carbonate de chaux ou de dolomie. Le faisceau de cristaux que l'on en détache n'est pas pur; il est formé d'une multitude d'aiguilles ou de prismes réunis intimement par un ciment calcaire. Les cristaux sont-ils gros, ils sont pénétrés jusque dans leur centre par des carbonates; on y trouve même des paillettes de mica et des grains de pyrite. Une observation attentive aidée de la loupe peut, dans ces différents cas, faire découvrir les divers éléments du mélange; mais un triage mécanique ne suffirait pas pour les rendre parfaitement purs.

De plus, l'observation microscopique des plaques minces montre que beaucoup de cristaux, en apparence purs et homogènes, renferment des corps étrangers. Un gros cristal de staurotide de Bretagne paraît ne contenir qu'une seule espèce de matière, mais le microscope et les agents chimiques viennent nous montrer qu'il est formé par un mélange intime de grains de staurotide et de grains transparents et incolores, qui sont complétement différents des premiers.

On rencontre donc de grandes difficultés toutes les fois que l'on veut obtenir une substance minérale isolée. Pour avoir quelque certitude qu'un minéral est pur, il faut que les cristaux soient petits, transparents, de couleur claire, et que l'œil, avec l'aide de la loupe et du microscope polarisant, ne puisse apercevoir à leur intérieur aucun corps étranger. Mais souvent de semblables cristaux n'existent qu'en faible quantité dans des échantillons rares que l'on ne trouve que dans un petit nombre de localités. Toutes les fois que l'on pourra s'en procurer, ils serviront à déterminer la composition chimique, qui sera la composition type de l'espèce. Mais il restera encore à montrer que toutes les autres variétés qui ne se présentent

pas avec le même degré de pureté ont une composition identique. De là nécessité de purifier les cristaux, sans les altérer. Il faut au moins, par une observation attentive des impuretés qui y sont mélangées, par leur analyse, montrer la cause des divergences qui existent entre les résultats que l'on obtient et la composition du minéral type. Sans ces précautions, on se trouve exposé, à la suite d'analyses faites avec le plus grand soin, sur des matières que l'on croit pures, à admettre des compositions différentes pour les diverses variétés d'une même substance jouissant toutes des mêmes caractères cristallographiques, ou à admettre que deux corps, tels que la silice et l'alumine, sont isomorphes, sans que cette hypothèse soit justifiée par aucun des faits de la Chimie. Le premier de ces résultats s'est produit pour la staurotide, le second pour les amphiboles.

Ce sont ces difficultés que j'ai cherché à résoudre, en purifiant aussi complétement que possible les minéraux sur lesquels j'ai opéré. Toutes ces analyses ont été faites au laboratoire de chimie de l'École Normale supérieure. Élève de M. Henri Sainte-Claire Deville, j'ai cherché à appliquer ses leçons, et ses conseils ne m'ont jamais fait défaut pendant tout le cours de mon travail. C'est pour moi une heureuse occasion de lui exprimer publiquement toute ma reconnaissance.

PROCÉDÉS D'ANALYSE.

J'ai suivi complétement la méthode d'analyse de M. H. Sainte-Claire Deville, décrite dans les *Annales de Physique et de Chimie* (3e série, t. XXXVIII, p. 5).

J'en rappelle ici les points essentiels.

Le minéral est calciné au rouge jusqu'à ce que toutes les matières volatiles aient disparu. Sa poudre est mélangée intimement avec un poids convenable de carbonate de chaux pur. Le mélange est fondu en un verre que l'on doit chercher à obtenir aussi transparent que possible.

Le verre pulvérisé est dissous dans l'acide azotique. On évapore au bain de sable jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de vapeurs acides, et on reprend le mélange par le nitrate d'ammoniaque. Un lavage permet d'obtenir d'une part la silice avec les sesquioxydes, et d'autre part une liqueur renfermant en dissolution les nitrates de protoxydes.

On fait digérer à chaud la silice et les oxydes restés dans la capsule avec de l'acide azotique, qui dissout le fer, l'alumine et le manganèse.

La silice est-elle colorée, on la traite par l'acide sulfurique et par l'acide oxalonitrique. La silice blanche et pure est calcinée et pesée.

Dans tous les cas, on la dissout dans l'acide fluorhydrique pur, obtenu au moyen de la décomposition par la chaleur du fluorhydrate de fluorure de potassium

cristallisé. On évapore lentement la liqueur fluorhydrique, à laquelle on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique. Les sulfates restés seuls dans la capsule sont calcinés au rouge, et le poids des oxydes est retranché du premier poids obtenu. On a ainsi le poids de la silice avec la plus grande exactitude.

On amène à sec la liqueur renfermant les nitrates d'alumine, de fer et de manganèse; on calcine et on pèse le mélange des oxydes.

M. Pisani a apporté dans la série des opérations une petite modification qui n'en change en rien le principe.

La silice rendue insoluble par une évaporation à sec est mise immédiatement en digestion avec de l'acide azotique, qui dissout tous les oxydes. Un lavage isole la silice.

La dissolution des oxydes est évaporée à sec et calcinée jusqu'à dégagement de vapeurs rutilantes; on humecte la masse et on fait bouillir avec du nitrate d'ammoniaque. Tous les protoxydes sont dissous, les sesquioxydes restent à l'état de poudre insoluble.

J'ai suivi ces deux marches différentes. Dans la seconde, il n'est pas nécessaire de calciner aussi fortement le mélange de silice et de nitrates; par suite, la dissolution des oxydes dans l'acide azotique s'opère plus rapidement; mais le lavage par lequel on sépare les sesquioxydes des nitrates de protoxydes devient difficile, lorsque la proportion d'alumine et d'oxyde de fer est considérable; très-souvent, vers la fin de l'opération, les eaux de lavage passent troublées au travers du filtre, et une seconde filtration est nécessaire. Dans la marche suivie par M. Deville, l'alumine et le sesquioxyde de fer restent dans la capsule sous forme de matière grenue qui se lave avec la plus grande facilité.

Pour déterminer le rapport des quantités d'alumine, de sesquioxydes de fer et de manganèse, on introduit le mélange des oxydes dans une nacelle de platine tarée. La nacelle est placée dans un tube de platine, chauffé au rouge. Au moyen d'un courant d'hydrogène, on réduit le sesquioxyde de fer, et on fait passer le sesquioxyde de manganèse à l'état de protoxyde. Un courant d'acide chlorhydrique enlève le fer et le manganèse à l'état de chlorures. L'alumine doit être parfaitement blanche.

Les chlorures volatils sont recueillis et transformés en sulfates que l'on calcine à une température peu élevée. Le sulfate de manganèse non décomposé reste mélangé au sesquioxyde de fer; on pèse le mélange, puis le sesquioxyde de fer débarrassé par un lavage du sulfate de manganèse.

Dans la dissolution des protoxydes, on précipite la chaux par l'oxalate d'ammoniaque.

La liqueur filtrée contenant la magnésie et les alcalis est évaporée. On calcine le résidu de manière à décomposer le nitrate d'ammoniaque. Le nitrate de magnésie

est transformé par l'acide oxalique pur en carbonate que l'on calcine et que l'on sépare des alcalis par un lavage à l'eau chaude. Si la magnésie est colorée par du manganèse, on la dissout dans le nitrate d'ammoniaque et on pèse le résidu. Tout ce qui s'est dissous dans le nitrate d'ammoniaque est de la magnésie.

Le chlorure de platine alcoolisé sert à séparer la potasse de la soude.

Détermination du degré d'oxydation du fer dans les silicates.

Tous les procédés employés jusqu'à ce jour ont pour but de dissoudre le silicate dans un acide et de doser dans la dissolution le protoxyde de fer, au moyen d'une liqueur titrée d'hypermanganate de potasse.

Pour rendre la matière attaquable par les acides, on la mélange avec quatre ou cinq fois son poids de borax ou d'acide borique, et on fond le tout dans un creuset de platine placé dans un creuset plus grand rempli de carbonate de magnésie. Il est important que, pendant toute l'opération, le verre ne soit en contact ni avec un corps oxydant, ni avec un gaz réducteur. Non-seulement le silicate ne doit pas être chauffé au contact d'un carbonate, mais il ne faut même pas que dans l'atmosphère du creuset il puisse y avoir production d'oxyde de carbone. Un creuset de platine fermé, contenant environ 1 gramme de staurotide, a été introduit dans un creuset de charbon rempli de magnésie calcinée, à laquelle on a ajouté un fragment de marbre. Le creuset de charbon a été placé dans un creuset de terre et le tout chauffé à une haute température. Le creuset de platine a été retrouvé fondu avec un verre devenu blanc; l'oxyde de carbone a mis en liberté du fer qui a formé avec le platine un alliage fusible. Si l'on remplace le creuset de platine par un creuset de charbon de cornue, on obtient un culot complétement blanc avec de petits globules de fer.

J'ai cherché un procédé qui permît de déterminer, au moyen de la balance, la quantité d'oxygène combiné au fer. Si l'on avait à faire cette détermination sur de l'oxyde de fer libre, il suffirait de réduire un poids donné d'oxyde desséché dans un courant d'hydrogène. On pèse le fer, la différence donne le poids de l'oxygène.

