

DA  
CIÓN



J. LANDAUER  
—  
ANALYSE  
AU  
CHALUMEAU



QD75  
.L2  
1895  
c.1

543



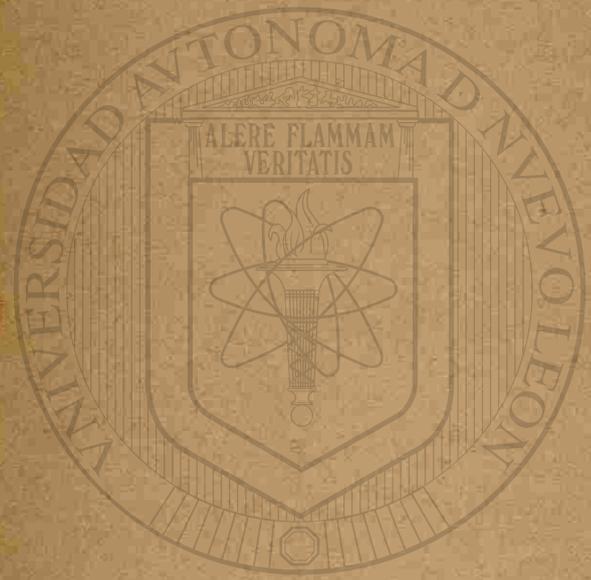
1080074837

BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN  
BIBLIOTECA GENERAL DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS

543

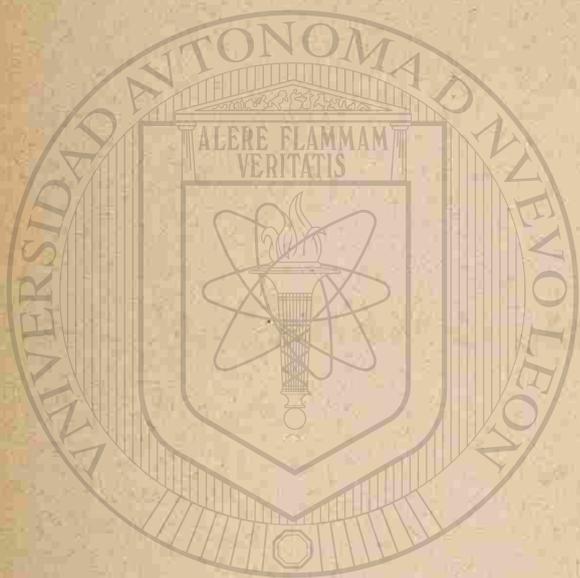


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





*E. García - 2-15-97*

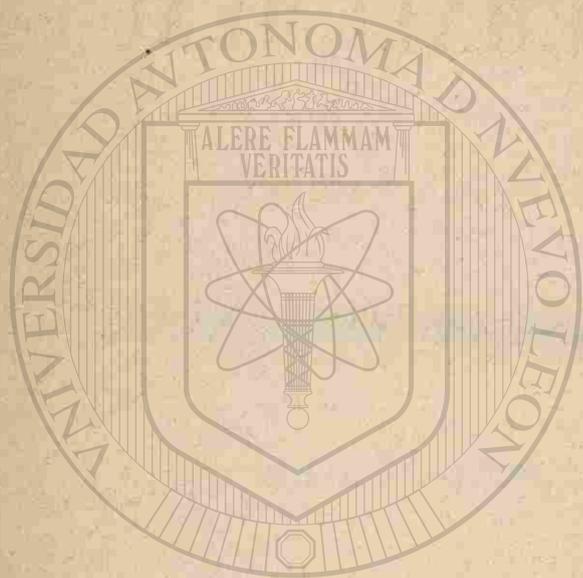
ANALYSE AU CHALUMEAU

MANUEL PRATIQUE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





ANALYSE  
AU CHALUMEAU

MANUEL PRATIQUE

PAR

**J. LANDAUER**

Membre de l'Académie Impériale Allemande des Naturalistes

ÉDITION FRANÇAISE

PUBLIÉE AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR

PAR

**J.-A. MONTPELLIER**

Chimiste de l'Administration des Postes et Télégraphes

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PARIS

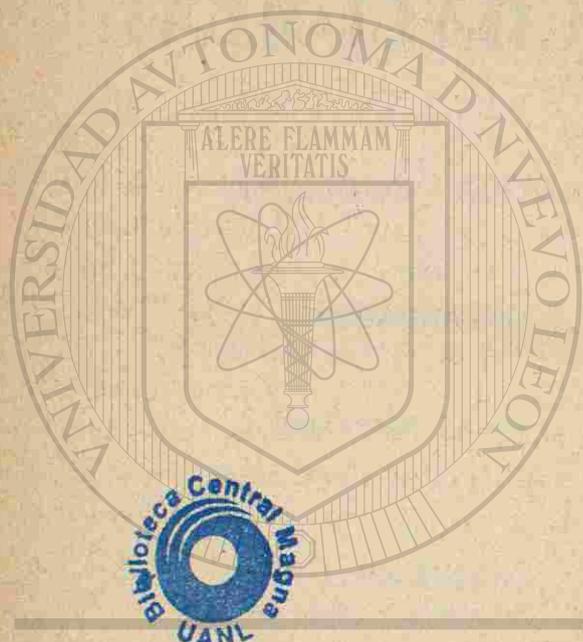
GEORGES CARRÉ, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

1895

39989

QD75  
.L2  
1895



FONDO  
A. S. PÚBLICA DEL ESTADO

74837

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## PRÉFACE

L'ouvrage du Dr J. LANDAUER est certainement le traité le plus pratique et le plus complet d'analyse chimique au chalumeau. Traduit en plusieurs langues, il a été accueilli partout avec la plus grande faveur.

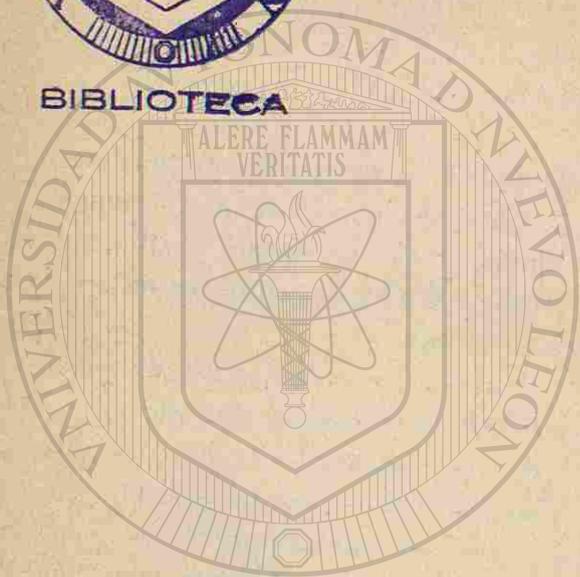
L'édition française que nous présentons aujourd'hui au public a été soigneusement revue par l'auteur et mise au courant des travaux les plus récents. Nous avons pensé que la publication de cet ouvrage, écrit à un point de vue spécialement pratique, serait bien accueillie par tous les chimistes français.

J.-A. MONTPELLIER.





BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## ANALYSE AU CHALUMEAU

I

### HISTORIQUE

Le chalumeau a été employé pour la première fois vers l'année 1660; il était alors utilisé par les souffleurs de verre, qui, naturellement, l'avaient établi en verre.

Quelques années après, Kunkel (1638-1703) montra que le chalumeau d'émailleur pouvait être employé avec avantage dans certaines opérations chimiques telles, par exemple, que la réduction des chaux métalliques sur le charbon.

L'emploi de cet instrument dans les laboratoires commença à se généraliser dès que J.-A. Cramer (1710-1777) eut apporté à sa construction un notable perfectionnement en l'établissant en laiton et en le munissant d'un réservoir sphérique destiné à retenir l'humidité de l'haleine. Souffler

avec la bouche paraît avoir été une grande difficulté pour les contemporains de Cramer ; aussi, ce dernier, dans un second mémoire, décrivit-il un autre modèle de chalumeau avec soufflerie mécanique. Cramer s'occupa principalement d'essais de fusion ; il a été le premier à employer le borax comme réactif dans l'analyse par la voie sèche.

De nombreux efforts, couronnés de succès, furent aussi tentés en Suède, pour utiliser le chalumeau dans les opérations de chimie. Quelques chimistes et minéralogistes, particulièrement Anton von Swab (1703-1768) et Swen Rinman (1725-1792), avaient déjà employé cet instrument, lorsque A.-F. Cronstedt (1702-1765) apporta des perfectionnements notables à son emploi et s'en servit pour l'essai des minerais. Cronstedt employait comme réactifs le borax, le carbonate de sodium et le sel de phosphore ; c'est à lui qu'est dû le premier modèle d'une boîte contenant tout ce qui est nécessaire pour effectuer les analyses au chalumeau. Les réactions chimiques que présentent les divers minéraux lorsqu'on les chauffe au chalumeau engagèrent ce savant à établir un système de classification minéralogique qu'il publia, en 1758, sous le titre de *Försök til Mineralogie*. Cet ouvrage parut d'abord sans nom d'auteur et la paternité en

fut à tort attribuée, par certains de ses contemporains et notamment par Linné, à Anton von Swab ; toutefois, ce livre ne constituait pas un manuel proprement dit de l'emploi du chalumeau. Ce fut G. von Engeström (1738-1813) qui donna un exposé plus exact de la méthode d'emploi du chalumeau, telle que Cronstedt l'avait indiquée, dans un appendice qui fut ajouté à la traduction anglaise du livre de ce savant ; ce travail fut publié à Londres en 1770. Ce premier guide complet de l'emploi du chalumeau ne tarda pas à être très connu, grâce aux traductions qui en furent faites en diverses langues. Le chalumeau, toutefois, n'était encore utilisé que par un petit nombre de chimistes, car le maniement d'un instrument aussi peu parfait que celui qui était alors en usage ne pouvait être facilement appris par la lecture, mais nécessitait un enseignement pratique.

Ce ne fut qu'après les travaux de Bergmann (1735-1784), alors professeur de chimie à Upsala, que l'emploi du chalumeau se généralisa. Bergmann, dont les travaux servirent à établir les bases de la méthode d'analyse des substances inorganiques, actuellement appliquée, fit un fréquent usage du chalumeau et ne manqua jamais de l'employer pour étudier la manière dont se com-

portaient les divers composés minéraux qui faisaient l'objet de ses recherches. Il publia, en 1779, un traité complet de l'emploi du chalumeau sous le titre de *Commentatio de tubo ferruminatorio*, dans lequel il relata le résultat de ses recherches personnelles et de celles de Swab, Rinman, Quist, Cronstedt, Engeström, Gahn et Scheele. Bergmann perfectionna la forme du chalumeau, montra les différences qui existent, au point de vue de la température, entre les zones intérieures et extérieures de la flamme et analysa, à l'aide de cet instrument, un grand nombre de minerais et de composés inorganiques; il fut aidé dans ses nombreux travaux par son élève Gahn, qui devint plus tard son assistant. Ce fut Carl Wilhelm Scheele qui montra le premier, en 1784, la différence qu'il y a entre la flamme oxydante et la flamme réductrice.

Johann Gottlieb Gahn (1745-1818) appréciait tellement l'emploi du chalumeau qu'il ne voyageait jamais sans cet instrument et qu'il soumettait à ce mode d'analyse toutes les substances qu'il rencontrait. Grâce à cette pratique de tous les jours, il acquit une habileté remarquable. Berzélius rapporte que, bien avant que l'on eût reconnu que les cendres des végétaux contenaient du cuivre, Gahn

avait pu obtenir du cuivre métallique extrait des cendres d'un quart de feuille de papier. Gahn a donné au chalumeau sa forme actuelle; il est le premier à avoir indiqué l'emploi du fil de platine comme support et de la solution d'azotate de cobalt comme réactif; il a également découvert la réduction des oxydes métalliques par le carbonate de sodium sur le charbon. Gahn a publié très peu de choses sur ses travaux d'analyse au chalumeau, mais il communiquait libéralement ses expériences à ses élèves et ses amis, surtout à Berzélius, qui jouissait de sa pleine confiance. Sur les instances de ce dernier, Gahn écrivit un exposé de ses travaux d'analyse au chalumeau pour l'ouvrage intitulé *Lärbok i Kemien*, publié par Berzélius. Peu de temps avant la mort de Gahn, les *Annals of Philosophy* contenaient un mémoire ayant pour titre: *On the blowpipe: From a treatise on the blowpipe by Assessor Gahn of Fahlun*. Dans ce travail, l'auteur exposa, dans tous leurs détails, les réactions que les composés métalliques donnaient avec le carbonate de sodium, le borax et le sel de phosphore.

Berzélius (1779-1848) développa et perfectionna les méthodes d'analyse au chalumeau; il les appliqua à toute la chimie minérale ainsi qu'à la miné-

ralogie. Il publia en 1820 un ouvrage devenu classique sous le titre de *Afhandling om Blasrorets användande i Kemien och Mineralogien*, dans lequel on trouve non seulement l'exposé complet des travaux de Gahn, mais aussi les résultats de ses nombreuses recherches personnelles. A partir de cette époque, le chalumeau fut aussi bien utilisé par les chimistes que par les minéralogistes.

Plattner, de Freiberg (1800-1858), contribua grandement à perfectionner les méthodes d'analyse au chalumeau. Il s'occupa plus spécialement de l'analyse quantitative des minerais d'argent, appliquée pour la première fois par Harkort en 1827, et décrivit plusieurs méthodes servant à déterminer les corps en combinaison. Son livre intitulé *Probirkunst mit dem Löthrohr*, dont les dernières éditions ont été revues et complétées par Richter, est encore aujourd'hui consulté avec intérêt et utilité.

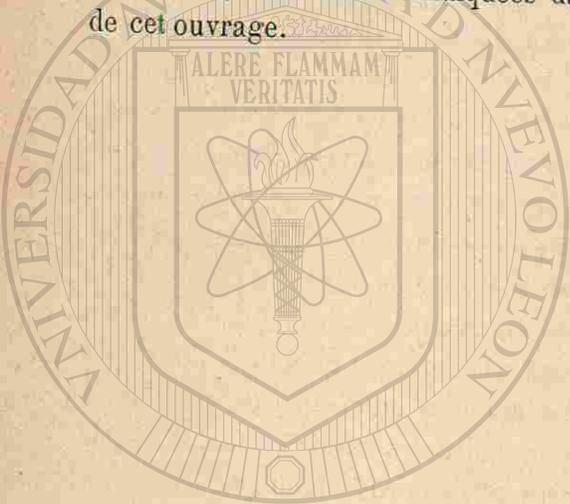
Bunsen, par sa découverte des réactions de la flamme, dota de nouveaux moyens d'investigation les méthodes d'analyse par la voie sèche. La flamme du bec à gaz qui porte son nom remplace avantageusement, dans certains cas, le chalumeau ordinaire. Comme le charbon, employé comme

support dans beaucoup d'opérations au chalumeau, ne pouvait être utilisé avec la flamme de ce bec, ce savant imagina toute une série de procédés qui lui permirent de s'en passer.

Les procédés d'analyse au chalumeau furent dès leur apparition appréciés en France. Les ouvrages d'Engeström et de Bergmann furent traduits en français. La traduction de ce dernier fut faite par Guyton de Morveau, qui publia également le résultat de ses propres recherches; il combina, en outre, un nécessaire, sorte de laboratoire portatif, contenant tous les instruments et réactifs nécessaires pour effectuer les analyses au chalumeau. Plus tard, Lavoisier, Hassenfratz et autres utilisèrent la flamme du chalumeau, alimentée par un courant d'oxygène, pour faire des essais de fusibilité sur différents corps réfractaires. L'ouvrage de Berzélius sur le chalumeau fut également traduit en français, en 1821, par Fresnel. Quelques années après (1830), Beudant, dans son traité de minéralogie, décrivait les méthodes d'analyse au chalumeau. Des conférences faites par Laurent sur l'emploi du chalumeau furent publiées, en 1847, par les soins d'un de ses élèves. Dans cet excellent petit livre, on trouve exposée, pour la première fois, une méthode systématique d'analyse au cha-

lumeau sous le titre de division dichotomique pour reconnaître les minéraux.

Nous ne parlerons pas ici des perfectionnements récents apportés dans les méthodes d'essai par la voie sèche, elles seront indiquées dans le cours de cet ouvrage.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## II

## APPAREILS ET RÉACTIFS

1. — CHALUMEAUX. — Le chalumeau employé en analyse est représenté figure 1. Il est formé de trois parties séparées :

1° Un tube conique en laiton AB pourvu en A d'une embouchure sur laquelle on applique les lèvres ;

2° Un réservoir C dans lequel se condense l'humidité venant de la bouche ;

3° Un tube D placé à angle droit par rapport au tube AB et terminé par un ajutage *d* en platine.

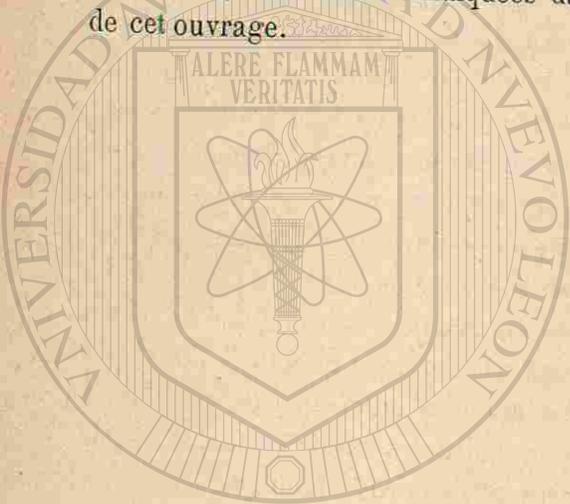
Les diverses pièces de l'instrument s'emboîtent exactement l'une dans l'autre par leur extrémité et doivent être parfaitement ajustées pour qu'il n'y ait aucune fissure par où l'air puisse s'échapper.



FIG. 1.

lumeau sous le titre de division dichotomique pour reconnaître les minéraux.

Nous ne parlerons pas ici des perfectionnements récents apportés dans les méthodes d'essai par la voie sèche, elles seront indiquées dans le cours de cet ouvrage.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## II

## APPAREILS ET RÉACTIFS

1. — CHALUMEAUX. — Le chalumeau employé en analyse est représenté figure 1. Il est formé de trois parties séparées :

1° Un tube conique en laiton AB pourvu en A d'une embouchure sur laquelle on applique les lèvres ;

2° Un réservoir C dans lequel se condense l'humidité venant de la bouche ;

3° Un tube D placé à angle droit par rapport au tube AB et terminé par un ajutage *d* en platine.

Les diverses pièces de l'instrument s'emboîtent exactement l'une dans l'autre par leur extrémité et doivent être parfaitement ajustées pour qu'il n'y ait aucune fissure par où l'air puisse s'échapper.



FIG. 1.

La longueur du chalumeau est d'environ 20 centimètres, mais cette longueur peut varier suivant la personne qui en fait usage ; il est évident qu'un opérateur myope aura besoin d'avoir un chalumeau plus court que celui qui sera employé par une personne presbyte.

L'ouverture du bout de platine devra avoir environ 0,4 millimètre de diamètre, mais il est nécessaire, dans beaucoup de cas, d'avoir un deuxième ajutage avec ouverture de 0,5 millimètre, pour les opérations qui exigent une flamme plus forte.

Lorsque l'ouverture du bout de platine est bouchée par la suie, il suffit, pour la déboucher, de la chauffer dans la flamme d'une lampe à alcool ou d'un bec Bunsen.

La figure 2 représente une autre forme de chalumeau, employée principalement en Angleterre et connue sous le nom de chalumeau de Black.

Il ne diffère pas beaucoup de celui qui vient d'être décrit ; en général, dans ce modèle, les pièces sont vissées ensemble au lieu d'être emboîtées ; toutefois, le bout de platine peut s'enlever facilement pour être changé ou nettoyé.



Fig. 2.

Les deux chalumeaux qui viennent d'être décrits sont représentés avec une embouchure de forme analogue à celle des trompettes ; c'est le modèle préféré par beaucoup d'opérateurs ; toutefois, il n'y a aucun inconvénient à se servir d'une embouchure de forme oblongue, comme on en trouve dans le commerce.

Il est parfois très commode de faire usage d'un support portant le chalumeau, afin de conserver les mains libres pour manipuler les substances à examiner. La figure 3 montre la disposition d'un support de ce genre : A est une douille métallique qui reçoit le réservoir ou chambre à air du chalumeau ; une



Fig. 3.

fente verticale C, pratiquée dans la douille, donne passage au tube D portant le bout de platine ; un tube de caoutchouc F, muni d'une embouchure, remplace le tube conique du chalumeau. La chambre à air, entrant à frottement dur dans la douille, est suffisamment maintenue

pour conserver la position qu'on lui donne et, par suite, le tube D peut recevoir l'inclinaison voulue. La tige G du support est munie d'un pied très lourd afin de lui donner de la stabilité et la douille A peut être amenée et fixée à la hauteur voulue à l'aide de la vis de pression E.

Afin d'éviter la fatigue des muscles des joues, qu'entraîne l'emploi du chalumeau ordinaire, on

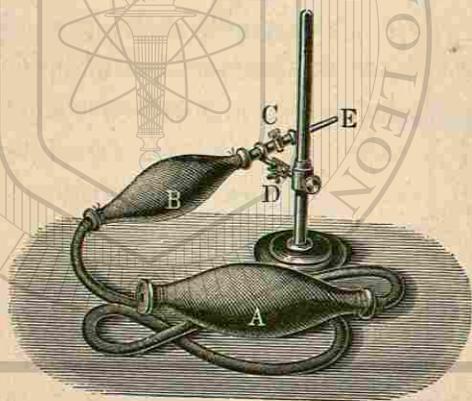


Fig. 4.

a construit divers modèles de souffleries mécaniques. Un des plus connus est celui que représente la figure 4. C'est une soufflerie à main dans laquelle le jet d'air est obtenu par la compression intermittente d'une poire en caoutchouc, munie

d'une soupape permettant l'introduction de l'air chaque fois qu'on cesse de comprimer la poire. L'air est comprimé dans une seconde poire élastique, pourvue aussi d'une soupape, mais disposée pour que l'air ne puisse retourner dans la première ; on obtient ainsi à l'extrémité de l'ajutage E un jet constant et continu. Cet appareil est basé sur le même principe que celui des souffleries à pédale employées pour le travail du verre.

Un autre modèle de chalumeau avec soufflerie à main, très portatif et d'un usage commode, est

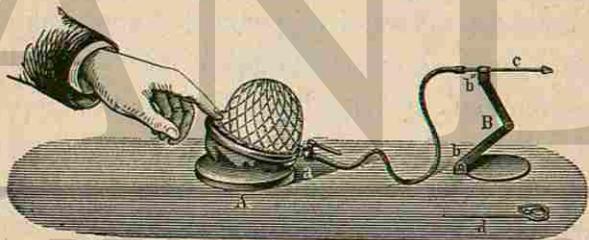


Fig. 5.

celui qui est construit par M. Fletcher, de Warrington (Angleterre). La petite soufflerie à main A (fig. 5) est identique comme disposition à la soufflerie à pédale du même constructeur et est pourvue d'un robinet a destiné à régler le jet. Par

l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc, la soufflerie est reliée au chalumeau *c*, porté par un support B de forme particulière et constitué par des tiges de laiton *b* et *b''*, articulées à genouillère, qui permettent de faire varier la hauteur et l'inclinaison du chalumeau. Cet appareil comporte un second tube de chalumeau dont l'extrémité, enroulée en forme de serpentin, se place dans la flamme; on obtient ainsi un jet d'air chaud qui permet d'atteindre une température beaucoup plus élevée. L'ensemble de l'appareil est de dimensions assez petites pour qu'il puisse être emporté en voyage et, au besoin, être mis dans la poche.

Dans les laboratoires pourvus d'une canalisation d'eau sous pression, on peut faire usage d'un des nombreux modèles de souffleries hydrauliques. En principe, ces appareils sont constitués par un tube que l'on relie à un robinet d'eau; un second tube, placé sur le côté du premier, permet à l'air, aspiré par le courant d'eau, d'entrer dans l'appareil; l'air et l'eau arrivent ensemble dans un réservoir où ils se séparent, l'air s'échappant par une ouverture placée à la partie supérieure, tandis que l'eau s'écoule par le bas.

La plupart des petites trompes, employées dans les laboratoires pour accélérer les filtrations, peu-

vent aussi être facilement transformées en souffleries par l'adjonction d'un flacon de grandes dimensions portant, à sa partie inférieure, une tubulure pour l'écoulement de l'eau et, à sa partie supérieure, une tubulure fermée par un bouchon dans lequel deux trous ont été pratiqués: l'un reçoit l'extrémité de la trompe, l'autre est muni d'un tube de caoutchouc relié au chalumeau. Le jet est réglé par un robinet convenable.

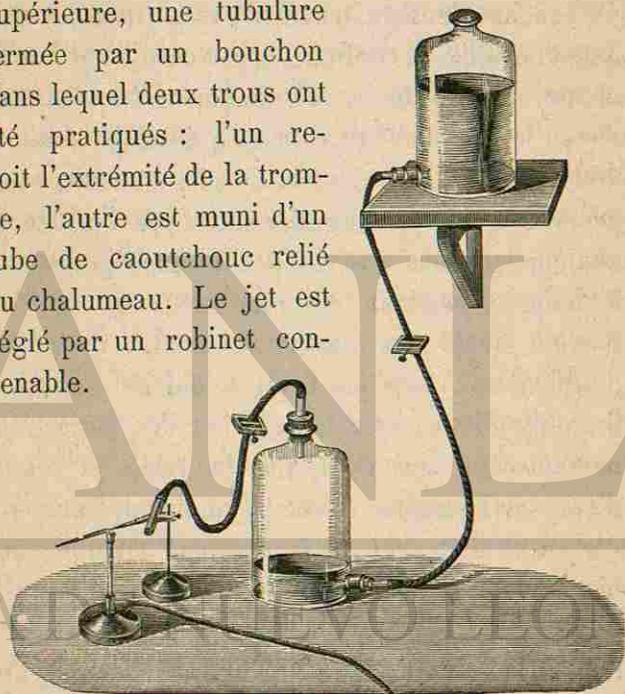


Fig. 6.

La figure 6 représente un dispositif simple de soufflerie automatique pour chalumeau. Il se compose de deux grands flacons reliés par un tube en

caoutchouc. L'un d'eux, plein d'eau, est placé sur une étagère assez élevée, mais accessible à la main; une hauteur d'un mètre au-dessus de la table convient parfaitement. Le second flacon est fermé par un bouchon de liège, traversé par un tube de verre que l'on relie au chalumeau par un tube en caoutchouc. Par suite de l'écoulement de l'eau du flacon le plus élevé dans celui qui est placé sur la table, l'air contenu dans ce dernier se trouve comprimé et s'échappe régulièrement par l'orifice du chalumeau. Des flacons de 4 litres permettent d'alimenter pendant dix minutes environ un chalumeau ayant une ouverture de 0,4 millimètre de diamètre. Lorsque l'eau a fini de s'écouler, il suffit d'intervertir la position des flacons en mettant celui qui était sur la table et rempli d'eau sur l'étagère, et réciproquement, pour que l'appareil soit prêt à fonctionner de nouveau; bien entendu, on doit enlever du flacon plein le bouchon portant le tube communiquant au chalumeau pour le mettre sur le flacon vide que l'on pose sur la table.

Dans le cas où l'on n'aurait pas à sa disposition des flacons à tubulure inférieure, comme ceux que représente la figure 6, on pourrait faire usage de flacons ordinaires que l'on munirait chacun d'un

tube pénétrant jusqu'au fond et que l'on relierait, comme dans le dispositif précédent, par un tube en caoutchouc. Toutefois, dans ce cas, il ne faut pas oublier qu'en changeant les flacons de place il est nécessaire chaque fois d'aspirer pour provoquer l'écoulement de l'eau, ce dispositif constituant un siphon qu'il faut nécessairement amorcer.

Avec ce genre de soufflerie automatique, il est facile de régler le jet d'air en se servant d'une pince de Mohr à vis que l'on place sur l'un ou sur l'autre des deux tubes de caoutchouc.

Malgré la commodité que présente l'emploi des diverses souffleries décrites, ces appareils ne sont pas aussi maniables et d'un effet aussi sûr que le chalumeau ordinaire à bouche, et ils ne présentent d'avantages que tout autant qu'on doit se servir du chalumeau pour un travail continu qui exigerait, dans ce cas, une trop grande fatigue des muscles des joues. Il y a lieu également de faire remarquer que ceux qui auront acquis par la pratique une grande habileté dans l'emploi du chalumeau ordinaire seront seuls à retirer de ce mode d'analyse tous les avantages qu'il présente.

**2. — FLAMMES.** — La flamme qui convient le mieux à l'emploi du chalumeau est celle que l'on

obtient avec un bec Bunsen sur le tube duquel on place un second tube (*fig. 7*) qui l'entoure; l'extrémité supérieure de ce tube, aplatie de manière à ce que l'ouverture n'ait qu'un millimètre à deux millimètres de largeur intérieure, est coupée obliquement. Ce tube a environ 10 centimètres de longueur et, lorsqu'il est placé sur le brûleur, obture les trous de prise d'air.



Fig. 7.

Malheureusement, la flamme du gaz ne peut être utilisée lorsqu'il s'agit, dans un essai, de rechercher le soufre, car le gaz d'éclairage en contient souvent en quantité suffisante pour fausser les résultats obtenus.

Pour se mettre à l'abri de toute cause d'erreur, il est préférable d'employer la lampe de Berzélius perfectionnée par Plattner. Cette lampe (*fig. 8*) comporte un réservoir à huile *a*, mobile sur un support *c* et muni de deux ouvertures que l'on ferme par un bouchon à vis; l'une d'elles sert à l'introduction de l'huile, l'autre *d* est munie d'un porte-mèche et d'une mèche. On se sert d'huile d'olive ou d'huile de colza épurée pour alimenter cette lampe.

D'autres modèles de lampes, disposées pour être facilement emportées en voyage, sont alimen-

tés par des graisses, du suif ou surtout de la paraffine; ayant un point de fusion bas, elles sont

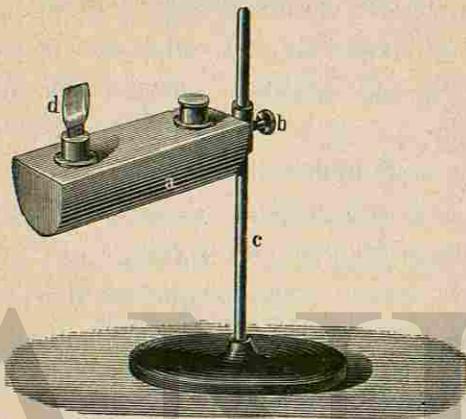


Fig. 8.

très commodes et d'un bon usage. Parmi ces lampes, on peut citer celle de Foster et celle de Fletcher.

La lampe Foster (*fig. 9*) se compose d'un cylindre *A* muni d'un porte-mèche *B*. La mèche doit être d'un tissu très lâche et formée de plusieurs doubles. Pour se servir de cette lampe, on com-

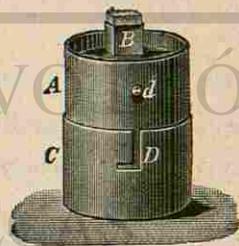


Fig. 9.

mence par diriger le dard de la flamme sur le suif ou la graisse, contenu dans la lampe, de

manière à opérer la fusion du combustible ; cela fait, la lampe continue à brûler jusqu'à ce que le combustible soit épuisé. Chaque fois qu'on s'est servi de la lampe, on doit, avant que le combustible ne se soit solidifié, relever légèrement la mèche afin qu'elle soit à la hauteur convenable pour une opération ultérieure. Le couvercle C sert de support à la lampe lorsqu'elle est allumée ; quand elle est éteinte, on la ferme avec ce couvercle qui se fixe par un fermoir à baïonnette Dd.

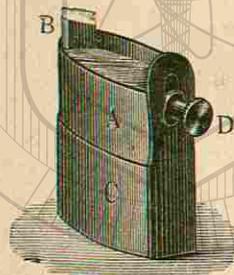


Fig. 10.

La lampe Fletcher (*fig. 10*) consiste en un récipient A qu'on remplit de paraffine et qui est muni d'une mèche et d'un porte-mèche B. Le couvercle C est également utilisé comme support et, à cet effet, est garni d'une plaque de plomb qui lui donne plus de stabilité ; une vis D maintient le couvercle dans la position voulue, soit pour fermer la lampe, soit pour servir de support.

La lampe à alcool peut aussi être employée avec le chalumeau, à la condition toutefois qu'elle soit à mèche plate et qu'elle ne soit pas de trop petites dimensions. On peut l'alimenter avec de

l'alcool mélangé à un autre corps riche en carbone, par exemple de la benzine ou de l'essence de térébenthine, dans la proportion de 12 parties d'alcool pour 1 d'essence de térébenthine ou 3 de benzine. Une lampe ainsi alimentée produira une température élevée et n'aura pas besoin d'être garnie aussi souvent qu'une lampe à huile.

Pendant longtemps la flamme de la chandelle ou de la bougie a été la seule employée pour le chalumeau et, dans beaucoup de cas, elle est bien suffisante ; mais la bougie présente l'inconvénient, en se consumant, de diminuer graduellement de hauteur. On emploie les grosses bougies dites bougies de voiture dont on courbe la mèche dans la direction du jet du chalumeau ; on les empêche de couler en les entourant d'une feuille d'étain.

Enfin, on construit aussi des chalumeaux à gaz dans lesquels le brûleur et le chalumeau sont réunis dans le même instrument. Dans ces appareils, le bec du chalumeau est entouré par un tube de plus grand diamètre et le gaz passe dans l'espace compris entre ces deux tubes. Le mélange d'air et de gaz ne se produit qu'à l'extrémité ouverte des tubes et l'on obtient à volonté une flamme oxydante ou réductrice suivant que l'air

est mélangé avec le gaz en quantité plus ou moins grande. La figure 11 représente un modèle ordinaire de chalumeau à gaz ; la figure 12 montre un appareil analogue monté sur un pied.

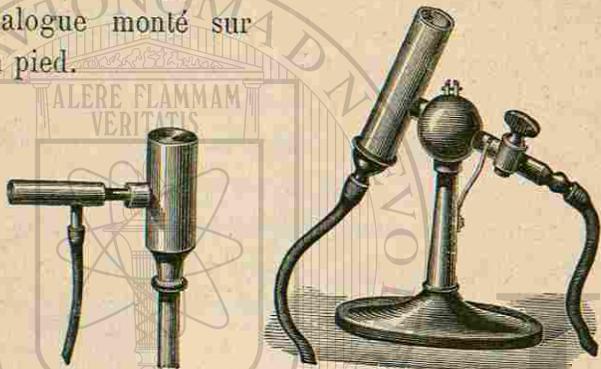


Fig. 11.

Fig. 12.

**3. — SUPPORTS.** — Les supports sur lesquels on place les substances à essayer au chalumeau sont le charbon de bois, le platine en fil ou en lame et des tubes de verre.

Le charbon de bois est le support le plus fréquemment employé à cause de son infusibilité, de sa faible conductibilité pour la chaleur et de son pouvoir réducteur. Les charbons qui conviennent le mieux sont ceux qui proviennent de bois légers tels que le sapin. On doit choisir des morceaux bien calcinés, afin d'éviter la fumée et les pétille-

ments, et exempts de nœuds pour qu'ils n'éclatent pas sous l'action du feu.

On taille le charbon en petits morceaux parallépipédiques d'environ 10 centimètres de longueur, 3 centimètres de largeur et 2 centimètres d'épaisseur ; on n'utilise que les faces qui sont tangentes aux couches concentriques annuelles, afin d'éviter que les substances fondues ne se répandent sur la surface.

Lorsqu'on n'a pas à sa disposition du charbon de bois convenable, on peut faire usage de morceaux de charbon artificiel que l'on prépare en mélangeant de la poudre de charbon avec une matière plastique telle que l'empois d'amidon ; on moule la pâte obtenue, on la sèche et on la place ensuite dans un creuset fermé que l'on chauffe au rouge sombre pour décomposer la matière qui a servi à agglomérer la poudre de charbon. Cette espèce de charbon artificiel se vend dans le commerce.

On peut aussi employer de petites pastilles de charbon qu'on met sur des supports en biscuit ou en argile réfractaire, ou encore obtenir un léger dépôt de charbon sur ces derniers en les plaçant quelques instants au-dessus d'une flamme.

Une plaque d'aluminium peut aussi remplacer

le charbon ; son emploi a été indiqué par Ross<sup>1</sup>. Dans quelques cas, l'emploi de la lame d'aluminium présente des avantages, principalement pour obtenir des dépôts ou enduits. Une feuille d'aluminium de 12 centimètres de longueur et de 4 centimètres de largeur, ayant une épaisseur de 1 à 2 millimètres, convient parfaitement. On la chauffe à une de ses extrémités et on la recourbe légèrement à angle droit de manière à obtenir un rebord de 20 millimètres de hauteur. La substance à essayer est placée contre ce rebord soit directement, soit sur un petit morceau de charbon d'environ 12 millimètres carrés de surface et d'environ 2 millimètres d'épaisseur. Après s'en être servi, la plaque d'aluminium est nettoyée à l'aide d'une peau de chamois et d'un peu d'eau et de cendres d'os. Une plaque d'aluminium peut faire un long usage.

Le platine est très fréquemment employé sous forme de fil dans les essais au chalumeau ; il convient mieux que le charbon pour les essais par oxydation, car il n'exerce pas d'action réductrice et la couleur des perles est beaucoup plus facile à voir. On choisit du fil de platine de la grosseur d'un crin de cheval, on le coupe en morceaux d'environ 8 cen-

<sup>1</sup> Ross, *Pyrology or Fire Chemistry*, Londres, 1875, Spon, éditeur. Voir aussi Hutchings, *Chem. News*, XXXIV, 208, 217.

timètres de longueur et on le recourbe en boucle à une de ses extrémités. Pour s'en servir, on humecte la boucle ainsi formée avec une goutte d'eau distillée et on la plonge ensuite dans le fondant réduit en poudre qui adhère à cette espèce de support. Pour les rendre plus commodément maniables, ces petits fils de platine peuvent être fixés à l'extrémité d'un morceau de tube de verre ; en fondant le bout du tube à la lampe, on emprisonne l'extrémité du fil de platine qui est ainsi solidement soudée. Les boucles en forme d'U, qui sont principalement employées, permettent d'obtenir des perles sphériques, tandis que les boucles rondes, en forme d'anneau, donnent des perles aplaties, en forme de lentille, qui, lorsqu'elles sont fortement colorées, permettent de mieux saisir la nuance. On doit toujours avoir un certain nombre de fils de platine propres à sa disposition, et, pour qu'ils ne se salissent pas, on les conserve dans un verre plein d'eau distillée.

La lame de platine est employée assez rarement ; elle doit avoir 5 centimètres de longueur et 15 millimètres de largeur.

Une petite cuiller de platine est très utile pour opérer la fusion des substances avec le bisulfate de potassium ou avec le nitre.

Une petite spirale de fil de platine, de 2 à 3 millimètres de diamètre, obtenue en enroulant le fil autour d'un petit crayon, par exemple, pourra être employée à la place de la cuiller.

Des tubes de verre ainsi que de petits matras sont très fréquemment employés. On doit toujours en avoir un certain nombre à sa disposition.

Pour chauffer les substances dans un courant d'air (grillage) on fait usage de petits tubes de verre ouverts aux deux extrémités, ayant environ 6 millimètres de diamètre et 10 centimètres de longueur. Les petits matras ou les tubes fermés d'un bout sont, au contraire, employés lorsqu'on veut seulement chauffer une substance sans la soumettre à l'action d'un courant d'air.

De petites plaquettes de plâtre, d'environ 10 centimètres de longueur sur 4 centimètres de largeur, sont utilisées comme supports sur le charbon pour obtenir des enduits par l'iodure de soufre. Pour les préparer, on gâche du plâtre de Paris avec de l'eau de manière à obtenir une pâte assez claire; cette pâte est ensuite versée sur une plaque de verre très légèrement huilée et, lorsqu'elle s'est un peu épaissie, on la divise en morceaux de dimensions voulues à l'aide d'un canif; lorsque la masse est complètement sèche, on peut

l'enlever très facilement de la cuvette et séparer les divers morceaux.

4. — APPAREILS ET OUTILS DIVERS. — Les autres appareils ou outils indispensables pour effectuer des essais au chalumeau sont les suivants :

Un mortier d'agate de 40 à 50 millimètres de diamètre;

Une pince à bouts de platine s'ouvrant par pression;

Une pince en acier;

Une paire de pinces coupantes pour détacher des fragments de minerais;

Un petit marteau et une petite enclume, tous deux en acier dur et parfaitement polis;

Une petite aiguille aimantée;

Une loupe;

Une spatule en fer poli;

Des verres colorés : un verre bleu au cobalt; un verre violet au manganèse; un verre rouge à l'oxyde cuivreux et un verre vert au fer et au cuivre. Ces verres de couleur sont très utiles;

Un prisme creux en verre (*fig. 13*), contenant une solution d'indigo. Ce prisme devra avoir envi-



FIG. 13.

ron 15 centimètres de longueur et 35 millimètres environ à sa partie la plus large située près du bouchon. La dissolution d'indigo se prépare en faisant dissoudre une partie d'indigo dans 8 parties d'acide sulfurique fumant que l'on étend ensuite de 1 500 à 2 000 parties d'eau; on filtre ensuite. Pour se servir de ce prisme, on le place exactement devant l'œil et on le déplace horizontalement de manière que la lumière de la flamme colorée que l'on observe passe graduellement à travers une épaisseur de liquide allant toujours en augmentant.

5. — RÉACTIFS. — Les réactifs employés pour effectuer des essais au chalumeau doivent être aussi purs que possibles.

**Borax**,  $B_2O_3Na_2 + 10H_2O$ . — Le borax du commerce ou tétraborate de sodium doit être purifié par cristallisations successives. Les cristaux obtenus sont ensuite lavés à l'eau distillée, séchés et enfin pulvérisés. Chauffé, le borax fond dans son eau de cristallisation, puis perd cette eau en se boursoufflant beaucoup et donne une masse spongieuse légère qui, à une température plus élevée, éprouve la fusion ignée. Le borax ainsi fondu présente, après refroidissement, l'aspect d'une masse vitreuse transparente et incolore. Le

borax fondu a la propriété de dissoudre les oxydes métalliques et de donner avec certains d'entre eux des verres d'une couleur caractéristique.

**Sel de phosphore**,  $PO_4HNa(AzH_4) + 4H_2O$ . — C'est un phosphate double de sodium et d'ammonium qui, après fusion et refroidissement, doit rester transparent et incolore. S'il ne remplissait pas ces conditions, il devrait être purifié par cristallisation. Ce sel est employé dans les mêmes cas que le borax. Sous l'action de la chaleur, il se transforme en métaphosphate de sodium vitreux qui, comme le borax, jouit de la propriété de dissoudre les oxydes métalliques, mais en donnant dans certains cas des perles beaucoup plus belles comme couleur et, dans d'autres, des perles de couleur différente. Comme ce réactif se boursouffle très fortement lorsqu'on le chauffe, il est très difficile de maintenir la goutte fondue sur le fil de platine; pour éviter cet inconvénient, la boucle du fil doit être très petite. A cause de cette difficulté, ce réactif est moins employé que le borax.

**Carbonate de sodium**,  $CO_3Na_2$ . — Pour les essais au chalumeau, ce réactif ne doit contenir aucune trace de sulfate. Avant de l'employer, on doit en faire l'essai d'après la méthode indiquée au paragraphe 174.

On peut faire usage du bicarbonate de sodium à la place du carbonate neutre.

Le carbonate de sodium est employé comme réducteur, comme dissolvant et comme agent de désagrégation et de décomposition.

**Oxalate neutre de potassium**,  $C^2O^4K^2 + 2H^2O$  et **cyanure de potassium**,  $CAzK$ . — Ces deux sels ont un pouvoir réducteur plus énergique que le carbonate de sodium et sont employés de préférence, chaque fois que l'emploi de ce dernier exigerait une température plus élevée. Le cyanure de potassium fond très facilement et on l'emploie habituellement mélangé par parties égales avec du carbonate de sodium.

**Azotate de potassium**,  $AzO^3K$  et **chlorate de potassium**,  $ClO^3K$ . — Ces deux substances sont employées comme agents oxydants.

**Sulfate acide de potassium**,  $SO^4KH$ . — Ce sel pur, grossièrement pulvérisé, doit être conservé dans un flacon bien bouché. Il est employé pour décomposer certains corps; il sert également à chasser de leurs combinaisons certains produits volatils qu'il est facile de reconnaître soit à leur odeur, soit à la couleur de leur vapeur.

**Hyposulfite ou thiosulfate de sodium**,  $S^2O^3Na^2$ . — Ce sel, privé de son eau de cristalli-

sation, sert à transformer les oxydes métalliques en sulfures.

**Iodure de soufre**,  $S^2I^2$ . — On le prépare en chauffant ensemble 40 parties d'iode et 60 parties de soufre; il est utilisé pour obtenir des enduits d'iodures.

**Spath fluor ou fluorure de calcium**,  $CaFl^2$ . — Il ne doit pas contenir trace d'acide borique et, avant d'en faire usage, on doit l'essayer en procédant comme il est indiqué au paragraphe 129; cet essai permet de voir s'il contient du lithium et de l'acide borique. On mélange une partie de spath fluor finement pulvérisé avec 4 parties de sulfate acide de potassium et on conserve pour l'usage dans un flacon bien bouché.

**Acide borique fondu** (anhydre),  $B^2O^3$ . — On le divise en petits fragments; il est employé pour rechercher de petites quantités de cuivre dans le plomb.

**Silice**,  $SiO^2$ . — Employée pour l'essai de la fluorine, des sulfates et des phosphates.

**Azotate de cobalt**,  $(AzO^3)^2Co + 6H^2O$ . — On l'emploie en dissolution dans dix fois son poids d'eau. Comme ce réactif est toujours employé par gouttes, il est préférable de le conserver dans un petit flacon que l'on ferme par un compte-gouttes

facile à réaliser à l'aide d'un tube de verre traversant le bouchon et plongeant jusqu'au fond du flacon; à la partie supérieure du tube on fixe une petite poire en caoutchouc qu'il suffit de presser, puis d'abandonner à elle-même pour que le tube se remplisse de la solution; cela fait, en pressant légèrement, on peut faire tomber le liquide goutte à goutte. On peut également faire usage d'un flacon dont le bouchon en verre s'allonge à l'intérieur en forme de tige; en retirant le bouchon, la tige emmène avec elle quelques gouttes du liquide.

L'azotate de cobalt est utilisé pour la recherche de certains oxydes métalliques qui prennent une couleur caractéristique lorsqu'on les chauffe avec ce réactif.

**Oxyde cuivrique,  $\text{CuO}$ .** — On le prépare très facilement en décomposant l'azotate par la chaleur dans une capsule en porcelaine; on l'emploie pour la recherche du brome, du chlore et de l'iode.

**Chlorure d'argent,  $\text{AgCl}$ .** — On en fait une pâte épaisse avec de l'eau; cette pâte sert à rendre plus intenses les colorations de la flamme. On doit prendre ce réactif avec un fil de fer fin et ne jamais employer pour cela un fil de platine.

**Fil de magnésium.** — On se sert de morceaux

ayant environ 5 millimètres de longueur; il est employé pour la recherche de l'acide phosphorique.

**Étain.** — On emploie l'étain comme réducteur des oxydes métalliques en dissolution dans les perles. On coupe du papier d'étain en rubans étroits que l'on enroule très serrés autour d'un petit crayon. En appliquant un de ces petits bouts de ruban d'étain sur une perle chauffée sur le charbon, un peu d'étain se dissout; la perle est alors chauffée très fortement pendant un petit instant dans la flamme de réduction.

L'oxyde d'étain  $\text{SnO}$  ou le chlorure d'étain  $\text{SnCl}_2$  peuvent être employés à la place de l'étain métallique et la perle peut alors être supportée par le fil de platine sans qu'on risque de détériorer ce dernier par suite de la formation d'un alliage de platine et d'étain.

**Plomb pur.** — On le prépare très facilement en plaçant un morceau de zinc dans une dissolution d'acétate de plomb. Le plomb qui se précipite est lavé plusieurs fois dans l'eau distillée et ensuite séché dans plusieurs doubles de papier à filtrer.

**Zinc.** — Le zinc en lames ou en grenailles est employé avec l'acide chlorhydrique pour la recherche de quelques métaux rares dont les solu-

tions sont réduites par l'hydrogène naissant; il se produit dans ces conditions des changements de couleur caractéristiques.

**Or.** — Des grains d'or de 50 à 80 milligrammes sont employés pour la recherche du nickel et du cobalt.

**Argent.** — Une lame d'argent sert à la recherche des composés sulfurés; une pièce de monnaie d'argent bien propre peut remplacer parfaitement cette lame.

**Papiers réactifs.** — Des bandes minces de papier de tournesol rouge et bleu servent à reconnaître les acides et les bases; du papier imprégné d'extrait de bois de Fernambouc est employé pour déceler la fluorine.

**Acide sulfurique,  $SO_4H^2$ .** — L'acide sulfurique concentré est employé dans les essais de coloration de la flamme.

**Acide azotique,  $AzO^3H$ .** — Employé pour la séparation de l'or d'avec l'argent.

**Acide chlorhydrique,  $HCl$ .** — On s'en sert dans les essais de coloration de la flamme, pour la recherche de l'acide carbonique et de l'ammoniaque et, concurremment avec le zinc, pour la recherche de quelques métaux rares.

## III

## OPÉRATIONS DE L'ANALYSE AU CHALUMEAU

## FLAMMES D'OXYDATION ET DE RÉDUCTION

**6.** — Les procédés de l'analyse au chalumeau sont basés sur les réactions que présentent les différentes substances lorsqu'on les soumet à l'action de la flamme d'oxydation ou de la flamme de réduction que l'on obtient en faisant agir un jet d'air continu sur une flamme quelconque.

En examinant soigneusement la flamme produite par une combustion ordinaire, celle d'une bougie, par exemple, on voit que cette flamme comporte trois parties principales (fig. 14) :



Fig. 14.