Soient

p le poids de l'oxygène,	x le poids de sesquioxyde,
f le poids du fer,	y celui de protoxyde;

les quantités d'oxydes sont données par les deux formules

$$x = 10\left(p - \frac{2}{7}f\right), \quad y = 9\left(\frac{3}{7}f - p\right).$$

Si l'oxyde de fer combiné à la silice était facilement réductible par l'hydrogène, le

procédé pourrait s'y appliquer sans aucune difficulté. Mais, parmi les silicates, il en est un certain nombre sur lesquels l'hydrogène est sans action. La staurotide, l'augite sont dans ce cas. Chauffés dans un courant d'hydrogène, ces minéraux ne perdent rien de leur poids. Pour d'autres, la réduction s'opère peu à peu, avec une lenteur extrême, et elle n'est jamais complète. C'est ce que l'on observe pour les hornblendes très-ferrugineuses. Le silicate pulvérisé a été chauffé dans un courant d'hydrogène pendant plusieurs jours. Chaque jour, la perte augmentait de 5 à 7 milligrammes; elle est devenue constante, mais elle n'était que le tiers du poids de l'oxygène combiné au fer en le supposant tout entier à l'état de protoxyde. Mais si le silicate est mélangé avec la quantité de chaux nécessaire pour le rendre attaquable par les acides, la réduction s'opère complétement, soit au moyen de l'hydrogène, soit au moyen de l'oxyde de carbone. Un mélange intime de staurotide avec 75 pour 100 de son poids de carbonate de chaux pur est introduit dans un petit creuset de charbon de cornue. Le creuset fermé par un couvercle en charbon est mis dans un creuset brasqué, et le tout est soumis à une haute température. Au fond du creuset est un verre incolore avec des globules de fonte adhérents. On ajoute au poids de la matière le poids de la chaux employée que l'on calcule avec une grande exactitude au moyen du poids de carbonate de chaux pur mélangé à la substance. En retranchant de la somme le poids du verre et des globules de fonte, on a le poids de l'oxygène combiné au fer.

Au lieu de chauffer ainsi le mélange de staurotide et de carbonate à une température élevée, en présence de gaz réducteurs, on peut le placer dans un courant d'hydrogène ou d'oxyde de carbone au centre d'un tube de platine porté au rouge au moyen d'un fourneau à gaz. La réduction s'opère complétement, plus lentement avec l'oxyde de carbone qu'avec l'hydrogène, à cette température peu élevée.

L'opération terminée, si l'on chauffe la matière dans un courant de chlore sec que l'on purifie de toute trace d'oxygène en le faisant passer sur du charbon maintenu au rouge, le fer est enlevé complétement à l'état de chlorure et toute la masse est parfaitement blanche jusqu'au centre. On aurait ainsi un procédé commode pour éliminer le fer d'un silicate et le doser; mais, soit que le chlore réagisse sur les oxydes, soit qu'il renferme un peu de gaz acide chlorhydrique, il y a formation de chlorures qui se volatilisent en partie. Le chlorure de fer recueilli est mélangé de chlorures d'aluminium, de magnésium et de calcium. On est donc forcé d'opérer autrement. On réoxyde le fer dans un courant d'air, et la matière fondue dans un creuset de platine donne un verre que l'on attaque et que l'on analyse par la méthode ordinaire. Ce procédé présente cet avantage que l'on opère sur la matière même qui doit servir à l'analyse complète du silicate; elle s'effectue en même temps que l'attaque du minéral par la chaux.

La série des opérations ne présente aucune difficulté.

Calcination du minéral dans un courant d'azote.

L'oxygène se détermine par différence ; il faut donc calciner le silicate dans un gaz inerte, de manière à éliminer tous les éléments volatils; et la température à laquelle on doit le chauffer dépend de leur degré de volatilité. Si c'est de l'eau disparaissant au rouge naissant, une calcination dans un tube chauffé au gaz suffira; mais si la matière renferme du fluor ou de l'eau que l'on ne puisse chasser qu'à une température élevée, il faut substituer au fourneau à gaz, dont l'emploi est si commode, un fourneau à réverbère et le charbon. Dans ce cas, la matière est introduite dans un tube de platine entouré complétement d'un tube de porcelaine qui subit le contact du charbon. Avant de chauffer le tube, on chasse l'air par un courant d'azote que l'on continue pendant toute la durée de l'opération. On obtient ce gaz pur en faisant passer de l'air sec et dépouillé d'acide carbonique sur du cuivre chauffé au rouge naissant. Le cuivre, provenant de la réduction de l'oxyde de cuivre par l'hydrogène, est tassé dans un long tube en verre vert entouré de clinquant et étiré aux deux extrémités. Si l'on veut recueillir l'eau dégagée, il suffit d'adapter, à l'extrémité du tube de platine par laquelle le gaz sort, deux tubes en U renfermant l'un du chlorure de calcium, l'autre de la potasse en morceaux. Un tube en U, renfermant de la potasse et placé à l'entrée du gaz dans l'appareil, sert à indiquer si l'azote est complétement privé d'humidité et d'acide carbonique.

Réduction de l'oxyde de fer du silicate.

La matière est pulvérisée dans un mortier d'agate, on la dessèche pour chasser l'eau hygrométrique et on la pèse. On en prend un poids de 2 à 3 grammes, afin d'atténuer les erreurs inséparables de toute opération de cette nature. On pèse à part le poids de carbonate de chaux pur nécessaire pour rendre le minéral attaquable par l'acide azotique, et on mélange les deux poudres dans un mortier. Il est nécessaire que le mélange soit très-intime pour que le carbonate puisse réagir uniformément sur toutes les parcelles de silicate. Le tout est introduit dans une longue nacelle de platine tarée préalablement dans un tube de verre fermé par un bouchon. Cet étui sert à préserver la poudre de l'humidité de l'air. Après une dessiccation qui doit être faite à une basse température, pour éviter toute oxydation et toute réaction entre le carbonate de chaux et le silicate, on pèse et on doit retrouver, à 2 ou 3 milligrammes près, la somme des poids des deux matières que l'on a mélangées. Cette faible perte est répartie proportionnellement sur chacune d'elles.

La nacelle placée sur un chariot est introduite dans un tube de platine que l'on

incline légèrement sur un fourneau à gaz. La partie inférieure du tube porte un tube en verre effilé dont l'extrémité plonge sous l'eau. On fait passer dans l'appareil un courant régulier d'hydrogène. On dessèche et on purifie le gaz en lui faisant traverser un flacon rempli de potasse en morceaux et un tube de verre renfermant de la mousse de platine. On maintient la mousse de platine à une température un peu inférieure à celle du rouge naissant, en plaçant le tube de verre à une certaine hauteur au-dessus de la flamme du gaz qui chauffe le tube de platine.

Dès que le tube de platine est porté au rouge, il y a réaction entre le carbonate de chaux et le silicate. Si l'on arrête le courant d'hydrogène, du gaz continue à sortir de l'appareil d'une manière parfaitement régulière ; par l'analyse, on reconnaît que c'est un mélange d'acide carbonique et d'hydrogène. Lorsque l'acide carbonique cesse de se dégager, on rétablit le courant d'hydrogène et la réduction commence immédiatement, comme l'indique nettement l'eau qui se condense dans le tube de verre adapté à l'extrémité du tube de platine. Les dernières traces d'oxygène sont enlevées plus lentement. On continue l'action de l'hydrogène jusqu'à ce que le poids de la matière devienne constant. D'ailleurs, l'appareil, le courant de gaz une fois réglé, peut être abandonné à lui-même pendant plusieurs heures, sans qu'il soit nécessaire d'y toucher. On peut faire sortir la nacelle du tube, la faire entrer dans son étui, sans craindre de perdre aucune parcelle de ce qu'elle contient. Par suite de l'action de la chaux sur le silicate, le mélange s'agrége en une masse poreuse qui s'enlève facilement de la nacelle de platine, sous forme d'un petit bâton solide. La matière présente jusque dans son centre une couleur uniforme d'un gris plus ou moins foncé, suivant la quantité de chaux ajoutée. On remplace alors le courant d'hydrogène par un courant d'air sec; le fer s'oxyde rapidement, ce que l'on reconnaît à la couleur de rouille qui a pénétré jusqu'au centre de la matière. Le fer est alors à l'état de sesquioxyde, mélangé intimement au silicate devenu attaquable par les acides. Au contact de l'acide azotique, le silicate se dissout, de la silice gélatineuse se sépare, mais l'oxyde de fer reste presque en totalité non dissous, comme cela a lieu pour l'oxyde de fer calciné. Dans cette opération, le silicate a été attaqué par la chaux, pendant que l'hydrogène réduisait le fer.

Le mélange sorti de la nacelle est fondu dans un creuset de platine, et le verre est analysé suivant la méthode ordinaire. On détermine le poids de fer qu'il renferme; on possède alors toutes les données nécessaires pour calculer les proportions de protoxyde et de sesquioxyde de fer.

Staurotide.

Les premières analyses de ce minéral faites par Klaproth, celles de Vauquelin, Collet-Descotils, Thomson, ont montré qu'il existe des variations considérables

dans les quantités absolues, aussi bien que dans les quantités relatives de ses éléments constituants : silice, alumine, oxyde de fer. Les quantités de silice varient de 27 à 51 pour 100; les proportions d'alumine de 35 à 55 pour 100; celles de sesquioxyde de fer, de 13 à 23 pour 100. Ces différences sont confirmées par des analyses faites, en 1842, dans le laboratoire de H. Rose, par MM. Rosales et Lohmeyer. Elles s'observent non-seulement pour les staurotides de Bretagne, mais aussi, quoique dans des limites beaucoup plus restreintes, pour la variété du Saint-Gothard. Dans les années 1844 et 1846, deux Mémoires sont publiés par M. Jacobson (1) : le premier sur la staurotide du Saint-Gothard, le second sur les autres variétés de ce minéral. Par son travail sur la staurotide du Saint-Gothard, M. Jacobson fait voir que les grandes variations obtenues sont dues non-seulement à la difficulté de se procurer cette substance tout à fait exempte de matières étrangères, mais aussi aux difficultés que présente son analyse. Après l'attaque du silicate par le carbonate de soude, la silice restait encore réunie à une certaine quantité d'oxyde de fer et d'alumine. L'alumine et l'oxyde de fer, de leur côté, retenaient de la silice. Il lui fallait faire bouillir plusieurs fois, avec une dissolution de potasse, le mélange des deux oxydes, pour arriver à leur séparation complète. C'est après avoir surmonté ces difficultés qu'il donne, pour représenter la constitution de la staurotide, la formule

$$\ddot{R}^4\,\ddot{S}i^3,$$

qui correspond aux proportions suivantes :

Silice	28,57
Alumine	54,51
Sesquioxyde de fer	16,92
	100,00

Il indique qu'il n'y a pas trouvé d'acide titanique. M. Marignac (2) arrive, pour l'analyse de cristaux très-purs de staurotide du Saint-Gothard, aux mêmes résultats.

Étudiant ensuite avec le même soin les autres variétés de staurotide, M. Jacobson trouve, pour les proportions de silice et d'alumine, des différences aussi grandes que dans les analyses précédentes. Il fait en même temps cette remarque intéressante, que le poids spécifique de la staurotide diminue à mesure que la quantité de silice augmente. Il termine en disant : « Il est difficile d'admettre ces différences de constitution entre des corps dont les formes cristallines sont identiques; on pourrait plutôt conjecturer que la silice peut, comme le sesquioxyde de fer, remplacer l'alumine. Toute affirmation à cet égard doit être réservée jusqu'à de nouvelles recherches. »

---

(1) Jacobson (Lohmeyer, Rosales), *Annales de Poggendorff*, t. XLII, p. 419, et t. LXVIII, p. 414.

(2) Marignac, *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XIV, p. 49.

En 1861, M. Rammelsberg (1) exécute une série de dix analyses sur différentes variétés de staurotide, en s'attachant à opérer avec le plus grand soin la séparation des trois principes constituants. Il observe la présence constante de la magnésie et du protoxyde de fer; mais les analyses indiquent toujours des différences considérables dans les proportions de silice. M. Rammelsberg en conclut que chaque cristal, et même chaque portion de cristal, possède une composition différente suivant les localités dans lesquelles on le prend, et que la staurotide est un mélange de divers silicates :

$$\dot{R}^4\ddot{S}i \quad \text{et} \quad \ddot{\dot{R}}^4\ddot{S}i^3$$
$$\dot{R}^2\ddot{S}i \quad \text{et} \quad \ddot{\dot{R}}^2\ddot{S}i^3$$
$$\dot{R}\,\ddot{S}i \quad \text{et} \quad \ddot{\dot{R}}\,\ddot{S}i^3.$$

En effet, les analyses faites sur les cristaux de staurotide, tels qu'on les trouve dans la nature, conduisent à des compositions variables; mais, par des purifications qui n'altèrent en rien le minéral, on peut arriver, pour toutes les variétés de provenances diverses, non-seulement à la constance dans la composition, mais aussi à l'identité de propriétés physiques.

Staurotide du Saint-Gothard.

C'est la variété la plus transparente, la seule qui ait donné jusqu'ici des résultats à peu près concordants. C'est la seule, aussi, qui soit à peu près pure et que des triages puissent débarrasser presque complétement des matières étrangères qui s'y trouvent mélangées. Les cristaux, d'un rouge foncé, sont en général translucides. Ils sont disséminés au milieu d'un micaschiste talqueux, blanc ou jaunâtre, et associés à du disthène, du grenat et de la tourmaline. Si les cristaux sont petits, on peut, grâce à leur transparence, reconnaître s'ils sont pénétrés de corps étrangers et séparer à la loupe des fragments d'une pureté presque complète; mais déjà, lorsque les cristaux deviennent plus gros et perdent une partie de leur transparence, une séparation mécanique devient insuffisante. Voici les résultats obtenus :

		II.	
	I.	*a*	*b*
Silice.....	28,21	36,30	28,48
Perte au feu...	1,50	1,03	1,50
Densité.....	3,74 3,75		3,74

Les cristaux qui ont servi à l'analyse (I) ont été retirés d'un schiste parfaitement

(1) Rammelsberg, *Annales de Poggendorff*, t. CXIII, p. 599.

blanc, où ils étaient unis à des cristaux de tourmaline et de disthène. L'union et la pénétration de ces cristaux sont intimes. Souvent un cristal de disthène est enveloppé dans un cristal de staurotide, de manière que les axes des deux cristaux soient parallèles.

Les cristaux transparents ont été mis de côté; les plus gros, mélangés de corps étrangers, ont été concassés, et les fragments de staurotide isolés avec soin. De plus, pour enlever la matière schisteuse adhérente, fragments et cristaux ont été mis dans l'acide fluorhydrique étendu, qui est sans action sur eux. On les a lavés avec soin, après en avoir séparé la liqueur fluorhydrique qui contenait : silice, alumine, oxyde de fer, une petite quantité de magnésie, de la potasse, de la soude, de la lithine et des traces de chaux. Les cristaux sont transparents et n'ont subi aucune altération ; leurs arêtes sont complétement intactes, et les plus petits fragments, vus au microscope, sont d'une limpidité parfaite. Les petits prismes, qui ont été mis au contact de l'acide sans avoir été brisés, se partagent facilement en plusieurs fragments, suivant des plans perpendiculaires à l'axe du cristal. Les faces de séparation sont indiquées à l'extérieur par une ligne tracée sur tout son pourtour; entre les faces en contact est une couche de matière blanche pulvérulente provenant probablement de la décomposition d'une lame très-mince de matière micacée, interposée entre les différentes parties d'un cristal d'une netteté parfaite. Il est donc utile de concasser les prismes de staurotide en petits fragments avant de les mettre dans l'acide.

Un des cristaux trouvé complet a été mesuré. C'est un prisme droit, à base rhombe, dont les arêtes verticales aiguës sont modifiées par une face g^1. Les angles situés à l'extrémité des arêtes obtuses portent une petite facette a^1; la base P qui est parfaitement visible est rugueuse, et l'angle de P avec a^1 n'a pas pu être mesuré. Les faces m et g^1 sont unies, quoique g^1 soit plus miroitante ; la face a^1 est un peu terne. Les lectures successives, faites sur le goniomètre, ont donné

mm.....	129°10′	mm.....	129°32′
mg^1.....	115.20	mg^1.....	115.12
g^1m.....	115.38	g^1m.....	115.18

ma^1..... 137°52′.

L'analyse II a été faite sur la staurotide du Saint-Gothard, enclavée au milieu de micaschiste jaunâtre avec des cristaux très-nets de grenat et de petits grains de tourmaline. Les cristaux, en général assez gros, sont incomplets, irréguliers, sans transparence. Parmi les fragments d'un même cristal, on distingue nettement, à la loupe ou au microscope, de petits grains de staurotide, des grains plus foncés de grenat, des fragments noirs de tourmaline et d'autres presque blancs de schiste. Dans

ce cas, la séparation mécanique est insuffisante, comme le montre l'analyse *a* (II) dans laquelle la proportion de silice s'élève encore à 36 pour 100. Il est nécessaire d'employer l'acide fluorhydrique pour les purifier. Après un contact prolongé avec l'acide, les fragments lavés et séchés se désagrégent facilement en certains points; en d'autres, ils restent compactes, suivant que les petits cristaux de matière étrangère s'y trouvaient en quantité plus ou moins grande. L'acide a dissous les mêmes corps que dans le cas précédent. Les fragments concassés ont été traités une seconde fois par l'acide fluorhydrique. Les petits morceaux de staurotide ont alors une transparence parfaite; on n'y trouve plus qu'une seule espèce de grains (sauf, peut-être, un peu de tourmaline) qui tous ont une teinte jaune-rougeâtre uniforme. L'analyse donne alors identiquement la quantité de silice qu'on trouve dans les cristaux les plus purs du Saint-Gothard.

Staurotide commune.

Les cristaux, opaques, d'un brun grisâtre, sont en général groupés deux à deux, en croix, par pénétration apparente.

Avant purification.

	I.					
	a	*b*	*c*	II.	III.	IV.
Silice.....	54,15	48,57	46,21	49,39	41,36	
Perte au feu. ...	1,10	1,10	1,30	1,01	1,41	
Densité.....		3,35		3,34	3,39	

Après purification.

	I.	II.	III.	
Silice	28,16	28,98	29,15	29,07
Perte.....	1,55	1,43	1,49	1,30
Densité.....	3,75	3,70	3,76	

I. Staurotide de Bretagne.
II. Staurotide de Bretagne.
III. Staurotide de Quimper.
IV. Staurotide de Bolivie.

La proportion de silice que renferment ces cristaux, tels qu'on les trouve dans la nature, est différente de celle que l'on obtient pour la staurotide du Saint-Gothard, et elle est même variable d'une portion à l'autre d'un même cristal. Sa densité est aussi plus faible que celle de la staurotide du Saint-Gothard.