1° Un noyau obscur *a* formé par les gaz provenant de la décomposition des matières grasses dont est formée la bougie;

2° Une zone très brillante *bb'* dans laquelle les gaz produits subissent une combustion incomplète,

tions sont réduites par l'hydrogène naissant; il se produit dans ces conditions des changements de couleur caractéristiques.

**Or.** — Des grains d'or de 50 à 80 milligrammes sont employés pour la recherche du nickel et du cobalt.

**Argent.** — Une lame d'argent sert à la recherche des composés sulfurés; une pièce de monnaie d'argent bien propre peut remplacer parfaitement cette lame.

**Papiers réactifs.** — Des bandes minces de papier de tournesol rouge et bleu servent à reconnaître les acides et les bases; du papier imprégné d'extrait de bois de Fernambouc est employé pour déceler la fluorine.

**Acide sulfurique,  $SO_4H^2$ .** — L'acide sulfurique concentré est employé dans les essais de coloration de la flamme.

**Acide azotique,  $AzO^3H$ .** — Employé pour la séparation de l'or d'avec l'argent.

**Acide chlorhydrique,  $HCl$ .** — On s'en sert dans les essais de coloration de la flamme, pour la recherche de l'acide carbonique et de l'ammoniaque et, concurremment avec le zinc, pour la recherche de quelques métaux rares.

## III

## OPÉRATIONS DE L'ANALYSE AU CHALUMEAU

## FLAMMES D'OXYDATION ET DE RÉDUCTION

**6.** — Les procédés de l'analyse au chalumeau sont basés sur les réactions que présentent les différentes substances lorsqu'on les soumet à l'action de la flamme d'oxydation ou de la flamme de réduction que l'on obtient en faisant agir un jet d'air continu sur une flamme quelconque.

En examinant soigneusement la flamme produite par une combustion ordinaire, celle d'une bougie, par exemple, on voit que cette flamme comporte trois parties principales (fig. 14) :



Fig. 14.

1° Un noyau obscur *a* formé par les gaz provenant de la décomposition des matières grasses dont est formée la bougie;

2° Une zone très brillante *bb'* dans laquelle les gaz produits subissent une combustion incomplète,

faute d'une quantité d'air suffisante. Dans cette partie de la flamme, les carbures d'hydrogène sont décomposés, l'hydrogène brûle seul, tandis que le carbone, mis en liberté et porté à une haute température, donne à la flamme son grand éclat ;

3<sup>o</sup> Une zone extérieure *cc'*, de couleur bleuâtre, dans laquelle le carbone brûle complètement, grâce à l'oxygène de l'air qui l'entoure et qui se trouve en excès. Cette partie de la flamme est celle qui possède la température la plus élevée, principalement à la pointe extrême, et, si l'on y place une substance oxydable, son oxydation est très rapide.

Outre les trois zones que l'on distingue dans une flamme, on observe encore, à sa base, une mince bande d'un bleu très clair, où la combustion ne s'opère pas d'une manière complète, malgré le contact de l'air. Ce phénomène est dû à ce fait que la température de cette partie de la flamme est peu élevée. Il s'y produit de l'eau et de l'oxyde de carbone qui, en brûlant, donne à la flamme sa coloration bleue.

La flamme d'une lampe à huile présente le même aspect que celle d'une bougie ; il en est de même de la flamme que l'on obtient avec un bec Bunsen lorsqu'on ferme les ouvertures qui permettent à l'air de se mélanger avec le gaz et qu'on le fait

brûler, par suite, avec une flamme éclairante.

Dans le jet de flamme produit par le chalumeau, on n'utilise pour les essais que la zone extérieure ou *flamme d'oxydation cc'* et la zone brillante *bb'*, dite *flamme de réduction*.

Pour obtenir la flamme de réduction, on amène le bec du chalumeau sur le bord de la flamme (*fig. 15*) et un peu au-dessus de l'ouverture du brûleur ou de la mèche. On projette alors un courant d'air modéré, la flamme s'allonge dans la direction du courant d'air, et, l'air ne se mélangeant pas complètement avec le gaz de la flamme, cette dernière contient encore des particules de carbone incandescent.



FIG. 15.

Entre le noyau obscur et la zone extérieure à peine visible, il y a une zone jaunâtre très brillante, dont la partie comprise entre *a* et *d* (*fig. 15*) et la

plus rapprochée de *a* est très propre à la réduction.

La flamme d'oxydation s'obtient en introduisant le bec du chalumeau à l'intérieur de la flamme, environ au tiers de sa largeur, et en soufflant fortement. La flamme s'allonge alors en pointe (fig. 16); elle devient bleuâtre et très peu

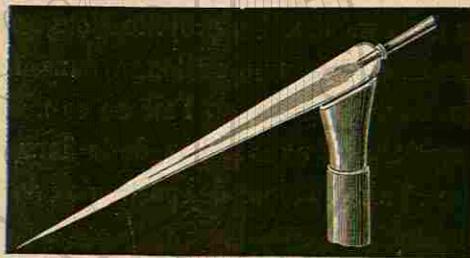


FIG. 16.

éclairante et la pointe du cône intérieur devient la partie la plus chaude. C'est dans cette partie de la flamme que l'on placera les substances dont on voudra opérer la fusion, tandis que celles que l'on voudra oxyder seront placées un peu plus loin de manière à les chauffer fortement tout en les mettant au contact de l'air.

Si la substance à oxyder est placée sur un support de charbon, il faut souffler moins fortement; sans cela, une partie du charbon brûlerait en pro-

duisant de l'oxyde de carbone qui agirait comme réducteur.

La zone centrale de couleur bleuâtre que l'on obtient dans la flamme d'oxydation a aussi une légère action réductrice à cause de l'oxyde de carbone qu'elle contient.

La flamme d'oxydation est facilement obtenue; mais la flamme de réduction exige une certaine habitude pour être produite dans de bonnes conditions. Il est, en effet, indispensable que la flamme de réduction soit maintenue constante pendant un certain temps afin d'obtenir de bons résultats, la substance à essayer devant, jusqu'à la fin, être complètement plongée dans la partie réductrice; d'un autre côté, il faut éviter de placer la substance trop à l'intérieur de la flamme, car il se produirait un dépôt de suie qui entraverait la réduction.

Pour pratiquer avec succès l'analyse au chalumeau, il est indispensable de s'exercer tout d'abord à produire la flamme d'oxydation et la flamme de réduction d'une manière convenable, ce que l'on n'obtient qu'avec la pratique et beaucoup d'attention.

On peut se rendre compte de la manière dont on produit la flamme de réduction à l'aide d'un

essai fort simple : on fait une perle de borax contenant un peu d'oxyde de manganèse qui, dans la flamme d'oxydation, devient violette ou noire si l'oxyde est en excès et qui, dans la flamme de réduction, devient presque incolore. On peut également employer une perle de borax contenant de l'acide molybdique, qui devient brune et opaque dans la flamme de réduction, tandis qu'elle devient jaune et transparente à chaud et presque incolore à froid lorsqu'elle a été soumise à la flamme d'oxydation.

Il faut souffler dans le chalumeau en faisant jouer les muscles des joues et sans se servir des poumons. On maintient pour cela les joues gonflées, on chasse l'air dans l'embouchure du chalumeau par le jeu des muscles en maintenant l'ouverture de la gorge fermée par le palais et on respire par le nez. Pour faire arriver l'air dans la bouche on l'envoie à pleins poumons, mais sans aucun effort de la part des muscles de la poitrine. On doit s'exercer fréquemment jusqu'à ce qu'on arrive à produire, sans efforts, un jet d'air régulier non interrompu, et cela sans que la respiration soit gênée. On apprendra facilement en s'habituant d'abord à respirer lentement, tout en maintenant les joues gonflées et en tenant l'embouchure du chalumeau entre les lèvres; puis on s'exerce à souffler

en continuant à respirer ni plus vite ni plus doucement que d'habitude.

On tient le chalumeau de la main droite en faisant supporter le tube par le pouce et les troisième et quatrième doigts, tandis que l'index et le second doigt le maintiennent en dessus. L'avant-bras, servant de support, doit être appuyé contre le bord de la table.

#### MARCHE DE L'ANALYSE AU CHALUMEAU

7.—Dans les essais au chalumeau, les diverses opérations doivent être effectuées dans un ordre déterminé. La marche à suivre la plus rationnelle est la suivante :

- 1° Essai de la substance dans le tube fermé d'un bout ;
- 2° Essai de la substance dans le tube ouvert ;
- 3° Essai sur le charbon ;
- 4° Essai avec le borax et avec le sel de phosphore ;
- 5° Essai de coloration de la flamme ;
- 6° Essai avec les réactifs (carbonate de sodium, solution d'azotate de cobalt, hyposulfite de sodium, iodure de soufre, sulfate acide de potassium, zinc et acide chlorhydrique).

En ce qui concerne la quantité de substance à employer pour chaque essai, il est généralement suffisant d'en prendre un fragment de la grosseur d'un grain de moutarde.

Toutefois, lorsqu'on veut obtenir un métal par réduction ou lorsqu'on veut chauffer la substance dans le tube de verre, il est préférable d'opérer sur un fragment plus gros afin que le globule métallique ou le sublimé qui se forme soit assez volumineux pour pouvoir être examiné et en reconnaître facilement la nature.

Une partie de l'échantillon sur lequel doivent porter les essais doit être toujours mise de côté afin de pouvoir s'en servir, au besoin, pour des expériences de contrôle et aussi pour parer aux cas imprévus. Par mesure de précaution, la lampe doit toujours être placée sur une grande feuille de papier blanc, repliée sur les bords, afin que les fragments de substance sur lesquels on opère puissent être facilement retrouvés dans le cas où on viendrait à les laisser tomber accidentellement.

#### ESSAI DANS LE TUBE FERMÉ D'UN BOUT

**8.** — La substance, placée dans un petit tube fermé d'un bout ou dans un petit ballon, est chauffée au-

dessus d'un bec Bunsen ou d'une lampe à alcool. On chauffe très doucement au début, puis on augmente graduellement la température jusqu'au rouge. Cet essai permet de reconnaître si la substance est complètement ou en partie volatile, ou si la chaleur ne lui fait subir aucune modification.

#### 1. — LA SUBSTANCE EST COMPLÈTEMENT OU PARTIELLEMENT VOLATILISÉE

Les phénomènes qui se produisent sont les suivants :

**9.** — [1] **Il se dégage de la vapeur d'eau.** — L'eau qui se dégage à l'état de vapeur se condense dans les parties froides du tube. Cela indique que la substance contient de l'eau de cristallisation (n° 39) <sup>1</sup>, ou que cette substance est hydratée, ou enfin qu'elle a retenu de l'eau mécaniquement interposée entre les lamelles des cristaux (n° 33); dans ce dernier cas, le corps décrépité lorsqu'on le chauffe.

On essaye, à l'aide de papier réactif, l'eau condensée sur les parois du tube; une réaction alcaline indique la présence de l'ammoniaque, et une

<sup>1</sup> Ces numéros entre parenthèses renvoient à la liste des échantillons à prendre pour l'étude pratique des procédés d'analyse, liste qui se trouve à la page 233.

réaction acide la présence d'un acide volatil tel que l'acide sulfurique, l'acide azotique, l'acide chlorhydrique ou l'acide fluorhydrique.

10. — [2] **Il se dégage des gaz ou des vapeurs.** — Le plus souvent, ce dégagement est dû aux corps suivants :

a] *Oxygène*, facile à reconnaître en plongeant dans le tube une allumette de bois présentant un point en ignition et qui se rallume au contact de l'oxygène <sup>1</sup>. Le dégagement d'oxygène indique la présence d'un peroxyde, d'un azotate, d'un chlorate, d'un bromate ou d'un iodate (n° 35).

b] *Acide sulfureux*, facile à reconnaître à son odeur de soufre brûlé et à sa réaction acide sur le papier bleu de tournesol. Il indique la présence d'un sulfate ou d'un sulfite (n° 39).

c] *Hydrogène sulfuré*, caractérisé par son odeur ; il indique la présence d'un sulfure hydraté.

d] *Peroxyde d'azote*, reconnaissable à sa couleur rutilante et à son odeur ; indique la présence d'un azotate ou d'un azotite (n° 36).

<sup>1</sup> Cette réaction n'est pas toujours obtenue lorsqu'on opère sur une très petite quantité de matière. Dans ce cas, il convient d'ajouter à la substance un peu de chlorure de sodium et une goutte d'acide sulfurique. En chauffant, il se produit un dégagement de chlore, facilement reconnaissable à son odeur et à son action décolorante sur le papier de tournesol humide.

e] *Acide carbonique*, gaz incombustible, sans couleur et sans odeur, se reconnaissant à l'aide d'une goutte d'eau de chaux, suspendue à un verre de montre, qui se trouble dans le courant de gaz. Il indique la présence d'un carbonate ou d'un oxalate à oxyde métallique facilement réductible.

f] *Oxyde de carbone*, caractérisé par sa combustibilité ; il brûle avec une flamme bleue. Il indique la présence d'un oxalate ou d'un formiate ; dans ce dernier cas, la substance se carbonise.

g] *Cyanogène*, caractérisé par son odeur particulière et par la couleur pourpre de sa flamme lorsqu'il brûle ; il indique la présence d'un cyanure.

h] *Ammoniacque*, reconnaissable à son odeur et à sa réaction alcaline sur le papier de tournesol ; les vapeurs ammoniacales indiquent la présence d'un sel ammoniacal (n° 27) ou d'un composé organique contenant de l'azote ; dans ce dernier cas, la substance se charbonne et il se dégage du cyanogène ou des huiles empyreumatiques. ®

i] *Acide fluorhydrique*, qui attaque le verre du tube au-dessus de la substance en lui donnant l'aspect du verre dépoli.

k] *Chlore, Brome, Iode*. Les vapeurs de chlore, de brome et d'iode sont décelées par leur odeur et

leur couleur respectivement jaune verdâtre, brun rouge, violette. L'iode, lorsqu'il n'y en a pas en trop petite quantité, se condense sur les parties froides du tube sous forme de sublimé gris noirâtre.

**11 — [3] Il se forme un sublimé.**

A]. — LE SUBLIMÉ EST BLANC.

a] *Sels ammoniacaux*. Le sublimé recueilli sur les parois du tube est placé sur une petite lame de platine et on le chauffe avec un peu de soude caustique et une goutte d'eau. Il se dégage alors de l'ammoniaque (n° 34).

b] *Chlorures de mercure*. Le chlorure mercurieux se sublime avant de fondre, tandis que le chlorure mercurique entre d'abord en fusion. Le sublimé est jaune lorsqu'il est chaud, mais devient blanc par le refroidissement (n°s 42 et 43). L'oxyde de mercure donne des globules de mercure métallique.

c] *Oxyde d'antimoine*. Ce corps fond en un liquide jaune et se sublime en formant des aiguilles cristallisées très brillantes (n° 12).

d] *Acide arsénieux*. Sublimé formé de petits cristaux octaédriques (n° 22).

e] *Acide tellureux*. Se comporte comme l'oxyde d'antimoine, mais exige une température plus élevée; le sublimé obtenu est amorphe.

f] *Acide osmique*. Sublimé en grains blancs, dégageant une odeur caractéristique très piquante et très désagréable.

B]. — LE SUBLIMÉ EST NOIR OU GRIS AVEC ÉCLAT MÉTALLIQUE.

a] *Arsenic métallique, quelques arséniures contenant plus d'un équivalent d'arsenic pour deux équivalents de métal, quelques sulfo-arséniures* (n° 73). Il se forme le miroir bien connu; si on coupe le tube au-dessous de l'anneau formé par le sublimé et qu'on le chauffe légèrement, on perçoit facilement l'odeur alliagée caractéristique de l'arsenic.

b] *Mercure, amalgames et quelques sels de mercure*. Le sublimé est formé d'une poussière grise qui, frottée avec un petit fil de cuivre, se réunit en un globule (n° 44).

c] *Quelques alliages de cadmium*.

d] *Tellure*. Le sublimé ne se forme qu'à une température très élevée et est formé de petits globules qui se solidifient en refroidissant.

\*C]. — LE SUBLIMÉ EST COLORÉ.

a] *Soufre et certains sulfures contenant beaucoup de soufre*. — Le sublimé est jaune foncé ou rouge brun lorsqu'il est chaud; en refroidissant il prend la couleur jaune du soufre (n° 71).

b] *Sulfure d'antimoine seul ou en combinaison avec d'autres sulfures.* Le sublimé ne se forme qu'à très haute température et se dépose tout près de l'essai ; il est noir à chaud et rouge brun à froid (n° 70).

c] *Sulfures d'arsenic et quelques sulfo-arséniures.* Le sublimé est rouge brun foncé à chaud et rouge ou jaune rouge à froid (n° 76).

d] *Sulfure de mercure ou Cinabre.* Le sublimé est noir et sans éclat, devenant rouge par le frottement (n° 77).

e] *Sélénium et quelques séléniures.* Le sublimé ne se forme qu'à une température très élevée ; il est de couleur rougeâtre ou noir donnant une poudre rouge foncé ; il dégage une odeur de raifort pourri (n° 83).

Lorsque les réactions qui viennent d'être signalées ne se produisent pas, cela ne suffit pas pour en conclure qu'aucune des substances dont il a été question ne se trouve dans le corps examiné ; le soufre, l'arsenic, le tellure et l'antimoine se rencontrent dans certains composés qui ne présentent pas les caractères indiqués ci-dessus lorsqu'on les chauffe dans le tube fermé.

## II. — LA SUBSTANCE CHANGE D'ASPECT SANS SE VOLATILISER

**12.** — Beaucoup de substances changent seulement d'aspect sans se décomposer lorsqu'on les chauffe dans le tube fermé. On examinera les cas suivants :

### [1]. Changement de couleur.

a] Le corps de blanc devient jaune et redevient blanc par le refroidissement ; *oxyde de zinc* (n° 10).

b] Le corps passe du blanc au jaune brun et devient jaune pâle par le refroidissement ; *oxyde d'étain* (n° 9).

c] Le corps blanc devient jaune rougeâtre et reste jaune par le refroidissement ; il est fusible à la température du rouge ; *oxyde de plomb* (n° 68).

d] La couleur blanche passe au jaune orangé ou au rouge brun et reste jaune à froid ; fusible au rouge vif ; *oxyde de bismuth*.

e] Le corps de rouge devient noir et redevient rouge par le refroidissement, volatil ; *oxyde de mercure*.

f] Le corps passe du rouge au noir et redevient rouge par le refroidissement, non volatil ; *peroxyde de fer* (n° 60).

- [2]. **Fusion** : sels alcalins.  
 [3]. **Carbonisation** : substances organiques.  
 [4]. **Phosphorescence** : terres alcalines, oxydes terreux, oxyde de zinc, oxyde d'étain et quelques minéraux.  
 [5]. **Décrépitation** : chlorures alcalins, galène et quelques minerais.

ESSAI DANS LE TUBE OUVERT

13. — On place dans le tube, à environ 12 millimètres de l'une de ses extrémités, un fragment de la substance à examiner ou, si le corps décrépité, un peu de substance pulvérisée; on incline légèrement le tube, de manière à produire un courant d'air dans son intérieur lorsqu'on viendra à le chauffer, et on chauffe graduellement de manière à produire le grillage de l'échantillon. Certaines substances, qui dans le tube fermé n'éprouvaient aucun changement, donnent dans le tube ouvert un sublimé ou dégagent des gaz. Il est indispensable de chauffer graduellement, sans quoi certaines substances pourraient se volatiliser avant d'être oxydées.

Le courant d'air qui traverse le tube peut être augmenté ou diminué à volonté en inclinant le tube plus ou moins.

L'essai dans le tube ouvert permet de déceler les substances suivantes :

14. — *Soufre*. Il se dégage de l'acide sulfureux facile à reconnaître à son odeur et à son action sur le papier de tournesol humide (n° 71).

15. — *Arsenic*. Il se forme un sublimé très volatil d'acide arsénieux formé de très petits cristaux octaédriques. En chauffant très légèrement ce sublimé, on peut le faire passer d'une partie du tube sur une autre (n° 73).

16. — *Antimoine*. Il se produit des fumées blanches qui en partie se dégagent et en partie se condensent sur la partie la plus élevée du tube. Ce sublimé est une poudre blanche qui peut être volatilisée par la chaleur si elle est formée d'oxyde d'antimoine. Dans plusieurs cas, toutefois, l'oxydation est plus complète et il se forme du tetroxyde d'antimoine, poudre blanche non volatile (n° 1).

17. — *Bismuth*. Lorsque le bismuth n'est pas combiné avec le soufre, il est transformé en oxyde brun fusible, qui par le refroidissement devient jaune pâle (n° 2).

*Mercure et Amalgames*. Ces substances produisent un sublimé de mercure métallique en très petits globules (n° 44).

18. — *Tellure et Tellurures.* Le corps est oxydé et il se forme de l'acide tellureux qui se condense dans la partie supérieure du tube sous forme de poudre blanche non volatile. En chauffant ce sublimé, il fond en gouttes incolores, ce qui le distingue du sublimé d'antimoine.

19. — *Sélénium et Séléniures.* Il se produit l'odeur caractéristique de raifort pourri et il se forme tout près de l'échantillon un sublimé gris d'acier qui devient ensuite rouge (n° 83).

ESSAI DE LA SUBSTANCE SUR LE CHARBON OU  
SUR LA PLAQUE D'ALUMINIUM

20. — La substance à examiner est placée dans une petite cavité pratiquée à une des extrémités du morceau de charbon que l'on tient légèrement incliné de manière que, la flamme du chalumeau étant dirigée sur elle, l'enduit qui peut se former se dépose sur le charbon. Si la substance est en poudre ou si elle décrépète, on l'humecte avec un peu d'eau pour pouvoir la placer dans la cavité. On peut aussi fondre dans la cavité un peu de borax et y placer le fragment de substance ou la poudre pendant que le borax est encore en fusion.

On soumet le corps successivement à l'action de la flamme d'oxydation et de la flamme de réduction et on observe s'il se produit un des phénomènes suivants : fusion, décrépitation, déflagration, boursoufflement, odeur, coloration de la flamme et principalement formation d'un enduit ou réduction à l'état métallique.

Si l'on se sert d'une plaque d'aluminium à la place de charbon, l'essai est placé sur le rebord étroit près de l'angle et on le chauffe à la flamme d'oxydation que l'on incline un peu plus que lorsqu'on emploie le charbon, sa pointe se trouvant à 1 ou 2 centimètres de la substance. C'est une précaution essentielle à prendre ; sans cela, certains enduits pourraient être réduits avant qu'on n'ait pu les observer. On commence par souffler doucement et augmente ensuite graduellement le jet jusqu'à ce que l'enduit cesse d'augmenter. Après examen de l'enduit formé, on recommence l'essai en se servant de charbon comme support. Si l'on n'obtient pas d'enduit, on chauffe l'essai à la flamme de réduction, d'abord seul, puis après l'avoir mélangé avec du carbonate de sodium.

Chaque fois qu'on obtient un enduit, on l'essaye d'abord en le chauffant avec une flamme peroxy-

dante, puis avec la flamme de réduction. On obtient une flamme peroxydante en amenant une bonne flamme oxydante à la distance de 3 à 4 centimètres de l'enduit; on a une bonne flamme de réduction en amenant la pointe de la partie bleue de la flamme contre la plaque. La flamme doit être très nette de manière à ne pas déposer de suie qui pourrait produire une action réductrice; on reconnaît facilement les taches de suie à ce qu'elles disparaissent immédiatement dans la flamme d'oxydation.

Les enduits sont obtenus en couches plus épaisses sur la plaque d'aluminium que sur le charbon, d'abord parce que le rebord vertical arrête plus facilement les vapeurs métalliques et ensuite parce que la plaque ne chauffe pas autant que le charbon dans la partie avoisinant l'essai. De plus, par suite de la couleur grise de la plaque, les enduits bruns ou noirs se distinguent facilement, tandis que sur le charbon ils passent inaperçus. Comme la plaque d'aluminium finit par devenir très chaude, il est nécessaire de la tenir à l'aide de pinces ou d'un support spécial.

**21.** — [1] **Fusion.** — Les sels alcalins fondent facilement ainsi que quelques sels alcalino-terreux. Après avoir chauffé énergiquement, le résidu a une

réaction alcaline. Quelques-uns sont volatils et forment un enduit sur le charbon. (Voir § 40.)

Les substances suivantes sont infusibles et ne colorent pas la flamme : composés terreux et alcalino-terreux, silice et la plupart des silicates. Les sels terreux et alcalino-terreux donnent une lumière blanche lorsqu'on les chauffe et doivent être essayés avec la solution de cobalt (§ 61).

Lorsque la substance est infusible et change de couleur, cela indique les substances suivantes : oxyde de zinc, oxyde d'étain, bioxyde de titane, pentoxyde de niobium, pentoxyde de tantale, acide tungstique. Ces corps prennent temporairement une couleur jaune.

Parmi les métaux, l'antimoine, le plomb, le cadmium, l'indium, le tellure, le thallium, le bismuth, le zinc et l'étain fondent facilement; le cuivre, l'or et l'argent sont plus difficiles à fondre; enfin le fer, l'iridium, le cobalt, le molybdène, le nickel, le platine, l'osmium, le palladium, le rhodium et le tungstène sont infusibles.

[2] **Décrépitation :** Sel marin et autres sels haloïdes; substances contenant de l'eau interposée entre les cristaux et aussi certains minerais.