Tous ces cristaux, en effet, ne sont pas de la staurotide pure. Si l'on concasse un fragment de l'un de ces cristaux et qu'on observe la poudre au microscope, on

reconnaît des fragments de deux espèces. Tous sont transparents; mais à côté de grains colorés en rouge, comme les grains de staurotide du Saint-Gothard, on voit un grand nombre de grains incolores; souvent même deux fragments différents sont soudés l'un à l'autre. Si l'on abandonne dans l'acide fluorhydrique un de ces gros cristaux de staurotide, concassé en trois ou quatre morceaux, on trouve, au bout de plusieurs jours, qu'il a complétement changé d'aspect. Un cristal compact se pulvérisant difficilement est remplacé par un cristal d'une couleur jaunâtre, spongieux, percé d'une multitude de trous et de canaux; on peut le désagréger entre les doigts; le pilon le réduit en poudre avec une facilité extrême; quelquefois même on trouve, au fond de la capsule, une poudre qui provient de la désagrégation complète d'une portion des fragments. Ces petits grains paraissent ternes et complétement opaques; mais, au microscope, on voit qu'ils sont transparents et que leur surface est brillante, absolument comme celle de fragments de staurotide du Saint-Gothard. Les grains de staurotide sont donc restés parfaitement intacts, pendant que la matière qui leur était mélangée a été dissoute par l'acide fluorhydrique; on ne retrouve plus avec eux aucun fragment d'impureté : c'est de la staurotide pure, ayant même densité et même composition que la staurotide du Saint-Gothard.

Particularités observées dans l'analyse de la staurotide.

Pour rendre la staurotide attaquable par l'acide azotique, on la mélange avec 90 pour 100 de son poids de carbonate de chaux; le mélange ne fond qu'à la plus haute température que peut donner la lampe-forge alimentée par l'essence de térébenthine. Le verre obtenu est noir et opaque.

La dissolution dans l'acide azotique du verre pulvérisé s'opère complétement au bout de quelques minutes, si l'on chauffe légèrement le mélange. La silice gélatineuse qui reste en suspension dans la liqueur est colorée en vert très-foncé.

Pour la staurotide de Bretagne impure, la fusion du verre est plus facile, l'attaque plus rapide, et la silice se dissout complétement dans l'acide azotique en donnant une gelée transparente. Purifiée, elle présente tous les caractères de la staurotide du Saint-Gothard.

Il était intéressant de rechercher si l'emploi de la baryte ne permettrait pas d'obtenir un verre plus complétement attaquable. La fusion et l'attaque du verre par l'acide azotique s'opèrent dans les mêmes conditions que précédemment, peut-être même avec plus de facilité; mais la silice se sépare également colorée dans le cas de la staurotide pure. Il n'est pas nécessaire d'employer une quantité de carbonate de baryte équivalente au poids de carbonate de chaux, que l'on mélange à

la staurotide. Le poids équivalent du carbonate de baryte étant à peu près double de celui du carbonate de chaux, il eût fallu employer un poids de carbonate de baryte égal à une fois et demie ou deux fois le poids de matière analysée. Il suffit d'en prendre un poids variant de 100 à 115 pour 100 du poids du silicate; ce carbonate, étant très-dense, occupe un faible volume. La staurotide ne renfermant pas de chaux, le reste de l'analyse s'effectue par la même méthode, sans aucune difficulté.

Dans la séparation de l'alumine et du sesquioxyde de fer, l'alumine, ne présentant plus qu'une légère teinte bleuâtre, continue, sous l'influence d'un courant de gaz acide chlorhydrique, à perdre quelque chose de son poids, pendant plusieurs opérations successives. A chaque fois, du fer est enlevé avec de l'acide titanique, qui se dépose dans le tube sous forme de paillettes cristallines.

Lorsque l'on fait bouillir les sesquioxydes avec de l'acide chlorhydrique, tout se dissout à l'exception d'un léger résidu blanc-jaunâtre; si on filtre la liqueur, elle passe d'abord parfaitement limpide; mais lorsqu'on ajoute de l'eau sur le filtre, elle passe laiteuse, entraînant l'acide titanique. Ce résidu, chauffé avec le sel de phosphore dans la flamme réductrice du chalumeau, communique à la perle une coloration violette.

La liqueur qui a passé au travers du filtre prend une teinte bleuâtre au contact d'une lame de zinc, et laisse déposer un léger précipité, qui passe du bleu au blanc. Ces diverses réactions indiquent nettement la présence de l'acide titanique.

La découverte de ce corps dans la staurotide, où M. Jacobson l'avait recherché sans succès, montre les avantages d'une méthode d'analyse dans laquelle, n'employant que des réactifs volatils, on recueille tous les éléments constitutifs du silicate, soit à l'état d'oxydes, soit à l'état de chlorures, que l'on peut ensuite étudier isolément.

J'ai toujours trouvé dans la staurotide de la magnésie et du fer à l'état de protoxyde, comme l'a indiqué M. Rammelsberg. Mais la présence de l'acide titanique, les changements qui en résultent pour les proportions de l'alumine, doivent nécessairement amener des modifications dans la formule de la staurotide. Je m'occupe en ce moment de la déterminer; les difficultés que l'on éprouve à séparer un mélange d'acide titanique, d'alumine et de fer ne me permettent pas encore de me prononcer sur ce point.

Toutes les variétés de staurotide perdent, à une température voisine du rouge naissant, 1 $\frac{1}{2}$ à 2 pour 100 environ de leur poids. Cette perte est due à de l'eau dégagée. Lorsqu'on chauffe des cristaux dans un petit tube de verre, de l'eau se dépose sur les parois avant que le verre ait été complétement ramolli sous le dard du chalumeau. Le verre ne perd rien de sa transparence, le liquide évaporé ne laisse pas de résidu. Après avoir été calcinés dans un courant d'azote, les cristaux de staurotide deviennent brun noirâtre. Au microscope, on reconnaît qu'ils

ont conservé toute leur transparence, seulement la couleur de la couche superficielle a été altérée. Après avoir ainsi subi l'action du feu, la staurotide se pulvérise facilement.

Amphibole.

L'histoire des amphiboles est intimement liée à celle des pyroxènes. Confondus dans le principe en une seule espèce, sous le nom de *schorl*, ces silicates furent séparés par Werner en deux groupes, répondant assez exactement à ceux qui existent aujourd'hui. Mais c'est Haüy qui, par l'examen de leur forme et de leur structure, montra nettement l'identité des minéraux d'un même groupe; il n'y eut plus ainsi que deux espèces en tout, le pyroxène et l'amphibole. Tous les deux cristallissent dans le système clinorhombique; le pyroxène a pour forme fondamentale un prisme de 87 degrés, l'amphibole un prisme de 124 $\frac{1}{2}$ degrés; pour chacun d'eux, il existe un clivage parallèle aux faces du prisme fondamental. M. G. Rose montra que ces deux formes peuvent être rapportées à un seul et même prisme, quoiqu'il y ait des différences notables dans leurs formes secondaires simples et dans leurs groupements. On peut donc dire que, géométriquement, il y a isomorphisme entre ces deux espèces; mais déjà, au point de vue des propriétés biréfringentes, il y a distinction complète entre les deux groupes de cristaux.

Quant à l'identité de leur composition, elle a été l'objet d'un grand nombre de controverses. La composition des pyroxènes a été nettement établie dès le principe; on a trouvé que le rapport de l'oxygène de la silice à l'oxygène des bases est celui de 2 à 1. Pour l'amphibole comme pour le pyroxène, il existe des analyses d'un grand nombre de chimistes. Klaproth et Bonsdorff avaient admis que l'oxygène de l'acide était à celui des bases dans le rapport de 9 à 4, c'est-à-dire que, pour la même quantité de base, il y avait plus de silice dans les amphiboles que dans les pyroxènes. En 1858, M. Rammelsberg (1) a publié une série d'analyses tendant à prouver l'identité de constitution chimique des deux groupes de minéraux. Conduit à cette idée par les expériences de Berthier et de Mitscherlich, par celles de Rose, qui avaient constaté que la trémolite, par la fusion, prend la forme et les clivages du pyroxène, il a montré que la plupart des anciennes analyses doivent être inexactes, parce que l'on ne s'est pas assuré de l'état de pureté de la silice après sa séparation. Il a fait alors un grand nombre d'analyses, qui lui ont donné exactement le rapport de 2 à 1.

Cette question est d'ailleurs très-compliquée. Dans les pyroxènes, comme dans les amphiboles, il existe des variétés qui renferment des quantités notables d'alumine et de sesquioxyde de fer. La proportion d'alumine est différente d'une

(1) Rammelsberg, *Annales de Poggendorff*, t. CIII, p. 273.

variété à l'autre : elle s'élève, dans certains échantillons de hornblendes, jusqu'à 17 et 18 pour 100; il est des trémolites pures qui n'en renferment pas. Bonsdorff avait remarqué que si l'on ajoute les $\frac{2}{3}$ de l'oxygène de l'alumine à l'oxygène de la silice, la composition des hornblendes devient identique à celle des trémolites pures. Il en résultait que 2 équivalents d'alumine étaient isomorphes avec 3 équivalents de silice. M. Rammelsberg (1), dans une seconde série d'analyses, arrive à ce résultat que toujours les hornblendes renferment du sesquioxyde de fer, de la potasse et de la soude. De plus, en considérant l'alumine comme acide et le sesquioxyde de fer comme base, il représente par une formule identique à celle des pyroxènes la composition de toutes les variétés de hornblendes. De nouvelles analyses de M. A. Michaelson viennent confirmer ces résultats.

La présence de l'alumine dans ces minéraux avait toujours beaucoup embarrassé les chimistes et les minéralogistes. Dès 1854, M. Ch. Sainte-Claire Deville (2) avait montré que si l'on suppose toute l'alumine unie à une portion des protoxydes, de manière à constituer un aluminate de la formule des spinelles, le reste des éléments forme une combinaison dans laquelle le rapport de l'oxygène de la silice à l'oxygène des bases est le même que celui des pyroxènes. Il y aurait donc eu, au moment de la cristallisation de l'amphibole, formation d'un spinellide qui serait resté intimement mélangé au silicate.

En présence de ces résultats, il y avait un grand intérêt à rechercher quel est réellement le rôle de l'alumine dans ces minéraux. Est-elle un élément accidentel à l'état d'impureté dans le silicate, ou fait-elle partie constituante de l'amphibole, et, dans ce dernier cas, est-elle isomorphe de la silice?

En passant en revue toutes les variétés d'amphibole, depuis la trémolite du Saint-Gothard jusqu'à la hornblende de Bohême, on en trouve qui ne renferment pas d'alumine, il en est qui en contiennent 18 pour 100, et tous les intermédiaires existent.

Si l'alumine entre dans la constitution de l'amphibole comme élément isomorphe de la silice, elle doit jouer le même rôle dans toutes les variétés; dans tous les cas, il doit y avoir substitution d'alumine à une quantité équivalente de silice. On s'explique alors difficilement pourquoi M. Rammelsberg, considérant toujours l'alumine comme acide dans les hornblendes, la considère comme base dans les trémolites, qui n'en renferment que 1 $\frac{1}{2}$ et 2 pour 100. Il n'est pas indifférent, en effet, de la compter d'une manière ou d'une autre. L'alumine est riche en oxygène; suivant qu'on ajoute cette proportion d'oxygène à l'oxygène de l'acide ou à l'oxygène de la base, on modifie d'une manière notable le rapport de ces deux

(1) Rammelsberg, *Annales de Poggendorff*, t. CIII, p. 435.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXXVIII, p. 401.

quantités. Le rôle de l'alumine est donc intimement lié à la question de l'identité de composition de l'amphibole et du pyroxène.

Il existe des analyses d'une multitude d'échantillons différents d'amphibole. Or, lorsqu'on passe d'un échantillon à l'autre, on observe des variations dans les proportions de silice et d'alumine, en même temps que dans les quantités de la plupart des autres éléments. Ces variations peuvent être dues à des causes accidentelles, différentes dans chaque cas; il est souvent difficile de se rendre compte de leur influence. Il est donc naturel de chercher si les diverses parties d'un même échantillon ne pourraient pas donner dans les proportions de silice et d'alumine ces variations que l'on observe dans une série d'échantillons différents. Si en diminuant la quantité d'alumine, sans altérer le minéral, on trouve qu'il y a toujours remplacement de la silice par l'alumine dans le rapport de leurs équivalents, on obtient une chance de plus en faveur de l'hypothèse de l'isomorphisme de ces deux corps. Si l'hypothèse ne peut résister à cette vérification, elle doit être abandonnée.

En suivant cette marche, j'ai passé en revue un certain nombre de variétés d'amphiboles, et j'ai commencé par celles que l'on trouve dans la nature dans le plus grand état de pureté. Je me suis toujours préoccupé de l'influence que pouvaient exercer sur les résultats de l'analyse les matières étrangères qui servent de gangue ou qui sont mélangées au minéral. Dans tous les cas, j'ai cherché à obtenir la matière qui devait servir à l'analyse, dans un état de pureté aussi complète que possible.

Trémolite du Saint-Gothard.

Silice	59,43	58,95	59,24
Chaux	12,05	12,94	12,85
Magnésie	24,43	23,23	24,02
Protoxydes de manganèse et de fer	1,49	2,90	2,62
Alumine	0,58	0,38	0,39
Perte au feu	2,00	1,89	2,04
	99,98	100,29	101,16

Les proportions d'oxygène correspondantes sont :

Silice	31,69	31,43	31,59
Chaux	3,44	3,69	3,67
Magnésie	9,77	9,29	9,61
Protoxydes de manganèse et de fer.	0,33	0,64	0,58
Alumine	0,27	0,17	0,18
	13,81	13,79	14,04
Rapports	2,29	2,27	2,25

L'échantillon est formé de faisceaux de petits cristaux parallèles, empâtés au milieu d'une dolomie saccharoïde. Ces faisceaux, séparés mécaniquement de la dolomie, ont été concassés de manière à isoler aussi complétement que possible les aiguilles. Ainsi séparés de la gangue, ils ne paraissent pas renfermer de carbonates; mais au contact de l'eau acidulée une effervescence se produit, et pendant vingt-quatre heures un grand nombre de bulles gazeuses se sont dégagées d'une manière continue, par suite de l'attaque lente de la dolomie.

Le dégagement d'acide carbonique terminé, on a lavé les cristaux, puis on les a remis de nouveau au contact de l'acide étendu pour enlever les oxydes qui les colorent de place en place. Les plus petits fragments de cristaux, ceux même qui restent en suspension dans la liqueur, observés au microscope, sont des prismes d'une netteté parfaite, qui ont conservé toute leur transparence.

La densité des cristaux purifiés a été trouvée égale à 2,98. Même après une purification complète, les cristaux parfaitement secs donnent par la calcination une perte de 2 pour 100 environ. Portés à la température que peut donner une lampe à gaz, c'est-à-dire à la température de fusion du carbonate de soude, ils ne laissent rien dégager, et leur transparence n'est pas altérée. Mais à une température plus élevée, inférieure cependant à celle de leur fusion, l'eau se dégage (elle a été recueillie) et les aiguilles prismatiques deviennent complétement opaques et d'un blanc laiteux. Si la calcination n'est pas prolongée suffisamment pour que la perte soit complète, la transparence est altérée, mais elle n'est pas détruite complétement. Dans un tube de platine, au milieu d'un courant d'azote, la couleur blanche n'est pas changée. Dans un courant d'air, une portion des cristaux prend une teinte jaune-brunâtre; si on les chauffe jusqu'à la fusion, l'eau disparaît rapidement. La fusion opérée à la température la plus basse possible donne un verre opaque d'un blanc laiteux; à une température plus élevée, le verre est transparent. Au lieu de calciner des fragments de cristaux, on opère sur la matière réduite en poudre très-fine; la perte, dans ce cas, commence à se produire au rouge que donne une petite lampe à gaz.

Cette perte s'observe d'une manière constante dans tous les échantillons de grammatite et dans les mêmes conditions; elle varie de 1,5 à 2 pour 100. Les cristaux attaqués par un mélange de carbonate de soude et de potasse ne donnent pas trace de fluor, lorsqu'on traite la matière fondue par l'acide sulfurique.

Trémolite du Saint-Gothard.

	I.	II.	Proportions d'oxygène. I.	II.
Silice	58,35	58,31	31,12	31,10
Chaux	13,15	13,10	3,75	3,74
Magnésie	23,65	23,95	9,46	9,58
Protoxydes de manganèse et de fer.	2,65	2,32	0,59	0,51
Alumine	0,45	0,46	0,20	0,21
Perte au feu	1,55	1,40		
	99,80	99,54		
Rapports de l'oxygène de l'acide à l'oxygène de la base			2,22	2,22

Présence du fluor dans les matières volatiles. — Cet échantillon de trémolite du Saint-Gothard, ainsi que le précédent, m'a été remis par M. Des Cloizeaux, auquel je suis heureux d'exprimer ma reconnaissance pour les encouragements qu'il m'a donnés pendant toute la durée de mon travail.

La trémolite est en longs prismes accolés les uns aux autres dans le sens de leur longueur. Toute la masse de cristaux est implantée sur une gangue de dolomie. A sa base se trouvent en grande quantité de petites lamelles brillantes de talc. Les aiguilles détachées ont été concassées; le carbonate adhérent a été enlevé mécaniquement, et j'ai pu séparer un certain nombre de petits cristaux complétement transparents et dont les angles sont très-nets (un de ces cristaux a donné pour l'angle du prisme 124°11′); mais le plus grand nombre est coloré soit en brun, soit en vert. Ces cristaux, mis dans l'eau acidulée avec de l'acide chlorhydrique, ont produit une effervescence considérable. Chacun des prismes peut se partager en fragments, dans le sens transversal, suivant des plans nettement indiqués par des lignes tracées sur le cristal. Ces fragments juxtaposés sont réunis par une couche très-mince de calcaire. Les cristaux, après avoir été lavés, sont complétement transparents, et portent des stries longitudinales.

Les cristaux mesurables, transparents, mis de côté dans le premier tirage et sur lesquels il était impossible d'apercevoir aucune trace de carbonate, placés dans de l'eau à laquelle on ajoute seulement quelques gouttes d'acide chlorhydrique, laissent immédiatement dégager des bulles d'acide carbonique. Leur surface a perdu quelque chose de leur netteté; elle s'est striée longitudinalement; sous le pilon, les cristaux se divisent en un grand nombre de petites aiguilles prismatiques. La liqueur renfermait 0,47 pour 100 de leur poids de chaux.

La densité est 2,99.

L'analyse I se rapporte à des cristaux isolés parfaitement transparents. L'ana-

lyse II a été faite sur des cristaux pris sans distinction au milieu de la masse purifiée.

L'identité des résultats de ces deux analyses montre nettement que la purification que l'on a fait subir aux cristaux ne les a pas altérés.

Ces analyses donnent, pour le rapport de l'oxygène de la silice à l'oxygène des bases, un nombre plus élevé que pour le pyroxène. En comparant ces résultats avec ceux des analyses de M. Rammelsberg, on trouve que la proportion de silice est peu différente; il en est de même pour la chaux. Les divergences existent surtout pour la magnésie, dont j'ai toujours trouvé une proportion plus faible. De plus, il existe toujours dans les trémolites les plus pures du Saint-Gothard des quantités notables de manganèse, que n'y avait pas signalé M. Rammelsberg.