[3] **Déflagration :** Azotates, chlorates, iodates et bromates.

[4] **Boursofflement** : Indique des substances contenant de l'eau et aussi les borates et l'alun.

[5] **Odeur** : L'odeur d'acide sulfureux indique un sulfure ; une odeur alliagée, l'arsenic, et l'odeur de raifort pourri, le sélénium.

22. — [6] **Coloration de la flamme**. — Quelques substances ont la propriété de donner à la flamme une coloration caractéristique que l'on observe beaucoup mieux avec le fil de platine ou avec les pinces à bouts de platine qu'avec le charbon. (Voir § 42.)

Les principales colorations que l'on observe sont les suivantes :

Jaune :	sels de sodium.	
Rouge :	lithium.....	rouge carmin.
	strontium.....	écarlate.
	calcium.....	rouge jaunâtre
	cuivre.....	vert émeraude.
Vert :	baryum.....	vert jaunâtre.
	acide borique.....	vert.
	acide phosphorique	vert bleuâtre.
	acide molybdique..	vert jaunâtre.
	sélénium.....	bleu barbeau.
Bleu :	arsenic.....	bleuâtre.
	plomb.....	bleu pâle.
	chlorure de cuivre	bleu d'azur puis vert
Violet :	potassium.	

23. — [7] **Réduction du métal et formation d'un enduit**. — Beaucoup d'oxydes métalliques sont réduits lorsqu'on les chauffe sur le charbon ; quelques-uns sont volatilisés partiellement, tandis que d'autres le sont très rapidement sans qu'il reste aucune trace de métal. Ces vapeurs se condensent sur les parties froides du charbon en formant un enduit qui donne des indications très importantes sur la nature de la substance soumise à l'essai. Il faut avoir la précaution de ne pas confondre avec un enduit la cendre produite par le charbon partout où la flamme a agi.

La plupart des oxydes métalliques peuvent être réduits par l'action seule de la flamme réductrice ; quelques-uns, toutefois, ne sont réduits qu'avec la plus grande difficulté ou même pas du tout. A cette dernière catégorie appartiennent les oxydes de cuivre, de cobalt, de nickel et de fer ; si on les mélange avec du carbonate de sodium ou avec du cyanure de potassium ou encore avec de l'oxalate de potassium, et qu'on soumette le mélange à l'action de la flamme réductrice, on réduit facilement ces oxydes. L'emploi de ces réactifs n'a aucune action sur la formation des enduits.

En opérant comme il vient d'être dit, on peut obtenir :

A]. — UNE RÉDUCTION MÉTALLIQUE SANS ENDUIT.

24. — L'or, l'argent et le cuivre donnent un grain métallique malléable et brillant. Le molybdène, le tungstène, le platine, le palladium, l'iridium, le rhodium, le fer, le nickel et le cobalt donnent une poudre grise infusible qui, pour les trois derniers métaux, est magnétique.

Pour séparer le métal réduit, le fragment de charbon où se trouve l'essai est détaché ; on l'humecte avec un peu d'eau et on le broie dans un petit mortier d'agate ; puis on élimine les parcelles de charbon par lévigation. Les métaux malléables restent alors sous forme de paillettes brillantes et les métaux cassants sous forme de poudre métallique. L'argent, l'or et le cuivre se distinguent par leur couleur blanche, jaune ou rouge ; les autres métaux se reconnaissent en les traitant par le borax et le sel de phosphore.

B]. — UNE RÉDUCTION MÉTALLIQUE AVEC ENDUIT.

25. — *Antimoine*. Fond facilement et produit sur le charbon un enduit blanc d'oxyde qui se trouve tout près de l'essai. L'enduit peut être amené d'une place à une autre par la flamme d'oxydation, mais il devient noir et, par suite, disparaît entièrement sous l'action de la flamme

réductrice qui prend alors une légère coloration verte. Si on fond l'antimoine métallique et qu'on le chauffe à la température du rouge, il brûle rapidement en donnant naissance à d'épaisses fumées blanches qui se condensent en partie sous forme de grains blancs ayant l'éclat d'une perle. Si on fait tomber cette perle chaude sur une feuille de papier blanc, elle se divise en un grand nombre de petits fragments qui sautillent en formant des séries de lignes pointillées (n° 1).

Quand on opère avec la plaque d'aluminium, l'enduit prend près de l'essai une couleur jaune ; un peu plus loin, il devient blanc pour prendre au delà une teinte blanc bleuâtre. La plupart des minerais d'antimoine présentent ces caractères. La flamme peroxydante noircit momentanément la couleur jaune de l'enduit, tandis que la flamme de réduction le blanchit complètement.

26. — *Bismuth*. Fond facilement dans les deux flammes et donne un enduit jaune orangé à chaud qui devient jaune citron lorsqu'il est froid.

L'enduit est souvent entouré d'un anneau blanc jaunâtre de carbonate de bismuth. L'enduit n'est pas aussi près de l'essai qu'avec l'antimoine ; on peut le faire changer de place avec les deux

flammes, mais il se différencie de l'enduit d'antimoine et de plomb par ce fait qu'il ne colore pas la flamme de réduction. Les grains métalliques obtenus sont blanc rougeâtre, brillants et très oxydables (n° 2).

En le chauffant sur la plaque d'aluminium, l'enduit est imperceptible ou même nul, mais en employant le petit support de charbon il est facilement obtenu tout près de l'essai avec une couleur jaune, qui passe à l'orangé et puis au brun. Un enduit jaune se forme également sur le rebord de la plaque. La flamme peroxydante fonce temporairement les parties jaune et orangé (voir le plomb), tandis que la flamme de réduction les blanchit.

**27. — Plomb.** Facilement fusible, forme sur le charbon avec les deux flammes un enduit d'oxyde qui est jaune citron à chaud, devenant jaune soufre à froid et entouré d'une auréole blanche de carbonate de plomb. L'enduit est aussi éloigné de l'essai qu'avec le bismuth, il peut être déplacé par les deux flammes, mais la place qu'il occupait devient bleuâtre sous l'action de la flamme de réduction. Les grains métalliques obtenus sont gris, très malléables et facilement oxydables (n° 3).

Sur la plaque d'aluminium, on ne peut obtenir d'enduit qu'en se servant du petit support de charbon comme pour le bismuth. L'enduit est brun café avec un anneau de couleur jaune pâle dont les bords sont blancs. Les parties jaunes et blanches deviennent brunes dans la flamme peroxydante et conservent cette couleur à froid, tandis qu'avec le bismuth la couleur brune disparaît par le refroidissement. Dans la flamme de réduction toutes les parties de l'enduit deviennent noires.

**28. — Étain.** Fond très facilement; chauffé dans la flamme oxydante, il s'oxyde et couvre le charbon autour de l'essai d'une sorte d'enduit jaunâtre à chaud, blanc à froid, qui n'est volatilisé par aucune des deux flammes. Dans la flamme de réduction, le métal fondu reprend son éclat et le bouton métallique obtenu est blanc, malléable et très oxydable (n° 4).

Sur la plaque d'aluminium on obtient un faible enduit en chauffant pendant longtemps sur le support en charbon. La réaction sur ce support est la même que sur le charbon.

**29. — Argent.** L'oxyde d'argent se réduit facilement en donnant un bouton métallique brillant. Si ce bouton est ensuite chauffé pendant longtemps dans une forte flamme oxydante, il se pro-

duit un enduit rouge foncé (n° 5). Si l'argent contient du plomb ou de l'antimoine, un enduit jaune ou blanc se forme avant l'enduit rouge foncé; lorsque le plomb et l'antimoine s'y trouvent en même temps, l'enduit a une couleur rose vif.

Sur la plaque d'aluminium, on obtient un enduit brun dont le rebord brillant a une teinte rougeâtre. Au dessous et tout près de la partie incandescente du charbon, il se produit une bande étroite presque blanche avec une faible teinte rose. La flamme peroxydante donne à toutes les parties de l'enduit une teinte plus sombre, tandis que la flamme de réduction produit un cercle blanc présentant l'apparence de l'argent brillant. La manière dont l'argent se comporte sur la plaque d'aluminium n'est pas très caractéristique, car un certain nombre de minerais de ce métal ne donnent lieu à aucune réaction. L'enduit rose vif que l'on obtient lorsque l'argent se trouve en présence de l'antimoine s'obtient cependant très bien sur la plaque d'aluminium; cette réaction est du reste très caractéristique.

**30.** — *Or.* Fond sur le charbon sans donner d'enduit.

Sur la plaque d'aluminium on obtient un enduit,

mais il faut chauffer pendant longtemps en se servant du support en charbon. L'or est alors volatilisé et tout près du charbon, sur la plaque, on voit une légère pellicule jaune d'or en dehors et tout autour de laquelle se trouvent de petites taches d'or entraînées mécaniquement.

**31.** — *Thallium.* L'essai fond facilement et donne un enduit d'oxyde blanc qui s'étend sous l'action d'une flamme peu forte; au contact de la flamme, l'enduit prend une coloration verte et l'oxyde disparaît. La perle fondue colore également la flamme en vert et reste fluide assez longtemps après qu'elle a été soustraite à l'action de la flamme; il se produit quelquefois un enduit brun tout autour de l'essai.

Sur la plaque d'aluminium, il se produit d'abord un enduit blanc assez considérable qui, à mesure que la température de la plaque augmente, devient brunâtre. Dans la flamme peroxydante, cet enduit blanc passe immédiatement au rouge brun. Ce changement de couleur est beaucoup plus rapide à obtenir qu'avec le plomb et la coloration obtenue est bien différente. Dans la flamme de réduction toutes les parties deviennent noires et dans les parties les plus épaisses de petites perles noires peuvent être vues à l'aide d'une loupe.

**32.** — *Indium*. L'essai fond facilement et est entouré d'un enduit qui est jaune foncé à chaud et jaune clair à froid. Cet enduit est chassé avec difficulté par la flamme de réduction qui prend une coloration bleu violette.

**33.** — *Germanium*. L'essai fond facilement sur le charbon en produisant une perle qui se meut rapidement pendant tout le temps qu'elle reste dans la flamme ; il se dégage des fumées blanches qui donnent un enduit blanc. Si on fait tomber la perle chaude sur une feuille de papier, elle se divise en un grand nombre de petites perles qui sautent comme cela se produit avec l'antimoine ; mais ce phénomène cesse plus tôt, parce que le point de fusion du germanium est beaucoup plus élevé que celui de l'antimoine. L'oxyde de germanium peut être réduit sur le charbon avec la flamme de réduction, mais avec une certaine difficulté, et il se forme en même temps un enduit blanc. On doit éviter l'emploi d'un flux alcalin (Winkler).

C]. — ON OBTIENT UN ENDUIT SEUL.

**34.** — *Arsenic*. L'arsenic se volatilise sans fusion préalable et en développant l'odeur alliagée qui le caractérise ; à une certaine distance de l'essai, le charbon se recouvre d'un enduit qui

disparaît sous l'action des deux flammes. Cet enduit volatil donne à la flamme une coloration d'un bleu clair (n° 6).

Sur la plaque d'aluminium sans support de charbon, on obtient un enduit blanc et il se produit une tache noire à l'endroit où était déposé l'essai. Avec le support de charbon, lorsque l'essai contient beaucoup d'arsenic, une grande partie de l'enduit est de couleur gris noir et de larges taches noires se produisent autour du support sur la plaque. Sous l'action de la flamme peroxydante, la partie blanche de l'enduit reste sans changement, mais se volatilise rapidement dès que la plaque s'échauffe ; les parties grises et noires blanchissent et se volatilisent partiellement, mais les taches noires restent. La flamme de réduction volatilise rapidement l'enduit et l'odeur caractéristique de l'arsenic se perçoit facilement.

**35.** — *Zinc*. Le zinc fond facilement et brûle dans la flamme d'oxydation avec une flamme éclatante blanc verdâtre ; d'épaisses vapeurs blanches se dégagent et se condensent en partie sur le charbon. Cet enduit est de l'oxyde de zinc, qui est jaune à chaud et devient blanc lorsqu'il est froid. Cet enduit devient très brillant dans la flamme d'oxydation, mais ne disparaît pas (n° 7).

Sur la plaque d'aluminium sans support de charbon, on n'obtient presque jamais d'enduit. En employant le support de charbon, on obtient une légère pellicule noire, au moment où le métal va commencer à brûler, pellicule qui devient blanche aussitôt la combustion commencée. Les flammes d'oxydation et de réduction n'ont aucune action sur cet enduit. Les minerais contenant du zinc ne donnent pas d'enduit noir.

**36.** — *Cadmium*. Fond facilement et brûle dans la flamme d'oxydation en donnant naissance à un oxyde brun apparaissant sous forme de vapeurs brunes et produisant un enduit pendant que la flamme prend une coloration jaune foncé. Cet enduit très caractéristique est rouge brun lorsqu'il est refroidi et jaune orangé dans les endroits où la couche est très mince. Les deux flammes le volatilisent facilement sans prendre de coloration. Cet enduit est aussi caractérisé par ses bords irisés (n° 8).

Sur la plaque d'aluminium, on obtient un enduit brun foncé, presque noir, qui n'est affecté ni par la flamme de réduction ni par la flamme d'oxydation. A côté du support de charbon, il se dépose ordinairement un très léger dépôt d'oxyde rouge brun.

**37.** — *Sélénium*. Facilement fusible avec dégagement de vapeurs brunes; un enduit gris d'acier ayant un faible éclat métallique se dépose tout près de l'essai. Cet enduit disparaît dans la flamme de réduction en dégageant une forte odeur de raifort pourri et en donnant à la flamme une faible coloration bleue (n° 83).

Sur la plaque d'aluminium, avec ou sans support de charbon, il se dépose un enduit rouge bordé d'une pellicule brune et blanche. La flamme peroxydante blanchit les parties rouge et brune, tandis que la flamme réductrice donne à tout l'enduit une couleur brun foncé.

**38.** — *Tellure*. Il fond très facilement et produit sur le charbon, avec les deux flammes, un dépôt d'anhydride tellureux. Cet enduit se dépose tout près de l'essai, a une couleur blanche et les bords sont rougeâtres ou jaune foncé; il disparaît dans la flamme de réduction qui se colore alors en vert.

Sur la plaque d'aluminium, avec ou sans support de charbon, il se forme tout près de l'essai un fort enduit de couleur noirâtre qui prend une coloration brune dans les parties qui sont les moins épaisses. Lorsque cet enduit est épais, il suffit de le chauffer très peu de temps dans la flamme, et

surtout dans la flamme peroxydante pour qu'il se produise un dépôt blanc d'anhydride tellureux. La flamme de réduction noircit en entier l'enduit formé; en soufflant plus longtemps, l'enduit disparaît, là où agit la flamme, et cette dernière prend une coloration verte.

**39.** — *Molybdène.* Ce métal donne une poudre grise infusible qui s'oxyde en partie dans la flamme extérieure en donnant un enduit cristallin, jaune à chaud et devenant blanc par le refroidissement. Soumis un instant à l'action de la flamme, cet enduit prend une belle couleur bleu foncé (molybdate de molybdène); si on chauffe plus longtemps, l'enduit devient rouge cuivre foncé et prend l'éclat métallique (bioxyde de molybdène) (n° 79).

Sur la plaque d'aluminium, l'enduit (que l'on obtient beaucoup mieux avec la molybdénite ou avec le molybdate d'ammonium) qui se produit sans le support de charbon est jaune brillant avec des filets blancs. La flamme peroxydante fonce un peu la couleur, tandis que la flamme réductrice, appliquée seulement un instant, produit une belle coloration bleue.

**40.** — *Autres substances.* Indépendamment des corps simples qui viennent d'être énumérés,

il y a d'autres substances qui donnent des enduits de couleur blanche qui, sauf quelques exceptions, peuvent disparaître sous l'action de la flamme oxydante et présentent quelque ressemblance avec ceux qui viennent d'être examinés. Les substances les plus importantes qui appartiennent à cette catégorie sont les suivantes :

1° Les sulfures alcalins, les sulfures de plomb, de bismuth, d'antimoine, de zinc (enduit non volatil), d'étain (enduit non volatil) et les chlorures, bromures et iodures d'ammonium, de mercure et d'antimoine; ces enduits se déposent sur le charbon sans qu'il y ait fusion préalable ou absorption par le support;

2° Les chlorures, bromures, iodures et sulfates alcalins; ils fondent et sont absorbés par le charbon avant de s'évaporer;

3° Les chlorures, bromures et iodures de plomb, d'étain, de bismuth, de zinc et de cadmium qui fondent, mais ne sont pas absorbés par le charbon avant de donner un enduit.

EXAMEN DE LA SUBSTANCE AVEC LE BORAX ET AVEC LE SEL  
DE PHOSPHORE

41. — Beaucoup d'oxydes métalliques possèdent la propriété de se dissoudre dans le borax et dans le sel de phosphore en fusion en donnant à la perle formée une couleur caractéristique. C'est pourquoi ces deux substances constituent des réactifs précieux pour la recherche des oxydes.

Les métaux non oxydés et ceux qui sont combinés avec le soufre, l'arsenic ou l'antimoine ne se comportent pas avec ces réactifs comme les oxydes ; mais ces substances, soumises préalablement à un grillage sur le charbon ou dans le tube ouvert, peuvent être facilement transformées en oxydes avant d'être soumises à l'action de ces deux réactifs. Pendant le grillage, l'essai, finement pulvérisé, ne doit pas être chauffé trop fortement, particulièrement au début de l'opération, ni être fondu, car alors l'oxydation ne pourrait être obtenue qu'avec beaucoup de difficulté.

On emploie généralement comme support un fil de platine qui permet d'examiner plus facilement la couleur de la perle obtenue. Toutefois, on se sert quelquefois de charbon comme support lors-

qu'on opère sur certains oxydes facilement réductibles dont le métal attaque le platine.

Pour obtenir les perles de borax, on fait une petite boucle à l'extrémité d'un fil de platine, on la mouille ou on la chauffe, puis on la plonge dans le borax pulvérisé ; une petite quantité de poudre s'attache à la boucle et on la chauffe dans la flamme extérieure ; le borax fond et forme une perle qui adhère au platine. On répète plusieurs fois l'opération jusqu'à ce que la perle ait atteint une grosseur suffisante.

Les perles de sel de phosphore s'obtiennent d'une manière analogue, mais avec un peu plus de difficulté, car ce réactif se boursoufle jusqu'à ce qu'il ait perdu son eau de cristallisation et son ammoniaque et les perles se détachent souvent du support. On prend une très petite quantité de sel à la fois et on attend qu'elle soit fondue sur le charbon avant d'en ajouter d'autre ; une fois la perle bien fondue sur le charbon, on la prend avec le fil de platine en amenant la boucle au contact.

Pour prendre l'essai, il suffit d'humecter la perle ou de toucher la substance avec elle lorsqu'elle est encore chaude.

On place la perle avec la matière à essayer

d'abord dans la flamme d'oxydation et l'on examine soigneusement si la substance se dissout facilement ou avec difficulté, si la dissolution se fait doucement ou avec effervescence, si la perle est transparente ou opaque, enfin si la perle se colore. Les changements qui peuvent parfois se produire pendant que l'on chauffe doivent être soigneusement observés.

Cette première opération terminée, la perle est chauffée dans la flamme de réduction et les phénomènes observés doivent être comparés à ceux qui ont été primitivement obtenus. L'addition à la perle d'un peu d'oxyde ou de chlorure d'étain, ou bien d'un fragment de paillon d'étain (cette dernière opération doit se faire sur le charbon) augmente très sensiblement l'action réductrice de la flamme.

Afin de pouvoir examiner la coloration, lorsque la substance à essayer colore la perle d'une façon très intense, la perle encore chaude est aplatie avec une pince ; on peut aussi faire une boucle circulaire sur le fil de platine de manière à obtenir une perle ayant la forme d'une lentille. On peut également faire tomber la perle encore chaude dans un mortier de porcelaine où on la brise et, après avoir fondu une nouvelle perle de réactif,

prendre un fragment de la perle primitive et chauffer le tout ; pour détacher la perle de son support, on frappe sur la table avec le poing en ayant soin de tenir la boucle du fil au-dessus du mortier.

*Flambage.* — Dans beaucoup de cas, lorsqu'une perle transparente est chauffée par intervalles dans la flamme ou est, à plusieurs reprises, retirée de la flamme, on obtient des effets particuliers. Cette opération a reçu le nom de flambage. Des perles transparentes deviennent fréquemment opaques ou laiteuses et souvent se colorent. Ce phénomène est produit par ce fait que certaines substances, qui se dissolvent dans le réactif à une haute température, se séparent lorsqu'on les soumet à une chaleur moins forte et apparaissent alors sous forme de cristaux suffisamment bien formés, dans certains cas, pour être visibles au microscope, lorsque la perle a été aplatie pendant qu'elle était encore chaude ou lorsqu'on l'a dissoute dans un acide étendu de manière à isoler les cristaux.

Les tableaux ci-après indiquent la manière dont se comportent les divers oxydes métalliques avec le borax et le sel de phosphore. Ils ont été établis d'après la couleur que présente la perle à chaud dans la flamme d'oxydation, la coloration de la

perle à froid après l'action de la flamme d'oxydation; les colorations obtenues avec la flamme de réduction sont également données sur la même ligne. Il est à remarquer que les perles obtenues avec le sel de phosphore sont souvent beaucoup plus belles et plus nettement colorées que celles que donne le borax; quelquefois aussi leur coloration est différente.

Les colorations que les oxydes métalliques donnent avec ces réactifs sont également données dans les troisième et quatrième colonnes du tableau pages 235 à 282, tableau dans lequel les métaux sont disposés suivant l'ordre alphabétique.

## COLORATION DES PERLES DE BORAX

NOM des SUBSTANCES	DANS LA FLAMME D'OXIDATION		DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION	
	à chaud	à froid	à chaud	à froid
Silice.	incoloré.	incoloré.	incoloré.	incoloré.
Alumine.	»	»	»	»
Oxyde d'étain.	»	»	»	»
Oxyde d'argent.	»	incoloré; opaque par flambage.	grise; devient in- colore lorsqu'on continue à chauf- fer.	grise; devient in- colore en conti- nuant à chauffer.
Anhydride tellu- reux.	»	»	»	»
Baryte.	»	»	incoloré.	incoloré; opaque par flambage.
Strontiane.	»	»	»	»
Chaux.	»	»	»	»
Magnésie.	»	»	»	»
Glucine.	»	»	»	»
Yttria.	»	»	»	»
Zircone.	»	»	»	»
Thorine.	»	»	»	»
Oxyde de lanthane.	»	»	»	»
Anhydride tanta- lique.	»	»	»	»

## COLORATION DES PERLES DE BORAX (suite et fin)

DANS LA FLAMME D'OXYDATION		DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION		NOM des SUBSTANCES
à chaud	à froid	à chaud	à froid	
»	incoloré.	perle saturée rouge rose.	perle saturée rouge rose.	Oxyde de didyme.
»	incoloré ; opaque par flambage.	incoloré ; perle saturée grise.	incoloré ; perle saturée grise.	Anhydride niobique.
»	incoloré ; perle saturée jaune.	variant du jaune au brun.	variant du jaune au brun ; perle saturée par flambage, bleue.	Anhydride titannique.
»	incoloré ; perle saturée blanc d'émail.	jaune.	brun jaune.	Anhydride tungstique.
»	jaunâtre.	»	grise ; devient incolore en continuant à chauffer.	Oxyde de zinc.
»	»	»	»	Oxyde de cadmium.
»	incoloré.	»	»	Oxyde d'antimoine.
»	incoloré ; opaque par flambage.	»	»	Oxyde de plomb.
»	incoloré ; perle saturée jaune et opalescente.	»	»	Oxyde de bismuth.

»	jaune verdâtre.	brunâtre.	vert émeraude.	Anhydride vanadique.
»	variant de l'incoloré au jaune.	verte.	vert bouteille.	Oxyde de fer.
»	variant de l'incoloré au jaune ; ressemblant à l'émail par flambage.	»	vert bouteille ; perle saturée par flambage noire.	Oxyde d'urane.
»	»	incoloré.	incoloré ; perle saturée blanc d'émail.	Oxyde de cérium.
»	variant de l'incoloré à l'opalescence.	brune.	brun opaque <sup>1</sup> .	Anhydride molybdique.
»	vert pré.	verte.	vert émeraude.	Oxyde de chrome.
»	rouge brun.	grise ; devient incolore en continuant à chauffer.	grise ; devient incolore en continuant à chauffer.	Oxyde de nickel.
»	violette.	incoloré.	incoloré.	Oxyde de manganèse.
»	violette ; perle saturée noire.	bleue.	bleue.	Oxyde de cobalt.
»	bleue.	bleu verdâtre.	brune ; devient rouge en continuant à chauffer.	Oxyde de cuivre.
»	verte.	incoloré.	incoloré.	

<sup>1</sup> Dans une forte flamme de réduction, on aperçoit au milieu de la perle jaune des particules noires d'oxyde de molybdène.