J'ai dû recommencer un grand nombre de ces analyses et sur des échantillons divers, afin d'être parfaitement sûr de ces résultats. Une analyse de trémolite du Saint-Gothard, que M. Damour (1) a faite par une méthode différente, était pour moi une vérification d'un grand prix. En voici le résultat :

Silice	58,07
Chaux	12,99
Magnésie	24,46
Oxyde ferreux	1,82
	97,34

Si on ajoute à ces nombres 2 pour 100, perte que ces cristaux subiraient par la calcination, on obtient une identité presque complète avec les analyses qui précèdent.

En opérant par la même méthode, j'ai fait l'analyse d'un pyroxène de Pargas. Ces cristaux sont d'une couleur vert clair, ils sont disséminés au milieu de carbonates. Au contact de l'eau acidulée, tout le calcaire est enlevé, mais il reste des fragments blancs, un peu jaunâtres, mélangés aux cristaux de pyroxène et en partie adhérents à ces derniers.

On a séparé les deux espèces de cristaux, que l'on a analysés isolément. On a trouvé :

1° Une matière étrangère intimement unie au pyroxène, de densité 2,77, a donné :

Silice	46,55
Chaux	17,54
Magnésie	0,75
Protoxyde de fer	1,05
Alumine	27,58
Potasse	0,67
Soude	2,67
Perte au feu	4,13
	100,74

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XVI.

2° Des cristaux de pyroxène, de densité 3,35, petits, transparents, arrondis sur les angles, ont donné dans deux analyses :

		Proportions d'oxygène.		Proportions d'oxygène.
Silice.....	53,09	28,31	52,86	28,20
Chaux.....	24,80	7,08	24,00	6,86
Magnésie.....	12,02	4,80	11,35	4,54
Protoxyde de fer.	10,29	2,28	11,14	2,47
Alumine.....	0,43	0,20	0,63	0.29
Perte au feu.....	0,00		0,00	
	100,63		99,98	
Rapports....		1,98		1,99

La petite quantité d'alumine que l'on trouve s'explique très-bien par la présence d'une petite quantité de la matière étrangère qui renferme jusqu'à 27 pour 100 d'alumine, et qui doit en même temps diminuer le rapport de l'oxygène de l'acide à l'oxygène de la base.

On voit que dans ce pyroxène le rapport de l'oxygène de la silice à l'oxygène des bases est exactement égal à 2.

Trémolite du Saint-Gothard.

Longues aiguilles juxtaposées à une gangue calcaire, ressemblant par leur aspect aux cristaux qui ont servi à la dernière analyse. Tous les cristaux n'ont pas été mélangés comme pour l'échantillon précédent. On a séparé de la gangue successivement les cristaux nécessaires à chaque analyse, et on les a purifiés de la même manière. La densité est 2,98. La composition est déterminée par les nombres suivants :

Silice.....	55,95	57,56	58,20	58,80
Chaux.....	12,48	13,11	12,50	12,22
Magnésie.....	19,09	23,00	24,10	24,12
Protoxydes de manganèse et de fer.	9,73	3,81	2,90	3,00
Alumine.....	0,47	0,59	0,50	0,31
Perte au feu.....	1,33	2,14	1,60	1,20
	99,05	100,21	99,80	99,65

Ce qui donne pour les proportions d'oxygène :

29,84	30,69	31,04	31,35	
3,56	3,74	3,54	3,49	
7,63	9,20	9,64	9,65	
2,16	0,84	0,64	0,66	
0,22	0,27	0,23	0,14	
13,57	14,05	14,08	13,94	
Rapports..... 2,20	2,18	2,20	2,24	

Sur la même gangue existaient des cristaux de structure différente. Ce sont des aiguilles très-déliées réunies en faisceaux compactes. Toutes ces aiguilles sont reliées par du carbonate de chaux que l'on a enlevé par l'eau acidulée. Leur analyse donne les résultats suivants :

Silice	57,01	58,43	59,13
Chaux	13,16	13,06	11,93
Magnésie	20,27	24,22	25,22
Protoxydes de manganèse et de fer.	7,20	1,87	1,95
Alumine	0,38	0,36	non dosée
Perte	1,70	1,72	1,90
	99,72	99,66	100,23

Proportions d'oxygène :

	30,40	31,16	31,53
	3,76	3,73	3,40
	8,11	9,68	10,09
	1,63	0,41	0,44
	0,17	0,16	0,00
	13,67	13,98	13,93
Rapports	2,22	2,23	2,26

D'après ces analyses, il n'y a aucune relation simple entre les variations que l'on observe pour les quantités de silice et d'alumine, tout porte donc à croire que l'alumine n'est qu'accidentellement dans le minéral. Mais on remarque que la proportion de silice augmente d'une manière très-nette en même temps que la proportion de magnésie, dont une portion peut être remplacée par une quantité équivalente de protoxyde de manganèse.

Amphibole trémolite de Gillebeck (Norvége).

Les cristaux de cette matière, ainsi que plusieurs autres variétés, ont été tirés de l'École des Mines. Je les dois à l'obligeance de M. Friedel, à qui j'adresse ici tous mes remercîments. Les cristaux sont blancs, de texture fibreuse, fortement agrégés; à leur surface est une matière jaune pulvérulente, que l'on n'enlève jamais complétement en les grattant avec un canif; en quelques points sont de petites lamelles de talc. Les aiguilles cristallines sont réunies entre elles par une gangue calcaire que l'on ne peut distinguer à la simple vue, mais dont on reconnaît l'existence par l'effervescence produite au contact de l'acide. L'acide chlorhydrique les a rendus parfaitement blancs, en dissolvant du fer, de l'alumine, de la chaux et un peu de magnésie. Les cristaux, après avoir été lavés, ont été concassés en fragments plus

fins et remis dans l'acide qui a dissous du fer et de l'alumine; mais la liqueur n'a pas donné de précipité avec l'oxalate d'ammoniaque. On peut en conclure que, dans cette purification, toute la chaux étrangère a été enlevée, et, de plus, que la matière n'a pas été attaquée par l'acide.

Avant la purification, la densité est de 2,96.

Après la purification, elle est devenue 2,98.

	I.	II.	III.	IV.	V.
Silice	56,20	57,18	58,30	58,67	58,49
Chaux	13,44	13,79	13,01	12.92	12,58
Magnésie	9,71	22,26	23,49	22,64	24,16
Protoxydes de manganèse et de fer	10,87	2,28	0,99	1,62	2,29
Alumine	7,70	1,90	1,74	1,50	0,45
Alcalis	traces			0,66	
Perte	2,33	2,28	2,35	1,98	2,01
	100,25	99,69	99,88	99,99	99,98

I.		II.		III.		IV.		V.	
29,97		30,49		31,09		31,28		31,19	
3,84		3,94		3,72		3,69		3,59	
3,88		8,80		9,31		9,05		9,66	
2,41		0,45		0,20		0,36		0,51	
						0,16			
3,58	10,13	0,88	13,19	0,81	13,31	0,70	13,26	0,21	13,76

Suivant que l'on ajoute l'oxygène de l'alumine à l'oxygène de la silice ou à celui des bases, on obtient la série des rapports suivants de la première et de la deuxième ligne :

3,31	2,37	2,39	2,42	2,28
2,11	2,16	2,20	2,24	2,23

Les anayses I, II, III ont été faites sur des cristaux que l'on n'avait pas purifiés par un acide. Dans l'analyse I, les cristaux étaient impurs et jaunes; dans les analyses II et III, les cristaux avaient été séparés aussi bien que possible. Les variations que l'on observe dans ces résultats montrent nettement qu'un triage mécanique ne peut pas conduire à une pureté complète. A mesure que la matière analysée devient plus pure, les proportions de chaux et d'alumine diminuent; en même temps, la proportion de chaux devient constante. Si pour chaque analyse on fait le calcul du rapport de l'oxygène de l'acide à l'oxygène des bases dans chacune des deux hypothèses où l'alumine doit être comptée avec la silice ou avec les bases, on obtient des nombres qui se rapprochent de plus en plus et entre lesquels doit nécessairement se trouver compris le rapport véritable. Or l'un de ces nombres reste toujours supérieur à $\frac{9}{4}$, l'autre s'en rapproche de plus en plus.

Dans toutes ces analyses, on a trouvé des traces de chlorures qui ont donné au spectroscope les raies de la potasse, de la soude et de la lithine.

Trémolite de Finlande.

Masse compacte de cristaux colorés en jaune et réunis par un ciment calcaire. De gros fragments ont été mis dans l'eau acidulée; au bout de vingt-quatre heures, ils étaient percés de trous, rugueux à la surface, mais l'action de l'acide n'était pas complète.

Brisés en fragments plus fins, ils font encore effervescence avec les acides. Il est donc nécessaire, dans toutes ces purifications, de séparer aussi parfaitement que possible les aiguilles qui, par leur réunion, composent toute la masse cristalline.

Avec l'amphibole, on trouve quelques lamelles de talc et de petits grains de quartz qui ont été mélangés au reste des cristaux lorsqu'on les a concassés. On a trié des cristaux transparents en cherchant à enlever tous les grains de quartz, mais les analyses montrent nettement que l'influence de cette matière mélangée subsiste après plusieurs triages faits avec soin. Les cristaux ne renferment pas de fluor.