## COLORATION DES PERLES DE SEL DE PHOSPHORE

DANS LA FLAMME D'OXYDATION		DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION		NOM des SUBSTANCES
à chaud	à froid	à chaud	à froid	
Squelette de silice.	Squelette de silice.	Squelette de silice.	Squelette de silice.	Silice.
incolore.	incolore.	incolore.	incolore.	Alumine.
»	»	»	»	Oxyde d'étain.
»	»	»	»	Baryte.
»	»	»	»	Strontiane.
»	»	»	»	Chaux.
»	»	»	»	Magnésie.
»	»	»	»	Glucine.
»	»	»	»	Ytria.
»	»	»	»	Zircone.
»	»	»	»	Thorine.
»	»	»	»	Oxyde de lanthane.
»	incolore.	»	violette en continuant à chauffer.	Oxyde de didyme.

»	incolore ; opaque par flambage.	grise ; devenant incolore en continuant à chauffer.	Anhydride tellureux.
»	incolore ; perle saturée blanc laiteux.	»	Oxyde de zinc.
»	»	»	Oxyde de cadmium.
»	»	»	Oxyde de plomb.
»	»	»	Oxyde d'antimoine.
»	»	»	Oxyde de bismuth.
»	incolore.	incolore.	Oxyde de tantale.
»	»	bleue <sup>1</sup> .	Anhydride tungstique.
»	»	violette <sup>1</sup> .	Anhydride titanique.
»	jaune ; perle saturée opalescente.	bleue ou brune <sup>1</sup> .	Anhydride niobique.
»	vert jaunâtre.	grise devenant incolore en continuant à chauffer.	Oxyde d'argent.
»	»	vert sale.	Oxyde d'uran.

<sup>1</sup> Devient rouge sang par addition de fer.

COLORATION DES PERLES DE SEL DE PHOSPHORE (suite et fin)

DANS LA FLAMME D'OXIDATION		DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION		NOM des SUBSTANCES
à chaud	à froid	à chaud	à froid	
jaune foncé.	jaune clair.	brunâtre.	vert émeraude.	Anhydride vanadique.
variant du jaune au rouge.	variant de l'incoloré au vert.   lore au jaune ou brun.	variant du jaune au rouge.	variant de l'incoloré au rouge.	Oxyde de fer.
variant du jaune au rouge.	incoloré.	incoloré.	incoloré.	Oxyde de cérium.
variant du rouge au brun.	variant du jaune au rouge rougeâtre.	rougeâtre.	jaune.	Oxyde de nickel.
rougeâtre.	vert sale.   vert émeraude.	»	verte.	Oxyde de chrome.
violette.	violette.	incoloré.	incoloré.	Oxyde de manganèse.
bleue.	bleue.	bleue.	bleue.	Oxyde de cobalt.
verte.	»	vert foncé.	rouge brunâtre (sale).	Oxyde de cuivre.
»	vert jaune pâle presque incoloré.	vert sale.	vert pur.	Anhydride molybdique.

## EXAMEN DE LA COLORATION DE LA FLAMME

42. — Plusieurs substances, principalement les alcalis et les terres alcalines, sont faciles à reconnaître par la couleur caractéristique qu'elles communiquent à une flamme non lumineuse comme celle d'un bec Bunsen. Les divers sels d'un même élément colorant la flamme donnent à la flamme une même couleur, mais l'intensité de cette coloration varie avec la volatilité du sel. Les chlorures surtout produisent une coloration bien nette; c'est pourquoi les substances que l'on a à examiner de cette manière sont humectées avec de l'acide chlorhydrique ou sont traitées avec du chlorure d'argent avant d'être soumises à l'action de la flamme.

Pour effectuer cet essai, on peut se servir de la partie bleue de la flamme du chalumeau ou, ce qui est plus commode, de la flamme non éclairante d'un bec Bunsen pourvu d'une cheminée conique. La substance à essayer est tenue à l'aide d'une pince de platine ou encore à l'aide d'une boucle de fil de platine que l'on place dans la flamme; lorsque la substance à essayer est liquide, on fait usage d'une boucle aplatie de fil de platine.

Les colorations de la flamme sont bien plus faciles à voir lorsqu'on se place devant un fond sombre et dans une chambre complètement à l'abri de la lumière solaire et de toute autre source de lumière.

Lorsque plusieurs substances colorant différemment la flamme se trouvent ensemble, la flamme prend une couleur intermédiaire; il peut encore arriver que la coloration due à une des substances en présence domine les autres; par exemple, si des composés du potassium et du sodium se trouvent mélangés, la coloration violette du potassium ne se verra point, la couleur jaune du sodium seule apparaîtra. Pour rechercher les éléments en pareil cas, on applique les méthodes indiquées dans les paragraphes 43 et 44.

Les colorations produites par les diverses substances à l'état pur sont données ci-après :

#### COLORATION ROUGE

*Lithium* : rouge carmin. Les sels de sodium masquent la réaction.

*Strontium* : rouge écarlate<sup>1</sup>. Les sels de baryum mas-

*Calcium* : rouge jaunâtre<sup>1</sup>. } quent la réaction.

<sup>1</sup> La coloration est beaucoup plus nette si on humecte l'essai avec de l'acide chlorhydrique.

#### COLORATION JAUNE

*Sodium* : jaune.

#### COLORATION VERTE

*Oxyde de cuivre* : vert émeraude; bleue si on humecte l'essai avec de l'acide chlorhydrique.

*Thallium* : vert pré.

*Acide phosphorique* : vert bleuâtre. Les sels de ces acides donnent la même coloration lorsqu'on les humecte d'acide

*Acide borique* : vert jaunâtre (vert pinson). } sulfurique.

*Sels de baryum* : vert jaunâtre, principalement lorsqu'on a mouillé l'essai d'acide chlorhydrique.

*Acide molybdique* : vert jaunâtre pâle.

*Anhydride tellureux* : vert avec dégagement de vapeurs.

*Antimoine* : vert pré.

*Acide azotique* : vert bronze, disparaissant rapidement.

#### COLORATION BLEUE

*Chlorure de cuivre* : bleu d'azur, puis verte.

*Indium* : bleu indigo.

*Sélénium* : bleu barbeau, accompagnée de l'odeur de raifort pourri.

*Arsenic* : bleuâtre.

*Plomb* : bleue.

## COLORATION VIOLETTE

*Potassium* : violet rouge. Les sels de sodium et de lithium masquent la réaction.

*Cæsium* : } même coloration que le potassium.  
*Rubidium* : }

43. — EMPLOI DU SPECTROSCOPE. — Pour rechercher les divers éléments qui colorent la flamme lorsqu'il y en a plusieurs ensemble, il est bien plus facile et plus sûr de faire usage du spectroscope. En observant la flamme colorée dans le spectroscope, on observe des lignes brillantes colorées. La flamme colorée dont les rayons sont réfractés par un prisme donne un spectre particulier pour chaque substance. Ces lignes brillantes que l'on remarque dans le spectre varient de couleur et de place et aussi par la manière dont elles sont groupées pour chacun des éléments; ces différences caractéristiques constituent la base de la méthode d'analyse la plus précise et la plus sensible, méthode à laquelle on a donné le nom d'analyse spectrale.

Pour les essais au chalumeau, un spectroscope portatif à vision directe, tel que celui de Browning, est suffisant. Les instruments plus précis sont

munis d'une échelle et aussi d'un prisme de comparaison qui permet, lorsqu'on observe le spectre donné par une substance inconnue, d'observer simultanément celui d'une substance connue et, par suite, de les comparer.

Comme les spectres obtenus avec des spectroscopes différents varient d'après le nombre de prismes que contiennent ces appareils et aussi d'après la grandeur de l'angle de réfraction, les positions relatives des différentes lignes varient également. Il s'ensuit que les lectures sur l'échelle faites par des observateurs différents ne sont pas comparables entre elles. C'est pourquoi les lectures de l'échelle doivent être réduites en longueur d'onde, ce qui se fait aisément à l'aide d'une courbe d'interpolation. La courbe est tracée sur du papier quadrillé en inscrivant au point de départ de l'échelle (ordonnées) sur une ligne verticale les divisions de 390 à 800 (millionièmes de millimètre pour les longueurs d'onde) et en inscrivant sur une ligne horizontale (abscisses) les divisions de l'échelle de l'instrument que l'on emploie. On observe alors exactement dans le spectroscope la position précise de certaines lignes, par exemple les raies C, D, E, *b*, F, G, de Fraunhofer et celles du lithium et du thallium; les

nombre ainsi obtenus sont rapportés sur l'échelle horizontale et l'on tire des lignes verticales jusqu'à l'intersection des lignes horizontales qui correspondent à la longueur d'onde bien connue de chacune des raies observées : les points d'intersection permettent de tracer facilement la courbe au moyen de laquelle la longueur d'onde de chaque lecture faite sur l'échelle de l'instrument sera aisément déterminée. Pour cela, il suffit de tirer une ligne verticale à partir du point qui correspond sur la ligne des abscisses à la division lue sur l'échelle et allant jusqu'à la rencontre de la courbe; cela fait, on tire une ligne allant du point d'intersection jusqu'à l'axe des ordonnées et l'on a la longueur d'onde correspondante. Les raies suivantes avec l'indication de leur longueur d'onde permettront de construire cette courbe d'interpolation.

A = 760,7	E = 527,0	H = 396,9
B = 687,0	b = 517,3	Lithium = 670,8
C = 656,3	F = 486,0	Thallium = 535,1
D = 589,6	G = 430,8	

Dans la table ci-après, on a donné les longueurs d'onde des lignes du spectre obtenues en chauffant les chlorures dans la flamme du bec Bunsen (1).

(1) Voir GUÉRIN, *Traité pratique d'Analyse chimique*. Planche IV, page 196.

Les nombres en caractères gras sont ceux qui se rapportent aux raies principales qui apparaissent les premières. Les lettres grecques indiquent l'ordre dans lequel les diverses raies doivent être considérées comme caractéristiques.

RAIES DU SPECTRE DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS QUI COLORENT LA FLAMME

Éléments	Raies violettes	Raies blanches	Raies vertes	Raies jaunes	Raies orangées	Raies rouges
Na				589		767 <sub>a</sub>
K	404 <sub>β</sub>					671 <sub>α</sub>
Li					610 <sub>β</sub>	672, 697
Cs		456 <sub>α</sub> , 459 <sub>β</sub>	564	566, 585	601, 621 <sub>γ</sub>	780 <sub>γ</sub> , 728 <sub>δ</sub>
Rb	420 <sub>α</sub> , 422 <sub>β</sub>		{ 512, 518, 520 } { 524, 536, 542 }	567, 571	620, 629 <sub>ε</sub>	624, 630, 645
Ba		487	{ 509 <sub>β</sub> , 522 <sub>α</sub> } { 535 <sub>δ</sub> , 554 <sub>γ</sub> }	563, 572, 577	603 <sub>ε</sub>	{ 647, 650 <sub>γ</sub> } { 663 <sub>β</sub> , 675 }
Sr		461 <sub>α</sub>			603, 606 <sub>α</sub>	
Ca			553 <sub>β</sub>	570, 580, 592	602, 622 <sub>α</sub>	
Tl			535			
In	401 <sub>β</sub> 417	451 <sub>α</sub>				

Lorsqu'on fait usage d'un spectroscopie sans échelle, les raies de Fraunhofer du spectre solaire servent de point de repère. Il est inutile de faire remarquer que la connaissance parfaite du spectre, quel'on acquiert facilement par des observations répétées, sera plus utile que n'importe quelle description.

Les substances à examiner au spectroscopie doivent être mouillées d'acide chlorhydrique et sont tenues dans la boucle d'un fil de platine que l'on introduit dans la flamme non éclairante d'un bec Bunsen ou dans la partie bleue de la flamme du chalumeau. La lampe à alcool ne donne pas assez de chaleur.

Les silicates qui contiennent seulement une petite quantité d'alcalis doivent être finement pulvérisés et mélangés avec du fluorure d'ammonium; le mélange est ensuite humecté d'acide sulfurique et placé dans la flamme sur le fil de platine.

44. EMPLOI DES VERRES COLORÉS. — Plusieurs éléments colorant la flamme peuvent être successivement décelés sans faire usage du spectroscopie, comme l'a indiqué Merz<sup>(1)</sup>, en employant des verres de couleur et en se basant sur les différences de volatilité des substances à rechercher.

(1) G. Merz, Flammenfärbungen, Journ. prakt. Chemie. Bd. 80, p. 487.

L'emploi des verres de couleur, qui doivent être tenus de manière à ce que les rayons ne puissent arriver à l'œil que par leur intermédiaire, est basé sur ce fait que certains rayons colorés peuvent seuls passer, les autres étant absorbés. Un verre rouge, par exemple, absorbe les rayons de toute couleur à l'exception des rayons rouges ; un verre bleu absorbe certains rayons rouges et verts et éteint complètement la coloration jaune. Ainsi, lorsqu'une flamme est colorée par un mélange de sels de potassium et de sodium, l'emploi d'un verre bleu, absorbant les rayons jaunes du sodium, permettra de distinguer la coloration violette caractéristique des sels de potassium.

Afin de pouvoir observer les réactions successives qui peuvent se produire par suite des différences de volatilité des divers éléments qui entrent dans la composition de la substance à examiner, l'essai est d'abord chauffé dans le bord de la flamme, puis dans la zone extérieure, et enfin dans la partie la plus chaude.

Les trois sortes de réactions suivantes peuvent ainsi être obtenues<sup>1</sup>.

(<sup>1</sup>) La flamme du bec Bunsen doit être employée de préférence pour effectuer ces réactions, car on n'a pas à souffler comme avec le chalumeau, et toute l'attention de l'opérateur peut ainsi se porter

[1] *Bord de la flamme coloré.* — La coloration se produit à l'extérieur de la flamme et seulement sous l'action des substances les plus volatiles. La boucle du fil de platine doit être placée sur le bord de la partie la plus basse de la flamme et parallèlement à son axe, à une distance de 1 à 2 mm.

[2] *Zone extérieure colorée.* — La coloration se produit dans la partie extérieure non éclairante de la flamme. Dans ce cas, la boucle de fil de platine doit être placée horizontalement à environ 1 millimètre de la flamme.

[3] *Flamme colorée.* — La coloration se produit au-dessus de la partie médiane de la flamme. La boucle de platine se place horizontalement dans la partie la plus chaude de la zone extérieure.

Toutes les substances pouvant produire la coloration de la flamme sont rangées en trois catégories d'après leur volatilité :

(I) Certains acides ;

(II) Les alcalis ;

(III) Les terres alcalines, auxquelles on peut également ajouter le cuivre (IV).

sur les réactions qui se produisent. Si l'on n'a pas le gaz à sa disposition, on doit se servir d'un chalumeau porté par un support afin d'avoir les deux mains libres. L'essai est alors tenu d'une main, et le verre de couleur de l'autre.

On peut rechercher ces diverses substances en les plaçant dans la flamme, comme il a été indiqué.

I. — ACIDES

45. — (a) *Acide azotique et acide azoteux* : Ces acides colorent le bord de la flamme en vert bronze avec un liseré orangé. L'essai est d'abord desséché dans la flamme, puis mouillé, soit avec de l'acide chlorhydrique, soit avec une dissolution de bisulfate de potassium, suivant que l'on veut rechercher l'acide azoteux ou l'acide azotique. Les composés de l'ammonium et du cyanogène donnent une réaction identique, mais beaucoup plus faible.

46. — (b) *Acide phosphorique* : Colore le bord de la flamme en vert jaune tirant sur le gris lorsque l'essai a été mouillé d'acide sulfurique. En présence de l'acide borique, l'acide phosphorique ne peut être décelé que par la coloration verte que l'on obtient en chauffant l'essai, préalablement humecté d'une dissolution d'acide hydrofluosilicique, dans la flamme de l'hydrogène. Pour effectuer cet essai, il est nécessaire que l'hydrogène se dégage d'un orifice en platine ; on peut employer le petit tube du chalumeau (n° 27).

47. — (c) *Acide borique* : Belle coloration verte de la zone extérieure, coloration qui est à ce point intense que l'acide borique peut être décelé même lorsqu'il se trouve en présence d'une quantité très notable d'acide phosphorique. Les borates, pour cet essai, doivent être préalablement décomposés par l'acide sulfurique (n° 26).

48. — (d) *Acide molybdique* : Coloration vert jaunâtre de la flamme, semblable à celle que donnent les sels de baryum (n° 79).

49. — (e) *Acide chlorhydrique et chlorures* : Humectées d'acide sulfurique, ces substances donnent une très faible coloration verdâtre à la zone extérieure de la flamme ; cette coloration n'apparaît que pendant un instant très court et généralement échappe à l'observation.

II. — ALCALIS

50. — (a) *Potassium* : Le potassium colore en bleu grisâtre la zone extérieure de la flamme et en violet rose la flamme elle-même. La coloration paraît violette lorsqu'on regarde à travers un verre bleu <sup>1</sup> (recherche en présence du

<sup>1</sup> Cartmell, *Philosophical Magazine*, mai 1858, p. 328.

sodium), violette à travers un verre violet et vert bleuâtre à travers un verre vert. Le potassium est décelé en présence du lithium à l'aide du verre vert ou d'un verre bleu très épais, ou encore en faisant usage du prisme à indigo. La flamme du potassium est visible à travers toute l'épaisseur du prisme, tandis que la flamme du lithium disparaît dès qu'une certaine épaisseur du prisme est interposée. Ce point du prisme est déterminé d'avance à l'aide d'une expérience préparatoire faite avec du chlorure de lithium; toute la partie du prisme située au-delà de ce point repéré laisse passer seulement les rayons colorés du potassium<sup>1</sup>. A la place de la solution d'indigo, Cornwall indique l'emploi d'une dissolution aqueuse de permanganate de potassium qui pourra servir pendant plusieurs mois, à la condition toutefois que le prisme soit tenu toujours bien horizontalement afin que le liquide ne vienne pas au contact du bouchon de liège ou de caoutchouc qui sert à le fermer. Le dépôt brun qui se forme sur le verre au bout d'un certain temps est très facilement enlevé; il suffit de vider le liquide et de laver l'intérieur du prisme avec de l'eau acidulée très

<sup>1</sup> Bunsen, *Ann. Chem. Pharm.*, CXI, p. 267.

fortement par l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique.

L'essai est humecté d'acide sulfurique, séché, puis introduit pendant très peu de temps dans la flamme. Les composés organiques, susceptibles de se carboniser, doivent être préalablement décomposés par la combustion et donnent alors une coloration violette à la flamme; mais les rayons rouges et violets émis par le fil de platine incandescent ne doivent pas être confondus avec la réaction des composés du potassium; dans ce cas particulier, la coloration s'étend depuis l'essai jusqu'à la pointe de la flamme.

51. — (b) *Sodium*: Le sodium communique à la flamme une coloration jaune qui, lorsque le sodium domine, apparaît bleue à travers le verre bleu, mais devient invisible lorsqu'il y a moins de sodium. Vue à travers un verre vert, la flamme présente une coloration jaune orangé qui est caractéristique pour le sodium et ses composés. Si un cristal de bichromate de potassium est tenu tout près de la flamme du sodium, ce cristal paraît incolore; de même une tache rouge d'iodure de mercure sur le papier paraît blanche avec une légère teinte fauve.

L'essai est humecté d'acide sulfurique, séché

et puis placé dans la partie la plus chaude de la flamme (n<sup>os</sup> 33 et 58).

52. — (c) *Lithium* : Le lithium donne à la flamme une coloration rouge carmin qui paraît violet rouge à travers le verre bleu, rouge carmin à travers le verre violet, mais qui disparaît lorsqu'on regarde avec un verre vert. En présence du sodium, l'interposition d'un verre bleu permet de découvrir la coloration du lithium. En présence du potassium, la méthode suivante, due à Bunsen<sup>1</sup>, peut être employée. L'essai est placé dans la région de fusion de la flamme d'un bec Bunsen et la coloration obtenue est examinée à travers le prisme à indigo; on examine en même temps la coloration donnée par un sel de potassium pur placé dans la partie correspondante de la flamme opposée à l'essai. Examinée à travers les parties les plus minces de la solution d'indigo, la coloration du lithium paraît plus rouge que la coloration produite par le potassium; examinées à travers les parties les plus épaisses, les deux colorations paraissent également rouges lorsque la proportion de lithium est très faible comparée à la quantité de potassium. Si le lithium domine dans

<sup>1</sup> Bunsen, *loc. cit.*

l'essai, l'intensité de la coloration rouge diminue rapidement à mesure que l'on déplace le prisme, tandis que la coloration du potassium pur est toujours aussi nette en chaque point. Par ce procédé, un millième de lithium peut être décelé dans un sel de potassium. La présence du sodium en très grand excès modifie cette réaction, mais très légèrement (n<sup>o</sup> 59).

Le potassium et le lithium ne pourront pas être confondus avec le strontium, si l'essai a été traité comme on l'a indiqué pour le potassium, parce que les composés du strontium ne sont pas volatilisés à la basse température ainsi obtenue.

### III. — TERRES ALCALINES

L'essai est, à plusieurs reprises, humecté d'acide sulfurique, séché et placé dans la partie la plus chaude de la zone extérieure de la flamme. Après que les alcalis ont été volatilisés, les réactions ci-après peuvent se produire :

53. — (a) *Baryum* : Le baryum communique à la flamme une coloration vert jaunâtre qui, regardée à travers un verre vert, paraît vert bleuâtre. Si cette coloration verte se produit dans une flamme colorée en rouge (rouge brique pour le calcium et rouge écarlate pour le strontium),

l'essai doit être humecté à plusieurs reprises avec de l'acide chlorhydrique et placé, encore humide, dans la partie la plus chaude de la flamme. Lorsqu'aucune coloration vert bleuâtre n'apparaît plus en regardant à travers le verre vert, c'est que le chlorure de baryum est volatilisé et on procède alors à la recherche du calcium.

54. — (b) *Calcium* : Le calcium donne à la flamme une coloration rouge jaunâtre qui, pendant que l'essai se volatilise (autrement dit lorsque la dernière trace d'acide chlorhydrique a disparu), paraît vert pinson lorsqu'on interpose un verre vert. Le strontium, dans les mêmes conditions, donne, pendant un court instant, une coloration jaune foncé (n° 29).

55. — (c) *Strontium* : Ce corps est caractérisé par la coloration rose pourpre que l'on aperçoit à travers le verre bleu lorsque l'essai, préalablement humecté d'acide chlorhydrique, émet des vapeurs dans la flamme. Dans les mêmes conditions, le calcium donne une coloration gris verdâtre foncé (n° 53).

#### IV. — CUIVRE

56. — Le chlorure de cuivre (n° 40) donne une coloration bleu de ciel, tandis que l'azotate colore

la flamme en vert. Tous les essais douteux peuvent être vérifiés en combinant ces deux réactions (n° 69).

#### AUTRES SUBSTANCES

57. — Les autres corps susceptibles de colorer la flamme tels que l'arsenic, l'étain, le plomb, le mercure et le zinc, principalement à l'état de chlorure, colorent, d'une manière plus ou moins intense, du bleu jusqu'au vert, la zone extérieure de la flamme; mais ces réactions n'ont pas une grande valeur au point de vue analytique. Dans tous les cas, on peut éviter ces colorations en humectant l'essai d'acide sulfurique. Il est toutefois préférable de procéder à un essai sur le charbon pour découvrir les métaux qui peuvent donner des enduits avant de rechercher les alcalis et les terres alcalines au moyen de la coloration de la flamme.

#### RECHERCHE DES ALCALIS DANS LES SILICATES

58. — Dans le but de déceler la présence des alcalis dans les silicates, il suffit de décomposer l'essai, sur le fil de platine, avec un peu de gypse pur; il se forme du silicate de calcium et des sul-

fates alcalins volatils. Si, au contraire, on veut rechercher les terres alcalines, la décomposition de l'essai doit s'effectuer à l'aide du carbonate de sodium. On fond la substance à examiner avec le réactif dans la cuiller de platine et la masse fondue est traitée par l'eau; le résidu est alors soumis à l'action de l'acide chlorhydrique afin de précipiter la silice et la solution filtrée est examinée à la flamme.

#### EXAMEN DE LA SUBSTANCE AVEC LES RÉACTIFS

##### A]. RÉACTIONS OBTENUES AVEC LE CARBONATE DE SODIUM

**59.** — Indépendamment de son emploi pour obtenir la réduction de certains oxydes métalliques, comme il a été indiqué au paragraphe 23, le carbonate de sodium fondu est utilisé avec certaines substances qui, sous l'action de ce réactif, forment des composés qui, dans certains cas, sont fusibles et dans d'autres infusibles. La substance à essayer, finement pulvérisée, est mélangée avec le carbonate, puis légèrement humectée et enfin placée dans une petite cavité pratiquée sur un morceau de charbon. On commence d'abord par chauffer légèrement afin de dessécher l'essai, puis

ensuite on chauffe aussi fortement que possible.

Les oxydes suivants, dans ces conditions, font effervescence et donnent lieu à des composés fusibles :

*Silice.* — Elle fond en produisant une petite masse vitreuse restant transparente lorsqu'elle est froide si l'on n'a pas mis un excès de carbonate (n° 51).

*Anhydride titanique.* — Fond en donnant une perle jaune foncé tant qu'elle est chaude; cette perle devient trouble et cristalline à froid.

*Anhydride tungstique et anhydride molybdique.* — Sont absorbés par le charbon après dégagement d'acide carbonique (n° 20 et 16).

*Oxyde de tantale, anhydride vanadique et anhydride niobique.* — Forment des composés fusibles qui pénètrent dans le charbon.