Silice	60,33	61,11	59,77
Chaux	12,81	13,71	12,90
Magnésie	23,36	22,67	23,57
Protoxydes de manganèse et de fer.	1,40	1,34	1,68
Alumine	0,43	0,26	0,65
Chlorures	traces		
Perte	2,00	1,97	2,15
	100,33	101,06	100,72

	32,17	32,58	31,87
	3,66	3,92	3,68
	9,36	9,07	9,43
	0,31	0,29	0,37
	0,20	0,12	0,30
	13,53	13,40	13,78
Rapports....	2,37	2,35	2,31

Asbeste.

Un fragment d'asbeste prise au milieu de celle qui est employée pour les expériences du laboratoire, a été purifié par l'acide chlorhydrique étendu; elle est devenue d'une grande blancheur et elle est formée d'une multitude de petits filaments. Chacun d'eux, vu au microscope, est une aiguille prismatique parfaite-

ment transparente et dont les arêtes sont d'une très-grande netteté. Sa composition est peu différente de celle des trémolites les plus pures du Saint-Gothard.

Par la calcination, elle prend une teinte jaunâtre et sa transparence disparaît. Au fond du creuset, il y a eu fusion partielle en un verre opaque d'un gris jaunâtre.

Silice	58,86	31,39	
Chaux	13,51		3,86
Magnésie	22,58		9,03
Protoxyde de manganèse	3,73		0,83
Alumine	0,30		0,14
			13,86
Rapport		2,26	

Trémolite de Norvége (*a*[6] *École des Mines*).

	I.	II.	III.	IV.
Silice	52,91	50,32	54,68	56,37
Chaux	14,73	16,33	13,20	13,10
Magnésie	20,76	20,11	20,89	21,03
Protoxydes de manganèse et de fer	0,76	1,40	3,83	6,61
Alumine	7,17	6,26	4,86	traces
Alcalis	0,56	1,09	0,74	»
Perte	3,44	5,61	2,34	2,35
	100,33	101,12	100,54	99,46

28,21		26,83		29,16		30,06		
	4,21		4,66		3,77			
	8,30		8,04		8,35		3,74	
	0,15		0,28		0,85		8,41	
	0,11		0,26		0,17		1,47	
3,34	12,77	2,92	13,24	2,26	13,14		13,62	
Rapports...	2,47		2,25		2,39			
	1,75		1,68		1,87		2,20	

Gros cristaux d'une couleur gris-noirâtre, dont les angles sont très-nets. Concassés dans un mortier, ils se partagent en fragments dont quelques-uns sont de petits cristaux présentant les faces de clivage. L'un d'eux a donné au goniomètre pour les deux angles du prisme :

$$124^\circ\,13' \quad \text{et} \quad 55^\circ\,42',$$

mais ces fragments transparents sont en très-petit nombre.

Les cristaux sont pénétrés à leur intérieur, et souvent jusqu'au centre, de calcaire grenu, au milieu duquel on trouve de petites lamelles de mica et quelques grains de pyrite.

On a choisi pour l'analyse I tous les fragments les plus transparents; leur densité était 3,02. Dans l'analyse II, la matière était impure. La perte par la calcination s'y élève à 3,44 et 5,61; lorsque le cristal a été parfaitement nettoyé, elle n'est plus que 2,35. La différence est due à de l'acide carbonique provenant des carbonates mélangés; les proportions de chaux sont 14,73 et 16,33.

Toutes les fois que dans une analyse la perte par le feu s'approche de 3 pour 100 et que la quantité de chaux dépasse 13 $\frac{1}{2}$ ou 14 pour 100, on peut être certain que l'amphibole est impure. Les cristaux qui ont servi à l'analyse II, par la calcination à la petite lampe, se recouvrent d'une matière blanche pulvérulente qui est composée de chaux, de magnésie et d'alumine. Mis dans l'eau acidulée, ils laissent dégager de l'acide carbonique, et les fragments sont pénétrés jusqu'au centre par l'acide. Après cette purification, en choisissant des fragments transparents, on arrive exactement au même rapport que dans les analyses précédentes; la densité est égale à 2,98.

Les cristaux non purifiés renferment toujours des alcalis, potasse, soude et lithine, que l'on reconnaît nettement au spectroscope.

Trémolite de Norvége.

	I.	II.	III.
Silice	55,04	55,65	56,98
Chaux	13,23	13,84	13,27
Magnésie	19,04	20,86	21,41
Protoxydes de fer et de manganèse	7,23	6,38	6,03
Alumine	3,14	1,43	0,01
Alcalis	0,47	traces	traces
Perte au feu	2,10	1,80	2,11
	100,25	99,96	99,91

Densité..... 2,95

29,35	29,68	30,38	
3,77	3,95	3,82	
7,61	8,34	8,56	
1,60	1,42	1,34	
1,46	0,66		
0,10			
14,54	14,37	13,72	
Rapports... 2,39	2,24		
2,01	2,06	2,21	

Gros prismes isolés au milieu d'une gangue calcaire parsemée de petites lames micacées jaunes et brillantes. Ces cristaux sont entiers, légèrement verdâtres, ressemblant par leur forme et par leur structure aux cristaux précédents. Ils sont

intimement pénétrés par le calcaire ; un fragment de ces cristaux mis dans l'acide en sort terne et percé de trous. Si l'on concasse un de ces fragments, on trouve qu'il renfermait de petites lamelles micacées. Il y existe aussi de petits grains de pyrite en assez grand nombre, qui n'y furent pas découverts dès le principe. Mais pendant une calcination, il s'est dégagé de l'intérieur du creuset de l'acide sulfureux, tandis que, au milieu de grains blancs de trémolite, apparaissaient très-nettement de petits grains rouges d'oxyde de fer, devenus visibles par leur couleur et par leur volume. C'est le résultat d'un triage imparfait qui a servi à l'analyse II. Pour l'analyse III, on a pris soin d'écarter toutes les matières étrangères, aussi arrive-t-on à ne plus avoir que des traces de chlorures qui ne donnent plus les raies de la potasse et de la lithine, très-nettes dans les analyses précédentes.

Actinote.

	I.	II.	III.	IV.
Silice	57,74	56,41	56,27	56,70
Chaux	13,14	11,79	11,55	11,55
Magnésie	21,69	18,04	19,84	19,91
Protoxydes de fer et de manganèse	5,43	10,09	9,32	9,70
Alumine	0,37	1,61	0,47	0,30
Chrome et alcalis	traces	0,51	»	»
Perte au feu	1,87	2,19	2,18	2,20
	100,24	100,68	99,63	100,37
Densité	3,01	3,00		3,02

30,79	30,08	30,00	30,23	
3,75	3,37	3,30	3,30	
8,67	7,22	7,93	7,96	
1,20	2,24	2,07	2,15	
0,17	0,75	0,21	0,13	
	0,10			
13,79	13,68	13,51	13,54	
Rapports.... 2,23	2,20	2,22	2,23	

I. Actinote de Taberg (collection de l'École des Mines).

II, III, IV. Actinote du Saint-Gothard (trois échantillons de provenance différente).

L'actinote de Taberg a la forme de longues aiguilles réunies en faisceaux, de couleur vert clair, translucides.

La matière de l'analyse II fournit par clivage des cristaux à angles quelquefois très-nets; ils sont au milieu d'une gangue de talc micacé. On a séparé par le triage des cristaux aussi purs que possibles, mais il est difficile d'obtenir des fragments d'une transparence parfaite. La gangue renferme 13 pour 100 d'alumine et 4 pour 100

d'alcalis, ce qui explique la présence de l'alumine et des alcalis dans l'actinote. Les chlorures donnent, au spectroscope, la raie de la lithine, qui est fournie également par la gangue, mais avec beaucoup plus d'intensité.

Les cristaux III et IV sont au milieu de talc, qui ne renferme que des traces d'alumine. Ce sont des prismes, d'un très-beau vert, bien transparents; ils portent sur les arêtes aiguës des modifications également inclinées sur les deux faces; ils ont donné respectivement, au goniomètre :

Angles du prisme.

117°.50′	117°.48′
117.40	117.42
124.30	124.30
117.48	117.50
117.39	117.40
124.33	124.30

Dans ces deux dernières analyses, on trouve de petites quantités d'alumine; la gangue n'en renfermant que 0,9 pour 100, il semblait d'abord difficile de se rendre compte de sa présence. Mais en observant à la loupe les fragments provenant d'un même cristal, on trouve de petits grains vert-noirâtre, d'une matière micacée, existant au centre même du cristal.

L'actinote du Saint-Gothard, calcinée à la petite lampe, commence à laisser dégager l'eau qu'elle contient, et peu à peu perd sa transparence. A la lampe moyenne, cette perte s'effectue rapidement avant la fusion; les cristaux complétement opaques sont d'une couleur gris-verdâtre.

Le fluor n'y existe pas.

Anthophyllite.

Ces cristaux m'ont été donnés par M. Des Cloizeaux.

	I.		II.	
Silice	55,82	29,76	55,24	29,46
Chaux	1,14	0,32	1,85	0,52
Magnésie	20,62	8,24	21,17	8,46
Protoxydes de fer et de manganèse	20,22	4,49	19,63	4,36
Alumine	0,47	0,21	0,18	0,08
Perte au feu	2,10		2,41	
	100,36		100,48	
Densité	3,15		3,14	
Rapports		2,24		2,20

I. Du Groënland. II. De Kongsberg.

Ces cristaux, gris et transparents, calcinés à la petite lampe, deviennent complétement opaques, d'une couleur gris-brunâtre. En quelques instants la perte est complète. Si on les chauffe plus fortement, ils augmentent de poids par suite de la suroxydation de fer.

Hornblende de Norvége (a^{22} *École des Mines*).