Indépendamment de ces oxydes, les sels de *baryum* et de *strontium* forment aussi avec le carbonate de sodium des composés fusibles qui sont absorbés par le charbon. La *chaux*, la *magnésie*, l'*alumine*, la *zircon*, la *thorine*, l'*yttria* et la *glucine*, ainsi que les oxydes de *cérium* et d'*urane*, ne sont pas attaqués; ils restent sans changement, tandis que le carbonate de sodium est absorbé par le charbon.

**60.** — Le carbonate de sodium est également utilisé pour déceler la présence :

(a) Des composés du *soufre*, du *sélénium* et du *tellure* qui forment avec lui une masse fondue produisant une tache noire ou brune sur une pièce d'argent humide (n° 71).

(b) Des composés du *manganèse* et du *chrome* qui, avec le carbonate de sodium seul, ou mieux avec addition d'azotate de sodium, donnent une masse colorée. Les composés du manganèse donnent la coloration verte du manganate, et ceux du chrome la coloration jaune des chromates (numéros 62 et 17).

La liste détaillée des diverses réactions que l'on obtient avec le carbonate de sodium est donnée pages 237 et suivantes de la table indiquant les réactions données au chalumeau par les oxydes métalliques.

B]. RÉACTIONS OBTENUES AVEC LA SOLUTION D'AZOTATE  
DE COBALT

**61.** — Les substances qui, après avoir été chauffées sur le charbon dans la flamme d'oxydation, restent blanches ou presque blanches (voir paragraphe 21) sont humectées avec une solution d'azo-

tate de cobalt et ensuite fortement chauffées. Si la substance est assez poreuse pour absorber le liquide, on la mouille avec une goutte de solution et on la place dans la flamme en la tenant avec la pince à bouts de platine. Dans le cas contraire, on la pulvérise, on la mouille ensuite avec une goutte de solution et, pour la chauffer, on la place dans une petite cavité pratiquée sur un morceau de charbon. La coloration que peut prendre l'essai n'est visible qu'à chaud et à la lumière du jour.

Dans la classe des oxydes terreux, l'alumine et la magnésie donnent lieu à des réactions caractéristiques : une coloration d'un bleu plus ou moins pur, mais sans éclat, indique l'alumine (n° 21) ; une coloration rose indique la magnésie (n° 55). Ces réactions sont masquées par la présence d'oxydes métalliques colorés qui habituellement produisent une coloration noire ou grise. Il y a lieu de remarquer que quelques silicates, borates et phosphates produisent une coloration bleue lorsqu'on les chauffe avec la solution d'azotate de cobalt ; mais les sels que ces acides forment avec les alcalis sont fusibles, tandis que les sels des oxydes terreux sont infusibles.

Parmi les métaux lourds, les composés du zinc et de l'étain donnent des colorations caractéris-

tiques. Après avoir préalablement chauffé l'essai sur le charbon dans la flamme de réduction, on humecte l'enduit formé avec la solution d'azotate de cobalt et on chauffe ensuite fortement dans la flamme d'oxydation. L'oxyde de zinc prend une couleur jaune verdâtre, et l'oxyde d'étain une couleur vert bleuâtre (n<sup>os</sup> 10 et 9).

En dehors des substances qui viennent d'être signalées, il en est d'autres qui, chauffées avec la solution d'azotate de cobalt, subissent un changement de couleur ; mais ces colorations ne sont, toutefois, pas toujours suffisantes pour caractériser nettement la substance essayée. Ces colorations sont les suivantes :

- Bleue : *Alumine* ; beau bleu, infusible.  
*Silice et silicates* ; bleu foncé ; noire lorsqu'il y a un excès de solution d'azotate de cobalt. De petites parcelles placées dans la partie la plus chaude de la flamme fondent et donnent un verre bleu rougeâtre.  
*Phosphates, silicates et borates alcalins* ; donnent un verre bleu.
- Verte : *Oxyde de zinc* ; vert jaunâtre.  
*Anhydride titanique* ; vert jaunâtre.  
*Oxyde d'étain* ; vert bleuâtre.  
*Oxyde d'antimoine* ; vert sale.

- Incarnat : *Magnésie* ; incarnat pâle.  
*Oxyde de tantale* ; à chaud, gris clair ; à froid, incarnat.
- Violette : *Zircone* ; violet sale.  
*Phosphate et arséniate de magnésium* ; fondent et deviennent violet rouge.
- Brune : *Baryte* ; à chaud, brun rougeâtre ; à froid, incolore.
- Grise : *Glucine* ; gris bleuâtre clair.  
*Anhydride niobique* ; gris brunâtre.  
*Chaux* ; gris.  
*Strontiane* ; du gris foncé au noir.

## c]. RÉACTIONS OBTENUES AVEC L'HYPOSULFITE DE SODIUM

62. — Tous les métaux précipités par l'hydrogène sulfuré lorsqu'on opère par voie humide passent également à l'état de sulfure lorsqu'on les chauffe avec de l'hyposulfite de sodium pulvérisé. La substance mélangée avec le réactif doit être chauffée dans le tube fermé d'un bout. Lorsque l'hyposulfite a été décomposé, ce qu'il est facile de reconnaître à l'odeur d'hydrogène sulfuré qui se dégage, la couleur de l'essai fondu, due au sulfure formé, est très facile à reconnaître. Dans beaucoup de cas, la réaction est activée par l'addition d'une petite quantité d'acide oxalique.

Comme l'hyposulfite contient une grande quantité d'eau de cristallisation, il est nécessaire de chasser d'abord la majeure partie de cette eau ; à cet effet, lorsqu'on commence à chauffer, on doit tenir le tube horizontal afin d'éviter qu'il ne se brise et on ferme son orifice avec un tampon de coton cardé.

Une autre méthode pour produire ces réactions consiste à mélanger par parties égales la substance à essayer et le réactif et à en former une pâte avec une goutte d'eau ; cette pâte est ensuite placée sur une plaque de gypse ou, à défaut, sur la plaque d'aluminium et enfin chauffée dans une bonne flamme de réduction en soufflant doucement dans le chalumeau. La production des sulfures se produit comme dans le tube fermé d'un bout, mais on a, en outre, d'autres réactions (coloration de la flamme, formation d'enduits) qui viennent confirmer les premières indications.

Les réactions des divers métaux traités par l'hyposulfite sont données dans le tableau suivant en même temps que les réactions obtenues avec le borax. Les indications données par les deux méthodes se complètent l'une par l'autre.

Métaux	Couleur des sulfures obtenus avec l'hyposulfite de sodium.	Coloration des perles obtenues avec le borax sur le fil de platine (perle de borax)	
		Flamme d'oxydation	Flamme de réduction
Antimoine	premièrement rouge, ensuite noir	incolore	grise ou incolore
Argent	noir	incolore	grise ou incolore
Arsenic	jaune	—	—
Bismuth	noir	incolore	grise ou incolore
Cadmium	à chaud rouge cinabre ; à froid jaune	incolore	grise ou incolore
Chrome	vert	vert pré	vert émeraude
Cobalt	noir	bleue	bleue
Cuivre	noir	vert bleuâtre	brune
Etain	brun	incolore	incolore
Fer	noir	jaune	vert bouteille
Manganèse	vert clair	violet rougeâtre	incolore
Mercure	noir	—	—
Molybdène	brun	incolore	brune
Nickel	noir	brun rougeâtre	grise ou incolore
Or	noir	réduction sans dissolution	
Platine	noir	réduction sans dissolution	
Plomb	noir	incolore	grise ou incolore
Thallium	noir	incolore	incolore
Uranium	noir	jaune	vert bouteille
Zinc	blanc	incolore	grise ou incolore

## D]. RÉACTIONS OBTENUES AVEC L'IODURE DE SOUFRE

63. — L'essai est mélangé avec un volume égal d'iodure de soufre et placé ensuite sur le bord d'une plaque de gypse; on chauffe dans la flamme d'oxydation<sup>1</sup>. Les dépôts ou enduits obtenus ont les couleurs suivantes :

Rouge orangé (disparaît sous l'action des vapeurs d'ammoniaque et réapparaît sous l'action des vapeurs d'acide chlorhydrique). *Antimoine.*

Chamois (disparaît sous l'action des vapeurs d'ammoniaque et réapparaît sous l'action des vapeurs d'acide chlorhydrique). *Arsenic.*

Jaune de chrome. *Plomb.*

<sup>1</sup> Wheeler et Luedeking, *Trans. Saint-Louis Academy of Science*, 1886, vol. VI, p. 676. Les enduits d'iodure ont été décrits pour la première fois par Bunsen (1866) dans son traité des réactions de la flamme (§ 73, 75, etc.) avec d'autres réactions formant une méthode d'analyse très précise dans laquelle la flamme du bec Bunsen est employée. Kobell (1872) a utilisé les réactions de l'iode, obtenues à l'aide de la flamme du chalumeau, en se servant d'iodure et de sulfure de potassium. Haanel (1882) a développé cette méthode en employant l'acide iodhydrique et une plaque de gypse comme support. Moser a employé le même réactif, tandis que Wheeler et Luedeking (1885) l'ont remplacé par la teinture d'iode plus facile à préparer. Dans le but de remplacer ce réactif liquide par un réactif solide plus commode à manier, Hutchings s'est servi de l'iodure et du sulfure de cuivre (avec une plaque d'aluminium comme support). Casamajor a obtenu d'excellents résultats avec l'iodure d'argent (dans un tube ouvert d'environ 10 centimètres de longueur). Plus récemment, Wheeler et Luedeking ont indiqué l'emploi de l'iodure de soufre. Ce dernier procédé, qui est le meilleur, est décrit ici dans tous ses détails.

Jaune brunâtre. *Etain.*

Jaune clair à chaud et jaune grisâtre foncé à froid (tout près de l'essai). *Argent.*

Jaune et écarlate; le jaune passe à l'écarlate au bout d'un certain temps et plus rapidement si on frotte l'enduit. *Mercure.*

Il se produit une série de colorations : premièrement orangée, suivie du jaune de l'iodure, enfin blanche, bleu clair, verte et noire. *Thallium.*

Brun rougeâtre. *Sélénium.*

Brun noirâtre (disparaît sous l'action des vapeurs d'ammoniaque et réapparaît sous l'action des vapeurs d'acide chlorhydrique). *Tellure.*

Brun chocolat, quelquefois bordé de parties rouges auprès de l'essai (devenant rouge clair lorsque l'enduit est exposé aux vapeurs d'ammoniaque). *Bismuth.*

Brun verdâtre avec bordure verte; l'enduit brun passe au vert foncé, surtout lorsque l'on souffle l'haleine sur le dépôt. *Cobalt.*

Bleu d'outremer foncé tout près de l'essai (l'enduit est un oxyde  $Mo^2O^5$ ). *Molybdène.*

Bleu verdâtre foncé (oxyde  $Tu^2O^5$ ). *Tungstène.*

Blanc. *Cuivre.*

Blanc. *Zinc.*

Blanc. *Cadmium.*

Ces trois derniers métaux doivent être chauffés sur le charbon, ou, si l'on emploie une plaque de gypse, il faut préalablement la recouvrir de noir de fumée; sans cette précaution, l'enduit blanc ne

serait pas visible. L'enduit brun produit uniquement par le réactif disparaît au bout de quelques minutes. Dans ces essais, il se forme autour de la substance un enduit noir plus ou moins abondant qui est un dépôt de sulfure et dont la formation est due à l'excès de soufre nécessaire pour décomposer la substance.

A cause de la similitude d'aspect que présentent beaucoup de ces enduits, ce procédé est très délicat et ne peut guère convenir pour l'examen de mélanges, mais il est employé avec avantage pour confirmer les résultats obtenus par d'autres procédés. L'essai du molybdène est très caractéristique; la méthode est également très bonne pour rechercher l'étain en présence du zinc. Il est utile de comparer les enduits obtenus avec ceux de sulfure décrits dans le paragraphe précédent; s'ils ont été obtenus sur la plaque de gypse, on peut les transformer directement en iodures en les chauffant avec de l'iode dans la flamme d'oxydation.

E]. RÉACTIONS OBTENUES AVEC LE BISULFATE DE POTASSIUM OU AVEC L'ACIDE SULFURIQUE CONCENTRÉ

**64.** — Pour la recherche des acides volatils, on chauffe une petite quantité de la substance avec

le bisulfate de potassium ou avec l'acide sulfurique concentré (si l'on emploie ce dernier réactif, il ne faut pas chauffer jusqu'au point d'ébullition de l'acide) et les réactions suivantes peuvent se produire :

[1] Il se dégage un gaz coloré.

a] *Vapeurs nitreuses* reconnaissables à leur couleur rutilante et à leur odeur caractéristique. Elles sont produites par les azotates et les azotites. Avec les azotates, la réaction est facilitée par l'addition de tournure de cuivre.

b] *Acide perchlorique*, gaz vert jaunâtre ayant l'odeur du chlore, blanchissant le papier de tournesol et explosif. L'acide perchlorique provient des chlorates traités par l'acide sulfurique ou le bisulfate de potassium<sup>1</sup>.

c] *Iode*, reconnaissable à la couleur violette des vapeurs provenant de la décomposition des iodures. Ces vapeurs colorent en bleu un papier enduit d'empois d'amidon. Les iodates<sup>1</sup> donnent cette réaction après addition de sulfate ferreux. ®

d] *Brome*, vapeurs rouge brun, d'odeur piquante et désagréable, colorant en jaune l'empois d'amidon. Les bromures et les bromates<sup>1</sup> donnent

<sup>1</sup> Les chlorates, iodates et bromates détonent lorsqu'on les chauffe sur le charbon.

cette réaction. La couleur de la vapeur de brome est beaucoup plus visible en regardant dans le tube suivant sa longueur.

[2] **Il se dégage un gaz incolore mais odorant**

65. — a] *Acide sulfureux*, facile à reconnaître à son odeur, indique des sulfites ou des hyposulfites.

b] *Acide chlorhydrique*, produit par les chlorures, reconnaissable à son odeur et aux vapeurs blanches de chlorure d'ammonium qui se forment lorsqu'on approche de l'ouverture du tube un agitateur mouillé d'ammoniaque.

c] *Acide fluorhydrique*, provient des fluorures, a une odeur très piquante et attaque fortement le verre.

d] *Hydrogène sulfuré*, dégagé par les sulfures, noircit le papier imprégné d'une dissolution d'acétate de plomb.

e] *Acide cyanique*, dégagé par les cyanates, odeur piquante caractéristique, provoque les larmes et trouble l'eau de chaux.

f] *Acide acétique*, dégagé par les acétates et facilement reconnaissable à son odeur piquante caractéristique. La substance chauffée avec de l'acide sulfurique et de l'alcool dégage des vapeurs d'éther acétique très odorantes.

[3] **Il se dégage un gaz incolore et inodore.**

66. — a] *Acide carbonique*, chassé de ses combinaisons avec effervescence, trouble l'eau de chaux.

b] *Oxyde de carbone*, brûle avec une flamme bleue, se dégage des oxalates, formiates, cyanures, ferrocyanures et ferricyanures.

c] *Acide chromique*, il se dégage de l'oxygène et le liquide prend une coloration brune ou verte.

d] *Acides organiques*, reconnaissables à ce qu'ils noircissent, phénomène dû à ce fait que le charbon se sépare de la combinaison.

Les acides que cette méthode ne permet pas de caractériser, quoique faciles à reconnaître par d'autres moyens, sont : l'acide sulfurique, l'acide phosphorique, l'acide arsénique, l'acide borique, l'acide silicique, l'acide tungstique, l'acide molybdique et l'acide titanique. Pour ces trois derniers, voir paragraphe 67.

F]. RÉACTIONS OBTENUES AVEC LE ZINC ET L'ACIDE CHLORHYDRIQUE APRÈS DÉCOMPOSITION PRÉALABLE <sup>®</sup>

67. — L'essai finement pulvérisé est additionné d'un mélange de carbonate de sodium et d'azotate de potassium; le tout est légèrement humecté et

placé dans une petite spirale, de 2 à 3 millimètres de diamètre, formée à l'extrémité d'un fil de platine très fin. Après fusion, l'essai encore chaud est mis dans une capsule de porcelaine, puis mis en contact avec un peu d'eau dans un tube à essai. On ajoute alors quelques gouttes d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique et on jette dans le liquide quelques rognures de zinc. Par suite de l'action réductrice de l'hydrogène naissant, les colorations suivantes peuvent se produire :

Bleue, puis verte et finalement brun noirâtre.

*Acide molybdique.*

Bleue, puis rouge cuivre.

*Acide tungstique.*

Bleue, puis verte et finalement violette.

*Acide vanadique.*

Bleue, souvent aussi brune (avec une solution fortement acide).

*Acide niobique.*

Verte.

*Acide chromique.*

Violette.

*Acide titanique.*

## IV

## RÉACTIONS DE LA FLAMME

68. — COMPOSITION DE LA FLAMME. — Bunsen<sup>1</sup> a montré que presque toutes les réactions que l'on obtient au moyen du chalumeau pouvaient être effectuées à l'aide de la flamme non éclairante de la lampe à gaz qu'il a imaginée. Ce brûleur, que montre la figure 17, est muni, à sa partie inférieure, près du pied, d'un anneau percé de trous permettant de régler l'arrivée de l'air et, à sa partie supérieure, d'une cheminée conique, de dimensions telles que la flamme brûle tranquillement.

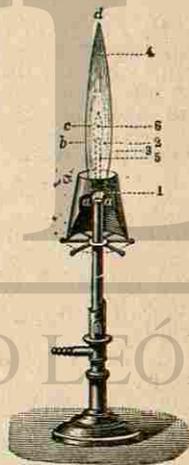


FIG. 17.

Cette flamme, ainsi qu'on le voit sur la figure 17, est formée d'un cône obscur *aba*, d'une enveloppe lumineuse *adac* et d'une pointe brillante *bc* qui n'est pas visible

<sup>1</sup> *Ann. Chem. Pharm.*, CXXXVIII, 257. — *Phil. Mag.* [4], XXXII, 81.

placé dans une petite spirale, de 2 à 3 millimètres de diamètre, formée à l'extrémité d'un fil de platine très fin. Après fusion, l'essai encore chaud est mis dans une capsule de porcelaine, puis mis en contact avec un peu d'eau dans un tube à essai. On ajoute alors quelques gouttes d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique et on jette dans le liquide quelques rognures de zinc. Par suite de l'action réductrice de l'hydrogène naissant, les colorations suivantes peuvent se produire :

Bleue, puis verte et finalement brun noirâtre.	<i>Acide molybdique.</i>
Bleue, puis rouge cuivre.	<i>Acide tungstique.</i>
Bleue, puis verte et finalement violette.	<i>Acide vanadique.</i>
Bleue, souvent aussi brune (avec une solution fortement acide).	<i>Acide niobique.</i>
Verte.	<i>Acide chromique.</i>
Violette.	<i>Acide titanique.</i>

## IV

## RÉACTIONS DE LA FLAMME

68. — COMPOSITION DE LA FLAMME. — Bunsen<sup>1</sup> a montré que presque toutes les réactions que l'on obtient au moyen du chalumeau pouvaient être effectuées à l'aide de la flamme non éclairante de la lampe à gaz qu'il a imaginée. Ce brûleur, que montre la figure 17, est muni, à sa partie inférieure, près du pied, d'un anneau percé de trous permettant de régler l'arrivée de l'air et, à sa partie supérieure, d'une cheminée conique, de dimensions telles que la flamme brûle tranquillement.

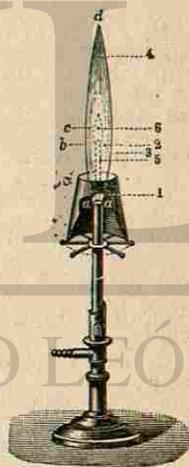


FIG. 17.

Cette flamme, ainsi qu'on le voit sur la figure 17, est formée d'un cône obscur *aba*, d'une enveloppe lumineuse *adac* et d'une pointe brillante *bc* qui n'est pas visible

<sup>1</sup> *Ann. Chem. Pharm.*, CXXXVIII, 257. — *Phil. Mag.* [4], XXXII, 81.

lorsque les trous par où arrive l'air sont complètement ouverts, mais que l'on obtient facilement en les fermant jusqu'à un certain point.

La flamme ainsi constituée comprend six régions dans lesquelles on peut effectuer des réactions :

1] *La base de la flamme*, en 1, où la température est la plus basse, est utilisée spécialement pour chauffer les mélanges de manière à obtenir les colorations de la flamme produites par les substances les plus volatiles.

2] *La zone de fusion*, en 2; c'est la partie la plus chaude de la flamme dans laquelle on place les substances pour essayer leur fusibilité, leur volatilité, etc.

3] *La région inférieure d'oxydation*, en 3, située sur le bord extérieur de la zone de fusion, est très propre à produire l'oxydation des substances dissoutes dans les perles de fondants vitreux.

4] *La région supérieure d'oxydation*, en 4, convient particulièrement pour opérer le grillage et l'oxydation de toutes les substances qui n'exigent pas une température très élevée. Son action est plus énergique lorsque les trous de tirage sont complètement ouverts.

5] *La région inférieure de réduction*, en 5, sur le bord intérieur de l'enveloppe lumineuse,

tout près du cône obscur. L'action réductrice de cette partie de la flamme n'est pas aussi complète que dans la région suivante, mais elle convient particulièrement pour opérer des réductions sur le charbon et dans les perles de fondants vitreux.

6] *La région supérieure de réduction*, en 6, se trouve au-dessus du cône obscur lorsqu'on règle l'admission de l'air en obturant en partie les trous de tirage; si la pointe brillante est trop grande, il se dépose du noir de fumée sur l'essai, ce qui ne doit jamais se produire. Cette région de la flamme convient surtout pour opérer la réduction des métaux que l'on veut obtenir sous forme d'enduits.

69. — SUPPORTS. — Comme supports pour placer la substance à essayer, on se sert des objets suivants :

a] *Fil de platine*. — Ce fil, dont la grosseur doit dépasser à peine celle d'un crin de cheval, doit avoir un décimètre de longueur et son poids ne doit pas dépasser 0,034 gramme. On place le corps à examiner dans une petite boucle, et le fil sert de support pour étudier la fusibilité de la substance, sa volatilité, la coloration de la flamme et aussi pour les essais avec le borax, avec le sel de phosphore et avec le carbonate de sodium.

b] *Fibre d'amiante*. — S'emploie à la place

du fil de platine lorsque ce dernier pourrait être attaqué par la substance à examiner; la grosseur de cette fibre doit être à peu près le quart de celle d'une allumette ordinaire. Pour faire adhérer la substance à l'amiante, on humecte légèrement cette dernière.

c] *Baguettes de charbon.* — Servent à remplacer le support de charbon et se préparent en prenant une allumette dont on coupe le bout souffré; cela fait, on approche de la flamme un cristal de carbonate de sodium, et avec la goutte épaisse qui se forme par fusion on frotte le bois de l'allumette sur les trois quarts de sa longueur. On introduit ensuite lentement ce bois préparé dans la flamme en le tournant autour de son axe; une croûte de carbonate solide se forme à la surface du bois carbonisé; en chauffant ensuite dans la région de fusion, le sel fondu est absorbé par le charbon. Les baguettes de charbon ainsi obtenues sont jusqu'à un certain point préservées de la combustion par la couche de carbonate de sodium fondu qui recouvre leur surface.

d] *Tubes de verre.* — Ils doivent avoir environ 3 millimètres de largeur, 30 millimètres de longueur et être fermés à une de leurs extrémités.

Lorsque la substance à examiner doit être

maintenue pendant un certain temps dans la flamme de réduction, il est commode de faire usage du support de Bunsen (*fig. 18*) pourvu de tiges et de ressorts pouvant s'élever ou s'abaisser à volonté et aussi tourner en tous sens. Les bras horizontaux permettent de soutenir les petits tubes de verre à l'extrémité desquels sont fixés les fils de platine ou les tiges d'amiante; les pinces à ressort sont utilisées pour tenir les tubes à essais.

70.—RÉACTIFS. — Indépendamment des réactifs dont il a été parlé dans le paragraphe 5, les suivants sont utilisés pour obtenir les réactions de la flamme par la méthode de Bunsen.

*Chlorure stanneux.* — La dissolution de ce sel doit être conservée dans un flacon bien bouché; on doit mettre dans la dissolution un morceau d'étain métallique afin d'empêcher la formation de chlo-



Fig. 18.

rure stannique qui ne conviendrait pas pour l'usage que l'on doit faire de ce réactif. Le chlorure stanneux est un agent puissant de réduction et sert pour reconnaître les divers enduits et aussi pour la recherche de l'or, du molybdène, du tungstène, etc.

*Soude caustique.* — La dissolution de soude sert également à caractériser les enduits et sert en outre pour l'essai du cobalt, de l'étain, etc.

*Azotate d'argent.* — Doit être en dissolution parfaitement neutre et est utilisé pour caractériser les enduits et aussi pour la recherche du chrome et du vanadium.

*Acide iodhydrique fumant.* — Cet acide se forme, en même temps que de l'acide phosphoreux, lorsque du triiodure de phosphore est exposé à l'action de l'air humide. On prépare l'iodure de phosphore en prenant huit parties d'iode que l'on ajoute à une partie de phosphore dans un tube rempli d'acide carbonique ; on chauffe le tout jusqu'à la fusion, dès que la combustion qui se produit a cessé. Le tube est ensuite soigneusement fermé et, lorsque la masse s'est solidifiée, on la met dans un flacon à large goulot, peu profond et bien bouché. Pour faire usage de ce réactif, l'enduit à examiner, obtenu sur la partie exté-

rieure d'une petite capsule de porcelaine vernissée, est placé au-dessus du goulot du flacon contenant l'iodure de phosphore et, sous l'action des vapeurs d'acide iodhydrique, l'enduit d'oxyde se transforme en iodure. Si le réactif cesse de dégager des vapeurs, il suffit d'y ajouter un peu d'acide phosphorique anhydre.