Les cristaux, d'un vert foncé, sont soudés les uns aux autres et s'entre-croisent dans tous les sens. Il n'y a pas de gangue apparente ; çà et là seulement on trouve quelques cristaux de carbonate de chaux. Mais en concassant les cristaux d'amphibole, on distingue nettement au milieu des fragments des lamelles verdâtres de mica. Des cristaux paraissant purs, et à la surface desquels on n'aperçoit aucune trace de matières étrangères, sont chauffés dans un tube de platine, au-dessous de leur point de fusion; ils conservent leur éclat et semblent inaltérés, mais ils sont soudés les uns aux autres par des globules fondus presque blancs. Il s'est produit à l'intérieur du cristal un véritable phénomène de liquation.

Si l'on met ces cristaux dans l'acide chlorhydrique étendu, ils sont attaqués bien plus rapidement que lorsqu'ils n'ont pas été chauffés, et de la silice gélatineuse se trouve bientôt en suspension dans la liqueur ; on les lave et on fait réagir sur eux l'acide fluorhydrique très-étendu. Les cristaux, à la surface desquels de la silice amorphe était restée adhérente, reprennent peu à peu, en certains points, leur teinte noirâtre. Retiré de l'acide et séché, chaque fragment présente, en certains points, une surface brillante ; en d'autres points, il est complétement amorphe. Si l'on touche avec une pince ces fragments noirs mélangés de blanc, on les partage en plusieurs fragments, auxquels adhère encore de la silice amorphe ; au contact de l'acide fluorhydrique très-étendu, tous les petits grains séparés reprennent la teinte primitive des gros cristaux. Chaque cristal, par suite du phénomène de liquation, est devenu poreux, et l'acide a pu pénétrer à l'intérieur et y attaquer la matière fondue qui tapisse les parois de toutes les cavités ; c'est ainsi qu'il existe à l'intérieur de chaque cristal de la silice amorphe, tandis que l'extérieur est encore intact.

Lorsque l'on met les cristaux dans l'acide chlorhydrique avant de les calciner, ils sont un peu attaqués à la surface ; mais les petites lamelles mélangées aux fragments sont en partie dissoutes par l'acide et deviennent très-légères ; elles restent assez bien en suspension dans la liqueur pour que, par décantation, on puisse les séparer des grains d'amphibole plus lourds qui tombent au fond du vase. Ces grains lavés et séchés sont irisés à leur surface, blancs en quelques points ; mais l'acide fluorhydrique étendu leur rend rapidement leur couleur et leur éclat.

Ces fragments, comme ceux qui n'ont pas été mis au contact de l'acide, présentent, par l'action de la chaleur, le phénomène de liquation que je viens de décrire ; ce qui montre nettement que chaque cristal est un mélange intime d'amphibole et d'une matière étrangère.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	
Silice	39,56	39,89	40,00	40,18	40,34	40,37	40,94
Chaux	11,91	12,15	13,12	12,89	11,48	12,65	12,04
Magnésie	9,95	11,42	11,95	9,65	12,24	10,70	11,06
Protoxyde de fer	8,62	17,24	17,53	18,92	18,10	0,47	9,59
Protoxyde de manganèse						3,26	3,26
Sesquioxyde de fer	9,27					16,79	9,81
Potasse	2,07	2,10	2,33	1,73	1,85	1,44	1,95
Soude	2,07	2,74	1,43	1,29	2,40	1,15	1,46
Alumine	16,52	14,49	13,11	14,40	13,01	12,73	9,69
Perte (acide fluorique)		0,84		0,86	0,11	1,69	0,67
	99,97	100,87	99,37	100,02	99,53	101,22	100,47
Densité	3,23						

Proportions d'oxygène correspondantes :

Silice	20,94	21,11	21,33	21,26	21,43	21,53	21,83
Chaux	3,40	3,47	3,75	3,68	3,28	3,61	3,44
Magnésie	3,98	4,57	4,78	3,86	4,89	4,30	4,42
Protoxyde de fer	1,91	3,83	3,89	4,20	4,02	0,10	2,12
Protoxyde de manganèse						0,71	0,72
Sesquioxyde de fer	2,78					5,03	2,94
Potasse	0,36	0,36	0,39	0,29	0,31	0,24	0,33
Soude	0,53	0,60	0,37	0,33	0,62	0,28	0,37
Alumine	7,70	6,75	6,11	6,71	6,06	5,93	4,41
Rapports	2,21	2,17	1,93	2,42	2,08	1,92	1,82

Ces analyses ont été faites les unes sur des cristaux triés avec soin, les autres sur des cristaux purifiés chimiquement. Toujours, à mesure que la matière analysée est plus pure, la proportion d'alumine diminue ; mais pendant que l'alumine peut varier de 16,5 à 9,6 la silice ne varie que dans des proportions beaucoup plus faibles, de 39,56 à 40,94, de sorte que si l'on calcule la série des rapports en ajoutant toujours l'oxygène de l'alumine à l'oxygène de la silice, on obtient des nombres variant de 2,42 à 1,82. Dans l'intervalle on en trouve même qui correspondent presque exactement soit au rapport du pyroxène, soit à celui de l'amphibole.

Il me semble que l'on peut faire un rapprochement entre les cristaux de stau-

rotide de Bretagne, dont les formes sont parfaitement déterminées et qui ne sont réellement que des mélanges, et ces cristaux d'amphibole qui, comme eux, donnent des compositions si variables; mais tandis que de la staurotide on peut séparer des cristaux identiques avec les cristaux de staurotide du Saint-Gothard, il est impossible de séparer des hornblendes l'amphibole pure, parce que les matières intimement mélangées s'altèrent de la même manière et dans les mêmes conditions.

CONCLUSIONS.

1° Sous l'influence d'une base énergique, telle que la chaux et la baryte, l'oxyde de fer d'un silicate est réduit par un courant d'hydrogène et le fer est séparé à l'état métallique. Cette réaction peut servir à déterminer le degré d'oxydation du fer dans un silicate.

2° Toutes les variétés de staurotide, quelle que soit leur provenance, contiennent, après avoir été purifiées, la même quantité de silice, et elles ont la même densité. Les variations que l'on observe dans les proportions des éléments sont dues à des mélanges de matières étrangères. L'acide titanique y existe d'une manière constante, le fer s'y trouve à l'état de protoxyde, comme l'ont déjà reconnu MM. Rammelsberg et Mitscherlich.

3° L'amphibole et le pyroxène ont une composition différente. Tandis que pour le pyroxène le rapport de l'oxygène de la silice à l'oxygène des bases est celui de 2 à 1, ce même rapport est $\frac{9}{4}$ pour l'amphibole.

Toutes les variétés d'amphibole renferment à très-peu près des proportions de chaux identiques; celles de magnésie varient davantage, la magnésie pouvant être remplacée par les protoxydes de manganèse et de fer.

Dans les variétés les plus pures, l'oxygène de la chaux est le tiers de l'oxygène des autres protoxydes. La densité se trouve resserrée dans des limites assez restreintes, 2,98 et 3,02.

Toutes les variétés éprouvent par la calcination une perte assez constante, variant de 1 $\frac{1}{2}$ à 2 pour 100 : d'où il résulte que lorsqu'un de ces minéraux renferme des quantités de chaux supérieures à 13 $\frac{1}{2}$ et 14 pour 100, et perd par la chaleur plus de 2 $\frac{1}{2}$ pour 100 de son poids, on peut être certain qu'il est mélangé de carbonates.

Cette perte constante par la chaleur distingue nettement l'amphibole du pyroxène qui, dans beaucoup de cas, ne renferme pas de matières volatiles, fait qui se présente non-seulement pour l'augite, mais aussi pour des pyroxènes cristallisés au milieu de carbonate de chaux, accolés à d'autres cristaux et perdant par la chaleur

une fraction notable de leur poids; ce fait montre que l'amphibole n'a pas dû cristalliser dans les mêmes conditions que le pyroxène.

Lorsqu'on fond de l'amphibole, il n'est pas étonnant qu'on n'obtienne plus de cristaux d'amphibole, mais du pyroxène, puisque ce minéral seul a pu se former dans ces conditions. La masse fondue renferme tous les éléments du silicate, avec un petit excès de silice; mais, à mesure que la température s'abaisse, une portion de la silice s'unit à une portion déterminée des bases pour former des cristaux, qui restent empâtés au milieu d'une gangue qui contient le surplus des éléments. Il y a plus : si l'amphibole et le pyroxène avaient même composition, et si ces deux espèces ne différaient que parce que l'un des éléments, la chaux, domine dans le pyroxène, tandis que la magnésie domine dans l'amphibole, on ne comprendrait pas comment il se fait que des cristaux de pyroxène se forment au milieu d'une masse en fusion où ils ne trouvent pas la quantité de chaux nécessaire à leur production.

Il résulte enfin de ces expériences que l'hypothèse de l'isomorphisme de la silice et de l'alumine ne peut pas expliquer les variations que l'on observe entre les proportions d'alumine et de silice dans les différentes variétés d'amphibole.

Vu et approuvé.

Le 17 juin 1864.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,
MILNE EDWARDS.

Permis d'imprimer.

Le 17 juin 1864.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
A. MOURIER.

DEUXIÈME THÈSE.

PROPOSITIONS DE PHYSIQUE DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

1° De la mesure des températures;

2° Polarisation rotatoire, développement de la puissance rotatoire sous l'action magnétique.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE FRANCE

Vu et approuvé.

Le 17 juin 1864.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

MILNE EDWARDS.

Permis d'imprimer.

Le 17 juin 1864.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

A. MOURIER.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
rue de Seine-Saint-Germain, 10, près l'Institut.