On peut également obtenir des iodures en brûlant dans la flamme de la teinture d'iode (solution d'iode dans l'alcool) sur un filament d'amiante et en tenant l'enduit formé au-dessus de cette flamme. En opérant de cette manière, l'enduit prend quelquefois une coloration brune que l'on peut faire disparaître facilement en chauffant légèrement.

*Ammoniaque et sulfhydrate d'ammoniaque.* — Ces deux réactifs sont utilisés pour divers essais, principalement pour l'examen des enduits.

*Brome.* — Ce réactif est conservé dans un flacon bien bouché, à large goulot. Les substances que l'on veut traiter par ce réactif sont placées au-dessus du goulot où elles se trouvent soumises à l'action des vapeurs qui se dégagent. La vapeur de brome en présence de l'eau agit comme oxydant énergique.

*Ferrocyanure de potassium.* — La dissolu-

tion de ce sel est employée pour la recherche du fer, du cuivre et du molybdène.

*Acétate de plomb* (sucre de plomb). — Employé pour la recherche du chrome.

*Azotate de bismuth.* — Sert pour la recherche de l'étain.

*Acide acétique.* — Employé pour caractériser le chrome, le vanadium, le manganèse et l'uranium.

*Cyanure de mercure.* — Employé pour la recherche du palladium; réactif employé très rarement.

*Eau régale.* — Mélange d'acide chlorhydrique et d'acide azotique, employé pour l'essai de l'or, du platine, etc.

Dans ces sortes d'essai, on doit employer de très petites quantités de substance. Les corps qui décrépitent sont d'abord finement pulvérisés, puis placés sur un petit morceau de papier à filtre humide d'environ 1 centimètre carré que l'on place entre deux petits anneaux en fil fin de platine. On brûle le papier, qui forme alors une croûte assez consistante pour pouvoir être placée dans la flamme sans aucune difficulté.

## MÉTHODE D'ESSAI

A.] — *Manière dont se comporte la substance lorsqu'on la chauffe*

**71.** — En chauffant la substance à essayer, les phénomènes suivants peuvent se produire :

1] La substance devient *incandescente* lorsqu'on la place dans la partie la plus chaude de la flamme.

2] La substance *fond*, soit à basse température, soit à une température plus élevée. On doit soigneusement observer si l'essai se boursoufle, s'il change de couleur, s'il diminue de volume, ou enfin s'il devient transparent après refroidissement.

3] La substance *se volatilise* et dégage une odeur.

4] La substance *colore la flamme*. Les substances susceptibles de colorer la flamme, lorsqu'elles sont placées dans la zone supérieure de réduction, produisent une coloration dans la région supérieure d'oxydation. Les mélanges contenant des substances susceptibles de colorer la flamme doivent d'abord être placés dans la partie la plus basse et la moins chaude de la flamme, de manière à ce que les subs-

tances les plus facilement volatiles se réduisent les premières en vapeurs.

B.] — *Oxydation et réduction*

72. — 1] *Perles.* — L'oxydation et la réduction des perles s'effectuent en les plaçant, supportées par un fil de platine, soit dans la région inférieure d'oxydation, soit dans la zone inférieure de réduction.

2] *Réduction dans les petits tubes de verre.* — La substance, parfaitement desséchée, est chauffée avec du carbonate de sodium et du carbone (noir de fumée obtenu par la combustion de l'essence de térébenthine) ou avec du sodium métallique, ou encore avec du magnésium dans un tube de verre mince fermé à une de ses extrémités et ayant environ 3 millimètres de diamètre et 3 centimètres de longueur. Le sodium doit être soigneusement essuyé avec du papier à filtre de manière à enlever l'huile de naphte ou l'essence de pétrole qui le mouille, puis on le roule entre les doigts pour en former un petit cylindre que l'on introduit au milieu de la substance placée à l'intérieur du tube. Le magnésium s'emploie sous forme de petits fragments de fil. Le petit tube est ensuite chauffé

presque jusqu'au point de fusion du verre et, à ce moment, la masse devient alors incandescente. Après refroidissement, le tube est brisé afin de retirer le contenu, qui sera utilisé pour des essais ultérieurs.

3] *Réduction sur les baguettes de charbon.* — La substance pulvérisée est mélangée avec une goutte de carbonate de sodium fondu de manière à former une espèce de bouillie; cette pâte, dont le volume doit être à peu près celui d'un grain de moutarde, est d'abord fondue dans la région inférieure d'oxydation de la flamme, puis placée dans la partie la plus chaude de la région inférieure de réduction de la flamme. Dès que la réduction est effectuée, ce que l'on reconnaît à la vive effervescence qui se produit, on amène l'essai, pour le refroidir, dans le cône obscur de la flamme. L'extrémité de la baguette portant l'essai est alors coupée et placée, avec quelques gouttes d'eau, dans un mortier d'agate où on le lave pour le séparer du charbon; le produit obtenu est alors examiné par les méthodes habituelles.

C.] — *Enduits ou dépôts obtenus sur la porcelaine*

73. — Les corps volatils, réductibles par l'hydrogène ou par le charbon, peuvent être séparés de

leurs composés sous forme de dépôts ou d'enduits se formant sur la porcelaine, soit à l'état métallique, soit à l'état d'oxydes. Ces enduits peuvent être facilement transformés en iodures, sulfures ou autres composés qui présentent des propriétés caractéristiques. Ces enduits, plus épais vers le milieu, ont une épaisseur qui diminue graduellement et ne forme plus sur les bords qu'une efflorescence légère; il est nécessaire, par suite, de faire une distinction entre les parties épaisses et les parties minces de l'enduit. Ces réactions sont si sensibles que, dans la plupart des cas, 0,1 milligramme à 1 milligramme de matière suffisent pour produire ce dépôt.

Les dépôts qui peuvent se produire sont les suivants :

A] *Dépôt métallique.* — Pour obtenir ces dépôts, l'essai, placé sur une fibre d'amiante, est tenu d'une main et chauffé dans la zone supérieure de réduction de la flamme dans la partie où cette dernière n'est pas très large; de l'autre main on tient une capsule en porcelaine mince, vernissée extérieurement, de 10 à 12 centimètres de diamètre et remplie d'eau que l'on place également dans la zone supérieure de réduction de la flamme, un peu au-dessus de l'essai. Le métal réduit se

dépote alors sous forme d'enduit noir, mat ou brillant suivant les cas.

En traitant ce dépôt métallique avec de l'acide azotique étendu, contenant environ 20/0 d'acide, les réactions ci-après peuvent être obtenues :

Le dépôt se dissout immédiatement.	{ Plomb. Cadmium. Zinc. Indium.
Le dépôt se dissout lentement.....	{ Bismuth. Mercure. Thallium.
Le dépôt est insoluble.....	{ Tellure. Sélénium. Antimoine. Arsenic.

B] *Dépôt d'oxyde.* — La capsule de porcelaine est placée dans la région supérieure d'oxydation de la flamme; le reste de l'opération s'effectue comme pour obtenir les dépôts métalliques.

L'enduit d'oxyde est essayé ensuite :

[a] Avec le chlorure stanneux seul;

[b] Avec le chlorure stanneux, auquel on ajoute ensuite de la soude caustique;

[c] Avec une solution neutre d'azotate d'argent, puis avec un courant de gaz ammoniac <sup>1</sup>.

C] *Dépôt d'iodure.* — Ce dépôt d'iodure s'obtient en soumettant le dépôt d'oxyde à l'action des vapeurs d'acide iodhydrique, qui se dégagent du flacon où le réactif est conservé. Le dépôt d'iodure obtenu est ensuite essayé :

[a] En soufflant l'haleine sur le dépôt ;

[b] En le soumettant à l'action des vapeurs d'ammoniaque <sup>2</sup>.

D] *Dépôt de sulfure.* — Obtenu en soumettant le dépôt d'iodure à l'action d'un courant d'air chargé de vapeurs de sulfure d'ammonium, et en chassant l'excès de réactif en chauffant légèrement la capsule. Le dépôt de sulfure est ensuite essayé au point de vue de sa solubilité :

[a] Dans l'eau, en y ajoutant une goutte d'eau ;

[b] Dans le sulfure d'ammonium, en plaçant au contact une goutte de réactif.

<sup>1</sup> On produit les vapeurs d'ammoniaque à l'aide d'un flacon contenant une dissolution d'ammoniaque dans laquelle plonge un tube par lequel on souffle, tandis que l'air chargé de vapeurs ammoniacales sort par un autre tube qui ne dépasse pas le bouchon qu'il traverse.

<sup>2</sup> Les dépôts d'iodure indiqués dans le paragraphe 63, ainsi que ceux des corps non volatils, peuvent être obtenus sur la porcelaine en plaçant l'essai, mélangé avec de l'iodure de soufre, sur une fibre d'amiante et en chauffant dans la région supérieure d'oxydation de la flamme.

## RÉACTIONS DES DIVERS ÉLÉMENTS

74. — Les corps qui peuvent être caractérisés par les réactions de la flamme, d'après la manière dont ils se comportent dans la flamme d'oxydation et dans la flamme de réduction, sont groupés de la manière suivante :

A] *Métaux réductibles se déposant sous forme d'enduit sur la porcelaine ;*

B] *Métaux réductibles mais ne produisant pas de dépôt ;*

C] *Corps plus faciles à caractériser par les réactions que donnent leurs composés.*

## 75. — TABLEAU DES RÉACTIONS GÉNÉRALES DE LA FLAMME

(Les nombres indiqués après chaque substance renvoient aux paragraphes dans lesquels les réactions sont décrites)

MÉTHODE D'ESSAI EMPLOYÉE	RÉSULTAT OBTENU	INDICATION DES CORPS	
I. — On cherche à obtenir un dépôt métallique sur la capsule de porcelaine.	On a obtenu un dépôt que l'on essaye de dissoudre dans l'acide azotique étendu (environ 20 0/0 d'acide).	Le dépôt est : Presque insoluble.	76 77 78 79 80 81 82
II. — La substance est chauffée sur la baguette de charbon avec du carbonate de sodium.	(a) On obtient une poudre de couleur grise.	Difficilement soluble. Immédiatement soluble.	83 84 85 86
		Magnétique.	87 88 89
		Non magnétique.	90 91 92 93

III. — La substance est fondue avec du carbonate de sodium et de l'azotate de potassium dans une petite spirale de platine.	(a) La masse fondue est incolore ou blanchâtre. (b) La masse fondue est jaune. (c) La masse fondue est verte.	{ Cuivre. { Etain. { Argent. { Or.	{ 97 { 98 { 96 { 95
IV. — On procède aux essais spéciaux pour la recherche des corps désignés ci-contre.		{ Molybdène. { Tungstène. { Titane. { Tantale. { Niobium. { Silicium.	{ 99 { 100 { 101 { 106 { 102 { 103
V. — On essaye si la substance colore la flamme.	La flamme se colore.	{ Manganèse. { Uranium. { Phosphore. { Soufre.	{ 104 { 103 { 107 { 108
		{ Sodium. { Strontium. { Lithium. { Baryum. { Potassium. { Calcium.	{ 51 { 55 { 52 { 53 { 50 { 54

## A]. Éléments dont les composés sont réduits à l'état

Les réactions produites par ces substances

Designation des éléments	Enduit		Enduit d'oxyde traité par le chlorure stannéux	Enduit d'oxyde traité par le chlorure stannéux et la soude	Enduit d'oxyde traité par l'azotate d'argent et l'ammoniaque	Enduit d'iode
	métallique	d'oxyde				
76 Tellure.	Noir. Brun lorsque l'enduit est peu épais	Blanc.	Noir.	Noir.	Blanc ou jaunâtre.	Brun, disparaissant passagèrement lorsqu'on souffle l'haleine dessus.
77 Sélénium.	Rouge vif. Rouge brique lorsque l'enduit est peu épais.	Blanc.	Rouge brique	Noir.	Blanc.	Brun, ne disparaît pas complètement lorsqu'on souffle l'haleine dessus
78 Antimoine	Noir; brun si l'enduit est peu épais.	Blanc.	Blanc.	Blanc.	Noir; insoluble dans l'ammoniaque.	Rouge orangé ou jaune; disparaît en soufflant l'haleine.
79 Arsenic.	Noir; brun si l'enduit est peu épais.	Blanc.	Blanc.	Blanc.	Jaune citron ou rouge brun soluble dans l'ammoniaque.	Jaune orangé; disparaît passagèrement en soufflant l'haleine.
80 Bismuth.	Noir; noir brunâtre si l'enduit est peu épais.	Blanc jaunâtre.	Blanc.	Noir.	Blanc.	Brun bleuâtre, les parties minces sont roses; disparaît passagèrement en soufflant l'haleine.

métallique en produisant un enduit sur la porcelaine

sont groupées dans le tableau suivant

Enduit d'iode traité par le gaz ammoniac	Enduit de sulfure	Enduit de sulfure traité par le sulfure d'ammonium	Coloration de la flamme	
Disparaît complètement.	Noir ou brun noirâtre.	Disparaît passagèrement.	Coloration bleu pâle de la région supérieure de réduction; coloration verte de la région supérieure d'oxydation. Pas d'odeur dégagée.	
Ne disparaît pas.	Jaune ou orangé.	Orangé; disparaît passagèrement.	Coloration bleu barbeau. Dégage une forte odeur de rai-fort pourri.	Enduit métallique presque insoluble dans l'acide azotique étendu.
Disparaît complètement.	Orangé.	Disparaît passagèrement.	Coloration verdâtre pâle dans la région supérieure de réduction. Pas d'odeur.	
Disparaît complètement.	Jaune citron.	Disparaît passagèrement.	Coloration bleu pâle dans la région supérieure de réduction. Odeur d'ail.	
Rose ou jaune orangé devenant brun sous l'action d'un courant d'air.	Sienne brulée; les parties minces sont brun-café.	Ne disparaît pas.	Bleuâtre; réaction qui n'est pas caractéristique.	Enduit métallique difficilement soluble dans l'acide azotique étendu.

(A) *Éléments dont les composés sont réduits à l'état*

Les réactions produites par ces substances

Designation des éléments	Enduit métallique	Enduit d'oxyde	Enduit d'oxyde traité par le chlorure stanneux	Enduit d'oxyde traité par le chlorure stanneux et la soude	Enduit d'oxyde traité par l'azotate d'ammoniac	Enduit d'iodure
81 Mercure.	Enduit grisâtre très divisé.					Carmin ou jaune citron; ne disparaît pas en soufflant l'haleine.
82 Thallium.	Noir; brun si l'enduit est peu épais.	Blanc.	Blanc.	Blanc.	Blanc.	Jaune citron; ne disparaît pas en soufflant l'haleine.
83 Plomb.	Noir; brun si l'enduit est peu épais.	Ocre jaune clair.	Blanc.	Blanc.	Blanc.	Jaune orangé ou jaune citron; ne disparaît pas en soufflant l'haleine.
84 Cadmium.	Noir; brun si l'enduit est peu épais.	Noir ou brun; blanc si l'enduit est peu épais.	Blanc.	Blanc.	Blanc; passe au noir bleuâtre dans les parties minces.	Blanc.
85 Zinc.	Noir; brun si l'enduit est peu épais.	Blanc.	Blanc.	Blanc.	Blanc.	Blanc.
86 Indium.	Noir; brun si l'enduit est peu épais.	Blanc jaunâtre.	Blanc.	Blanc.	Blanc.	Blanc jaunâtre.

*métallique en produisant un enduit sur la porcelaine (suite et fin)*

sont groupées dans le tableau suivant.

Enduit d'iodure traité par le gaz ammoniac	Enduit de sulfure	Enduit de sulfure traité par le sulfure d'ammonium	Coloration de la flamme	
Disparaît passagèrement.	Noir.	Ne disparaît pas.		Enduit métallique difficilement soluble dans l'acide azotique étendu.
Ne disparaît pas.	Noir; gris bleuâtre si l'enduit est peu épais.	Ne disparaît pas.	Vert pré clair.	
Disparaît passagèrement.	Rouge brun ou noir.	Ne disparaît pas.	Bleu clair.	
Blanc.	Jaune citron.	Ne disparaît pas.		
Blanc.	Blanc.	Ne disparaît pas.		
Blanc jaunâtre.	Blanc.	Ne disparaît pas.	Bleu indigo intense.	

B. — ÉLÉMENTS DONT LES COMPOSÉS SONT RÉDUITS A L'ÉTAT MÉTALLIQUE MAIS NE DONNANT PAS D'ENDUIT.

I. — MÉTAUX QUI, APRÈS RÉDUCTION DE LEURS COMPOSÉS, NE DONNENT PAS UN GLOBULE FONDU

a]. — *Métaux magnétiques*

**87. — Fer.** — *Réduction sur la baguette de charbon.* — On n'obtient pas de globule métallique fondu ou de grains brillants; après avoir broyé la masse fondue dans le mortier d'agate, les particules de fer peuvent être séparées sous forme de houppes à l'aide d'un barreau aimanté. Ces particules laissent sur le papier à filtrer une tache jaune lorsqu'on les humecte avec une goutte d'eau régale et qu'on les chauffe légèrement au-dessus de la flamme; ces taches jaunes deviennent bleues si on les humecte d'une goutte de dissolution de ferrocyanure de potassium. Le papier que l'on utilise doit être préalablement essayé afin de s'assurer qu'il ne contient pas des traces de fer.

*Perle de borax.* — Dans la flamme d'oxydation: jaune ou rouge brun à chaud; jaune ou jaune

brunâtre à froid. Dans la flamme de réduction: vert bouteille.

**88. — Nickel.** — *Réduction sur la baguette de charbon.* — Les composés du nickel donnent des grains blancs, ayant l'éclat métallique, ductiles. Traités sur le papier à filtrer avec une goutte d'acide azotique, ils donnent un liquide vert qui, traité par la soude et soumis à l'action des vapeurs de brome, puis traité de nouveau par la soude, donne une tache noire de peroxyde de nickel.

*Perle de borax.* — Dans la flamme d'oxydation: violet foncé. Dans la flamme supérieure de réduction: grise, par suite de la séparation du nickel à l'état métallique; ces particules de métal se réunissent souvent sous forme d'éponge blanc d'argent formée de nickel, et alors la perle est incolore.

**89. — Cobalt.** — *Réduction sur la baguette de charbon.* — Grains ayant l'éclat métallique, blancs et ductiles, attirables par l'aimant sur lequel ils se réunissent sous forme de houppes. Ces grains métalliques, placés sur le papier à filtrer et humectés d'acide azotique, donnent une tache rouge, qui, par l'addition d'acide chlorhydrique, puis séchée, donne une tache verte; en mouillant cette tache, elle disparaît. Traitée par une disso-

lution de soude caustique et exposée aux vapeurs de brome, la dissolution azotique donne une tache noire brunâtre de peroxyde comme pour le nickel.

*Perle de borax.* — Perle bleu foncé dans les deux flammes.

b]. — *Métaux non magnétiques*

**90. — Palladium.** — *Traitement sur le fil de platine par le carbonate de sodium.* — Dans la région supérieure d'oxydation de la flamme, les composés du palladium donnent une masse grise ressemblant à de la mousse de platine. Cette masse, broyée dans le mortier d'agate, montre des grains métalliques brillants, blanc d'argent et ductiles. Après avoir été lavés et séchés, ces grains métalliques dissous dans l'acide azotique donnent une dissolution brun rougeâtre. En y ajoutant une goutte de cyanure de mercure et en soufflant dessus de l'air chargé de vapeurs ammoniacales, il se produit un précipité blanc floconneux qui se dissout en le traitant par quelques gouttes de solution d'ammoniaque.

**91. — Platine.** — *Traitement sur le fil de platine avec le carbonate de sodium.* — Les composés du platine donnent, dans la région supé-

rieure d'oxydation, une masse spongieuse grise qui, broyée dans le mortier d'agate, laisse voir des grains métalliques brillants, blanc d'argent et ductiles. Ces particules métalliques sont insolubles dans l'acide azotique et dans l'acide chlorhydrique, mais se dissolvent facilement dans l'eau régale. Si le platine est pur, la solution a une couleur jaune clair; si du palladium, du rhodium ou de l'iridium se trouvent présents, la solution est jaune brunâtre. Cette dissolution ne donne pas de précipité floconneux avec le cyanure de mercure sous l'action d'un courant d'air chargé de vapeurs ammoniacales, mais il se produit un précipité cristallin jaune clair de chloroplatinate d'ammonium, qui tombe au fond de la dissolution.

**92. — Iridium.** — *Traitement sur le fil de platine avec le carbonate de sodium.* — Dans la région supérieure d'oxydation, les composés de l'iridium donnent une poudre métallique qui n'est pas ductile et est sans éclat lorsqu'on broie la masse fondue dans le mortier d'agate. Cette poudre métallique est complètement insoluble, non seulement dans l'acide azotique et l'acide chlorhydrique, mais aussi dans l'eau régale. <sup>®</sup>

**93. — Rhodium.** — Les composés du rhodium ne peuvent se distinguer des composés de l'iridium

qu'en fondant la poudre métallique obtenue avec du bisulfate de potassium; le métal est alors partiellement oxydé et l'on obtient une solution d'un rouge rose.

**94. — Osmium.** — Dans la flamme d'oxydation, les composés de l'osmium dégagent des vapeurs d'acide osmique, ayant une odeur analogue à celle du chlore et attaquant très énergiquement les yeux.

II. — MÉTAUX QUI, APRÈS RÉDUCTION DE LEURS COMPOSÉS, DONNENT UN GLOBULE MÉTALLIQUE FONDU

**95. — Or.** — *Réduction sur la baguette de charbon avec le carbonate de sodium.* — On obtient des globules métalliques brillants, de couleur jaune et ductiles; la masse fondue, broyée dans le mortier d'agate, donne des paillettes d'or. Ces parties métalliques sont insolubles dans l'acide azotique et dans l'acide chlorhydrique, mais se dissolvent dans l'eau régale en donnant une dissolution jaune clair qui, placée sur du papier à filtrer et humectée de chlorure stanneux, donne la coloration caractéristique du pourpre de Cassius.

**96. — Argent.** — *Réduction sur la baguette de*

*charbon avec le carbonate de sodium.* — On obtient un globule métallique blanc, ductile, qui se dissout dans l'acide azotique en chauffant légèrement. Cette dissolution, traitée par l'acide chlorhydrique, donne un précipité blanc, caillebotte, insoluble dans l'acide azotique, mais soluble dans l'ammoniaque.

**97. — Cuivre.** — *Réduction sur la baguette de charbon avec le carbonate de sodium.* — On obtient un globule métallique ductile, rouge cuivre, qui se dissout dans l'acide azotique en donnant une solution bleue. Si une goutte de cette dissolution, mise sur du papier à filtrer, est humectée avec une goutte de solution de ferrocyanure de potassium, on obtient une tache brune.

*Perle de borax sur le fil de platine.* — Perle bleue qui devient brun rougeâtre dans la région inférieure de réduction lorsqu'on y ajoute un peu d'oxyde d'étain, par suite de la formation d'oxyde cuivreux. En chauffant la perle alternativement dans la flamme d'oxydation et de réduction, elle devient transparente et prend une couleur rouge rubis; cette réaction s'obtient mieux lorsque la perle réduite est oxydée très lentement.

**98. — Étain.** — *Réduction sur la baguette de charbon.* — On obtient un globule blanc et bril-

lant, soluble dans l'acide chlorhydrique et que l'acide azotique transforme en acide stannique insoluble. La dissolution chlorhydrique donne un précipité blanc avec l'azotate de bismuth et un excès de soude caustique.

C. — ÉLÉMENTS PLUS FACILES A RECONNAITRE PAR LES RÉACTIONS QUE DONNENT LEURS COMPOSÉS

A]. — MÉTAUX

**99. — Molybdène.** — Réduction sur la baguette de charbon. — Les composés du molybdène se réduisent difficilement sous forme de poudre grise.

*Perle de borax* (peu caractéristique). — Dans la flamme d'oxydation, perle d'abord incolore; lorsque la perle est sur le point d'être saturée, on obtient un émail bleuâtre. Dans la flamme de réduction, la perle se fonce par suite de la séparation de l'oxyde de molybdène.

*Réactions spéciales.* — La substance finement pulvérisée est mélangée, de manière à former une pâte, avec du carbonate de sodium fondu; le mélange est fondu, à la flamme de la lampe, sur une spirale de platine d'environ 2 à 3 millimètres de diamètre; lorsque la masse fondue est arrivée

au rouge blanc, on la fait tomber et on la dissout dans quelques gouttes d'eau chaude. On mouille du papier à filtrer avec le liquide clair qui surnage et l'on procède aux essais suivants: avec l'acide chlorhydrique et puis du ferrocyanure de potassium, on obtient une tache brun rougeâtre; avec du chlorure stanneux, ajouté peu à peu, on obtient une coloration bleue, soit directement, soit en chauffant; le sulfure d'ammonium donne une coloration brune et, après addition d'acide chlorhydrique, il se produit un précipité brun et le papier prend souvent, autour du précipité, une coloration bleue.

**100. — Tungstène.** — Les composés du tungstène sont fondus sur la spirale de platine de la même manière que les composés du molybdène, et la dissolution aqueuse est traitée sur du papier à filtrer par les réactifs suivants: acide chlorhydrique et ferrocyanure de potassium, pas de coloration; sulfure d'ammonium seul ou avec addition d'acide chlorhydrique, pas de précipité. Le papier, toutefois, dans ce dernier cas, devient bleu ou verdâtre, surtout si on le chauffe.

**101. — Titane.** — *Perle de sel de phosphore.* — Incolore dans la flamme d'oxydation; violet améthyste foncé dans la flamme de réduction. Par

l'addition d'un peu de sulfate ferreux, la perle chauffée dans la région inférieure de réduction prend une coloration particulière rouge sang.

*Traitement sur le fil de platine avec le carbonate de sodium.* — Les composés du titane se dissolvent et forment une perle incolore et transparente pendant qu'elle est chaude, opaque lorsqu'elle est froide. La perle chaude, humectée d'acide stanneux et chauffée dans la région inférieure de réduction, devient grise et se dissout, en chauffant, dans l'acide chlorhydrique; la dissolution est de couleur violet améthyste foncé.

**Tantale et niobium.** — Les composés de ces deux métaux se comportent comme ceux du titane.

**102. — Chrome.** — *Traitement sur la spirale de platine avec du carbonate de sodium.* — Fondus avec additions successives d'azotate de potassium, les composés du chrome donnent une masse jaune clair qui se dissout dans l'eau en communiquant à la dissolution la même couleur. Cette dissolution séparée du résidu, acidifiée par l'acide acétique et filtrée, donne un précipité jaune par l'acétate de plomb et un précipité rouge brun par l'azotate d'argent. Si on ajoute à la dissolution primitive du sulfure d'ammonium ou du chlorure stanneux, ou encore si on l'évapore après l'avoir

traitée par l'eau régale, la couleur de la dissolution passe du jaune au vert.

*Perle de borax.* — Dans les deux flammes la perle est vert émeraude.

**103. — Vanadium.** — *Traitement sur la spirale de platine avec le carbonate de sodium et l'azotate de potassium.* — On obtient une masse fondue de couleur jaunâtre. Cette masse dissoute et acidifiée par l'acide acétique donne un précipité jaune par l'azotate d'argent. La dissolution évaporée avec de l'eau régale ne se colore pas en vert, mais prend une teinte jaune ou brun jaune qui devient bleue lorsqu'on y ajoute du chlorure stanneux.

*Perle de borax.* — Perle jaune verdâtre dans la flamme d'oxydation; verte dans la flamme de réduction.

**104. — Manganèse.** — *Perle de borax.* — Perle violet améthyste dans la flamme d'oxydation; incolore dans la flamme de réduction.

*Traitement sur la spirale de platine avec le carbonate de sodium et l'azotate de potassium.* — On obtient une masse verte qui se dissout dans l'eau en la colorant également en vert. En acidifiant cette dissolution par l'acide acétique, elle devient rouge; elle devient ensuite incolore avec formation de flocons bruns.

**105. — Uranium.** — *Perle de borax.* — Perle jaune dans la flamme d'oxydation ; verte dans la flamme de réduction. La couleur des perles obtenues avec les composés de l'uranium et du fer est la même, mais les perles des composés de l'uranium se distinguent par ce fait qu'à *chaud* elles émettent une lumière vert bleuâtre.

*Perle de sel de phosphore.* — Perle d'un beau vert dans la flamme de réduction, tandis que les composés du fer donnent, dans les mêmes conditions, une perle rougeâtre devenant incolore par le refroidissement.

*Traitement sur la spirale de platine avec le bisulfate de potassium.* — Les composés insolubles de l'uranium sont décomposés par ce traitement. La masse fondue est pulvérisée avec un peu de carbonate de sodium, mouillée et déposée sur du papier à filtrer ; après l'avoir humectée d'un peu d'acide acétique, le ferrocyanure de potassium produit une tache brune.

B]. — MÉTALLOÏDES

**106. — Silicium.** — *Perle de sel de phosphore.* — Les silicates donnent un squelette infusible de silice qui nage dans la perle.

*Perle de carbonate de sodium.* — Dans la flamme d'oxydation, il se forme avec effervescence une perle transparente ; on en sépare de la silice gélatineuse lorsque cette perle est soigneusement évaporée avec de l'eau et de l'acide acétique.

**107. — Phosphore.** — La substance est chauffée, avec un fragment de fil de magnésium, dans un petit tube fermé d'un bout ; la masse devient incandescente. Le tube est brisé et le contenu, mouillé d'un peu d'eau, présente l'odeur caractéristique de l'hydrogène phosphoré. On peut remplacer le magnésium par le sodium pour effectuer cette réaction.

**108. — Soufre.** — *Traitement sur la baguette de charbon avec le carbonate de sodium.* — En chauffant dans la région inférieure de réduction de la flamme, on obtient une masse fondue qui, mise sur une pièce d'argent et humectée, produit une tache noire. Comme les composés du sélénium et du tellure donnent la même réaction, il est indispensable, au préalable, de s'assurer qu'il n'y a pas de composés de ces deux corps en effectuant l'essai indiqué pour obtenir des enduits (paragraphe 76 et 77).

Les sulfures sont facilement reconnaissables à l'odeur caractéristique des vapeurs d'acide sulfureux qui se dégagent lorsqu'on les chauffe.

celles que présentent les composés du plomb. En effet, ces derniers produisent un enduit jaune citron à chaud et jaune soufre à froid, en même temps que l'on obtient un globule métallique très malléable. La bournonite, au contraire, traitée dans les mêmes conditions, donne premièrement un enduit blanc d'oxyde d'antimoine, bientôt suivi d'enduits d'antimoniate de plomb, de sulfate de plomb et d'oxyde de plomb, de telle sorte que l'enduit le plus près de l'essai a une couleur jaune foncé qui ressemble beaucoup à un enduit de bismuth. Le globule qui reste est ordinairement noir et cassant et donne avec le borax, dans la flamme d'oxydation, une perle qui est verte à chaud et bleue à froid; dans la flamme de réduction, cette perle ne devient pas toujours brune et opaque, comme on pourrait s'y attendre; mais elle est souvent grise par suite de l'antimoine qu'elle contient.

Dans ces conditions, il est souvent possible de reconnaître la plupart, si ce n'est tous les éléments, qui entrent dans la composition d'un mélange, par un examen minutieux des diverses réactions et en comparant les résultats obtenus avec ceux que donnent d'autres substances. Il arrive très souvent, toutefois, que la méthode d'essai doit être considérablement modifiée et que,

V

ALERE FLAMMAM  
VERITATIS

RECHERCHE SPÉCIALE DE CERTAINS ÉLÉMENTS  
EN COMBINAISON

**109. — MÉTHODES D'ESSAIS.** — Les réactions décrites dans les chapitres précédents sont suffisantes pour permettre de reconnaître les composés chimiques simples. Toutefois, lorsqu'on se trouve en présence de composés complexes, que l'on rencontre fréquemment dans les analyses, les indications données précédemment sont presque toujours insuffisantes car, les réactions, données par les divers éléments qui peuvent se trouver réunis dans la substance à examiner, sont, dans beaucoup de cas, modifiées ou cachées par suite de la présence d'autres corps.

Par exemple, le minerai connu sous le nom de bournonite, qui contient non seulement du plomb, mais aussi de l'antimoine, du cuivre et du soufre, donne des réactions qui diffèrent entièrement de

dans certains cas, il devienne nécessaire d'employer la voie humide pour élucider certains points douteux.

Le présent chapitre contient une description du mode d'essai à employer dans les cas particuliers où la méthode habituelle doit être modifiée pour la recherche de certains éléments lorsqu'ils se trouvent en présence d'autres corps. On y trouvera les réactions les plus importantes qui permettront de déterminer certains éléments que l'analyse au chalumeau ne caractériserait pas suffisamment. Pour faciliter les recherches, les diverses substances sont disposées dans l'ordre alphabétique.

**110. — Acide azotique.** — En chauffant la substance parfaitement desséchée (n° 36) dans un petit matras avec du bisulfate de potassium, il se dégage des vapeurs rutilantes de peroxyde d'azote. Si l'on introduit dans le col du matras, qui, à cet effet, devra être assez long, une bande de papier imprégnée d'une dissolution de sulfate ferreux, ce papier, en présence de l'acide azotique, deviendra jaune ou brun.

Comme le chlore donne la même réaction, il est nécessaire, lorsque la substance à essayer peut contenir des composés chlorés, de remplacer le bisulfate de potassium par de la litharge ne conte-

nant pas de peroxyde de plomb. La litharge absorbe d'abord l'acide azotique, mais l'abandonne lorsqu'on chauffe à une température plus élevée.

**111. — Acide phosphorique.** — Pour les réactions de l'acide phosphorique, voir les paragraphes 46 et 107.

La substance pulvérisée est placée dans un petit tube à essai fermé d'un bout avec un morceau de fil de magnésium d'environ 5 millimètres de longueur ou avec un fragment de sodium, en ayant soin que ces corps soient complètement noyés dans la substance à essayer. En chauffant, la masse devient incandescente et il se forme du phosphure de magnésium ou de sodium. En brisant le tube, on peut retirer son contenu que l'on mouille avec de l'eau ; aussitôt il se dégage l'odeur caractéristique de l'hydrogène phosphoré (n° 64).

**112. — Ammonium.** — La substance est mélangée avec du carbonate de sodium ou de la potasse caustique et ensuite chauffée dans un tube fermé d'un bout. L'ammoniaque se dégage et se reconnaît à son odeur et aux vapeurs qu'elle produit lorsqu'une baguette de verre mouillée d'acide chlorhydrique est tenue tout près de l'ouverture du tube.

Il ne faut pas oublier que les composés organiques

contenant de l'azote, traités de cette manière, se décomposent en produisant également des vapeurs ammoniacales.

**113. — Antimoine.** — Pour les réactions de l'antimoine et de ses composés, voir les paragraphes 11, 16, 25, 62, 63 et 78, ainsi que le n° 16 du tableau page 244.

Pour découvrir l'antimoine en présence d'autres métaux donnant des vapeurs, l'enduit obtenu sur le charbon est mouillé avec une goutte d'acide iodhydrique que l'on prépare en faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré dans de l'eau contenant de l'iode en suspension. En chauffant de nouveau, après cette opération, l'enduit d'antimoine prend une belle couleur rouge; celui de bismuth devient brun; celui de plomb, jaune clair, et celui de cadmium, blanc. (Haanel. Voir également paragraphe 63.)

**114.** — En présence du *plomb* et du *bismuth*, l'antimoine ne peut être caractérisé par l'enduit seul. Dans ce cas, l'essai (n° 45 ou 81) est chauffé sur le charbon avec de l'acide borique fondu, qui dissout les oxydes de plomb et de bismuth, tandis que l'oxyde d'antimoine se dépose sur le charbon. La température ne doit pas être trop élevée.

**115.** — L'antimoine en présence du *cuivre* est

d'autant plus difficile à séparer que l'on n'obtient un enduit qu'avec peine. Par exemple, pour la tétraédrite (n° 82), on traite d'abord avec le sel de phosphore jusqu'à ce qu'une partie de l'antimoine passe dans la perle; celle-ci est alors séparée du globule métallique et chauffée sur le charbon, avec un peu d'étain, dans la flamme de réduction. En présence de l'antimoine, la perle devient grise ou noire. [Voir n° 16 du tableau, page 244.] Si la substance à essayer contenait également du bismuth, qui se comporte comme l'antimoine, il faudrait avoir recours aux procédés de la méthode par voie humide.

**116.** — *Oxydes d'antimoine, d'étain et de cuivre.* — La substance est traitée avec un mélange de carbonate de sodium et de borax dans la flamme de réduction; le globule métallique formé, séparé de la perle vitreuse, est alors fondu avec 3 à 4 fois son volume de plomb pauvre et un peu d'acide borique dans la flamme de réduction. Le cuivre reste à l'état métallique, l'étain passe dans la scorie et l'antimoine forme un enduit sur le charbon.

**117.** — *Sulfure d'antimoine et sulfure de plomb.* — Quoique le sulfure d'antimoine produise la réaction décrite dans le paragraphe 16, il donne

seulement en présence du plomb un enduit très léger d'oxyde d'antimoine. Le résidu, sous forme de poudre blanche, est un mélange de tétr oxyde d'antimoine, de sulfate de plomb et d'antimoniate de plomb. Pour la recherche de l'antimoine on procède comme il est indiqué au paragraphe 169.

*Sulfure d'antimoine et sulfure de plomb ou de bismuth.* — Sur le charbon, dans la flamme de réduction, il se forme, près de l'essai, un enduit jaune d'oxyde de plomb ou d'oxyde de bismuth et, au delà, un enduit blanc d'oxyde d'antimoine mélangé avec du sulfate de plomb ou du sulfate de bismuth. L'antimoine est caractérisé comme il est indiqué au paragraphe 169.

**118.** — Pour découvrir de petites quantités de sulfure d'antimoine en présence du *sulfure d'arsenic*, Plattner indique la méthode suivante. L'essai (n° 23) est chauffé doucement dans un tube fermé d'un bout; le sulfure d'arsenic se volatilise et la majeure partie du sulfure d'antimoine reste sous forme de poudre noire au fond du tube. On coupe ensuite l'extrémité fermée du tube et la substance, chauffée alors dans un tube ouvert, donne la réaction caractéristique de l'antimoine.

**119.** — **Argent.** — Pour les réactions de l'argent et de ses composés, voir les para-

graphes 29, 62, 63, 96 et le n° 17 du tableau, page 246.

L'argent en présence de métaux volatils (bismuth, plomb, zinc, antimoine) est chauffé fortement sur le charbon; après volatilisation de ces métaux, on obtient un globule d'argent entouré d'un enduit rougeâtre. Une forte proportion de plomb ou de bismuth est mieux enlevée par coupellation. L'opération s'effectue de la manière suivante : on mélange de la cendre d'os finement pulvérisée avec un peu de carbonate de sodium et on en fait une pâte épaisse avec de l'eau; cette pâte est ensuite placée dans une cavité pratiquée sur le charbon. La surface de cette pâte est alors légèrement rendue concave et unie à l'aide d'un pilon en agate, puis la masse est séchée en chauffant légèrement. La substance, placée dans cette petite coupelle, est chauffée jusqu'à ce que le bismuth et le plomb soient oxydés complètement et les oxydes formés absorbés plus ou moins complètement par la cendre d'os. L'argent, ou l'alliage, si l'or est également présent, reste sous forme d'un bouton métallique brillant (n° 48).

**120.** — Allié avec le *cuivre*, le *nickel* et autres métaux oxydables mais non volatils, l'argent peut

être découvert en traitant l'essai avec le borax ou le sel de phosphore dans la flamme d'oxydation. L'argent seul reste, les autres métaux étant passés à l'état d'oxydes qui sont dissous par le flux. Si la quantité d'argent est petite par rapport à celle des autres métaux, il est préférable d'employer la méthode ci-après qui permet de découvrir l'argent seul ou allié à l'or.

**121.** — La substance (n° 82) est pulvérisée et placée dans un trou cylindrique pratiqué sur un morceau de charbon; on la mélange avec du borax fondu et pulvérisé et du plomb pauvre. Pour une partie de substance, on ajoute une partie de borax et de 5 à 10 parties de plomb suivant que les métaux non volatils sont en plus ou moins grande quantité. On chauffe avec une forte flamme de réduction jusqu'à ce que le métal forme un globule et que la scorie ne contienne plus de parties métalliques. Cela fait, on chauffe à la flamme d'oxydation que l'on dirige principalement sur le globule métallique. Le soufre, l'arsenic, l'antimoine et autres éléments volatils disparaissent, tandis que le fer, l'étain et le cobalt, ainsi qu'une partie du cuivre et du nickel, s'oxydent et les oxydes formés se dissolvent dans le flux. L'argent, l'or et la majeure partie du cuivre et du nickel restent avec

le plomb et avec le bismuth si ce dernier est présent. Dès que les éléments volatils sont complètement chassés, le plomb lui-même commence à s'oxyder et le globule métallique prend un mouvement de rotation. A ce moment, on laisse refroidir et le globule de plomb est séparé de la masse vitreuse qui l'entoure en brisant cette dernière avec un marteau. Le globule est placé alors sur une coupelle et chauffé de nouveau jusqu'à ce que le mouvement de rotation recommence. Lorsque la substance contient du cuivre et du nickel en grande quantité, le globule se recouvre d'une croûte d'oxydes épaisse et infusible qui empêche l'oxydation de la masse intérieure; dans ce cas, il faut ajouter une petite quantité de plomb pauvre et continuer à chauffer jusqu'à ce que le plomb, le cuivre, le nickel, etc., soient entièrement oxydés. Lorsque l'essai ne contient qu'une petite quantité d'argent, la fin de l'opération se reconnaît à ce que le mouvement de rotation cesse; mais, lorsque l'argent se trouve en plus forte proportion, le globule, au moment où l'opération va être terminée, se recouvre d'une mince pellicule présentant toutes les couleurs de l'arc-en-ciel et, au bout de quelques secondes, le globule prend l'aspect brillant de l'argent pur. Les oxydes de plomb, de

civre, etc., ont été absorbés par la cendre d'os et l'argent allié aux autres métaux nobles reste seul. L'or est ensuite recherché en suivant les indications du paragraphe 167.

Le chlorure d'argent traité sur le charbon avec le carbonate de sodium, est réduit à l'état métallique.

**122. — Arsenic.** — Les réactions de l'arsenic et de ses composés sont données dans les paragraphes 11, 15, 34, 62, 63 et 79.

Tous les arséniures chauffés dans le tube ouvert donnent un dépôt d'acide arsénieux (voir § 15) ; la plupart d'entre eux chauffés à la flamme de réduction sur le charbon dégagent l'odeur caractéristique d'arsenic <sup>1</sup> (voir § 34) (n° 73). Lorsque, par suite de la présence du nickel ou du cobalt, l'odeur ne se produit pas, on peut l'obtenir dans la plupart des cas en fondant l'essai avec du plomb pauvre dans la flamme d'oxydation.

**123. — Sulfure d'arsenic.** — Lorsqu'on le chauffe dans le tube ouvert, il se dégage de l'acide sulfureux et il se forme un sublimé d'acide arsénieux. Pour trouver sûrement l'arsenic dans certaines de

<sup>1</sup> D'après Vogel, on obtient beaucoup mieux le dégagement de l'odeur d'arsenic en formant une pâte avec la substance à essayer, du charbon en poudre et une dissolution étendue de gomme laque ; on fait avec cette pâte de petits crayons qui sont brûlés dans la flamme.

ses combinaisons avec le soufre, l'essai pulvérisé (n° 76) est chauffé avec six fois son volume d'un mélange à parties égales de cyanure de potassium et de carbonate de sodium. Le mélange est introduit dans un petit matras où on le chauffe d'abord doucement, puis plus fortement jusqu'à ce que l'on arrive à la température du rouge. On obtient alors un dépôt métallique d'arsenic sur les parties froides du col du matras. Pour que cette réaction caractéristique se produise, il est nécessaire que la substance à essayer et les réactifs soient parfaitement desséchés. Par conséquent, si des traces d'humidité apparaissent lorsqu'on commence à chauffer, il faut soigneusement les enlever à l'aide d'un rouleau de papier à filtrer.

**124.** — Lorsque le sulfure d'arsenic est chauffé le charbon, il peut arriver que la totalité de l'arsenic, surtout s'il n'y en a qu'une très faible sur quantité, soit chassée de sa combinaison avec le soufre. On évite cet inconvénient en mélangeant l'essai (n° 23) avec 3 à 4 parties d'oxalate neutre de potassium ou de cyanure de potassium et l'on chauffe dans la flamme de réduction. Il se forme du sulfure de potassium et l'arsenic, lorsqu'il n'est pas combiné avec le nickel ou le cobalt, se dégage en produisant son odeur caractéristique.

**125.** — D'après Berzélius, la présence d'une très petite trace d'*acide arsénieux* peut facilement être retrouvée de la manière suivante. Une parcelle de la substance est introduite au fond d'un tube fermé (fig. 19) et un fragment de charbon, venant d'être

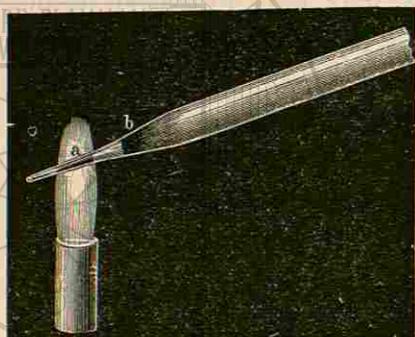


Fig. 19.

porté au rouge, est placé immédiatement au-dessus de l'essai; on commence par chauffer le charbon, puis on chauffe la substance de manière à porter le tout à une température supérieure au rouge. L'*acide arsénieux* est réduit à l'état métallique et les vapeurs d'arsenic passent à travers le charbon incandescent pour former un enduit brillant sur les parois du tube au-dessus de la partie chauffée; en cassant le tube entre les points *a* et *b*, puis en chauffant, on perçoit l'odeur caractéristique de l'arsenic (n° 41).

**126.** — Pour constater la présence de l'arsenic dans les *arséniates* et les *arsénites*, le traitement par le carbonate de sodium ou par un mélange de cesel avec le cyanure de potassium suffit dans la plupart des cas (voir § 123). Toutefois, lorsqu'on se trouve en présence de très petites quantités d'arséniates ou d'arsénites de métaux facilement réductibles, il faut avoir recours aux méthodes de la voie humide.

**127. — Bismuth.** — Pour les réactions du bismuth et de ses composés, voir les paragraphes 12, 17, 26, 62, 63, 80 et le n° 19 de la table, page 248.

Lorsqu'il est à l'état d'alliage, comme on le trouve généralement dans la nature et dans les produits métallurgiques, le bismuth est ordinairement caractérisé par l'enduit qu'il produit. Lorsqu'il est combiné avec le soufre, l'enduit de couleur jaune est entouré d'un enduit blanc de sulfate de bismuth. On peut, toutefois, empêcher la formation de ce dernier en ajoutant à l'essai du carbonate de sodium. ®

Pour rechercher le bismuth lorsqu'il se trouve en présence d'autres métaux donnant comme lui des enduits, l'antimoine excepté, l'enduit est enlevé de sur le charbon par grattage et on le dissout dans

une perle de sel de phosphore, sur le fil de platine, en chauffant dans la flamme d'oxydation; on fait ensuite tomber la perle en frappant sur le fil de platine et on la réduit sur le charbon avec un peu d'étain; la présence du bismuth est indiquée par la coloration grise ou noire de la perle. L'antimoine donne la même réaction; aussi, si ce métal est présent, l'essai doit être préalablement chauffé dans la flamme d'oxydation jusqu'à ce que l'antimoine soit chassé totalement. D'après Kobell, tout composé contenant du bismuth chauffé sur un large morceau de charbon avec un mélange à parties égales d'iodure de potassium et de soufre (ou avec de l'iodure de potassium seul, si la substance contient déjà du soufre) donne un enduit caractéristique d'un beau rouge à une certaine distance de l'essai. Les substances contenant du plomb, traitées de la même manière, produisent un enduit jaune foncé qui n'empêche pas la réaction du bismuth de se produire. (Voir également § 63.)

**128.**—Cornwall a modifié de la manière suivante la méthode de Kobell pour la recherche du bismuth en présence de l'*antimoine* et du *plomb*. La substance mélangée avec un volume égal de soufre est placée dans un creux profond pratiqué sur un morceau de charbon et chauffée pendant

très peu de temps avec la partie bleue de la flamme. Le sulfure fondu qui se forme est alors amené sur la partie plane du charbon et chauffé alternativement avec la flamme d'oxydation et la flamme de réduction jusqu'à ce que les vapeurs cessent de se dégager et que la coloration bleue de la flamme, due au plomb, vienne à se produire. Le résidu pulvérisé est additionné d'une quantité égale d'un mélange formé d'une partie d'iodure de potassium et de cinq parties de soufre. Le tout est chauffé dans un tube ouvert, de 10 à 12 centimètres de longueur et de 10 millimètres de diamètre, au-dessus d'une lampe à gaz ou d'une lampe à alcool. Un enduit très net d'iodure de bismuth de couleur rouge se forme à environ 10 millimètres au-dessus de l'enduit jaune d'iodure de plomb. Le sublimé d'iode, qui peut se former en outre à une certaine distance de l'essai, ne doit pas être confondu avec l'enduit de bismuth.

**129.**—**Bore.**— Pour obtenir la coloration vert jaunâtre que l'acide borique communique à la flamme du chalumeau, le sel (n° 26) doit être finement pulvérisé, humecté avec une goutte d'acide sulfurique concentré et tenu dans la flamme à l'aide du fil de platine.

La coloration de la flamme se produit beaucoup

mieux en mélangeant la substance finement pulvérisée avec 4 parties de bisulfate de potassium et 1 partie de fluorure de calcium (Turner). Le mélange humecté avec une goutte d'eau est placé dans la flamme et tenu dans la boucle du fil de platine; à la fusion, il se forme du fluorure de bore qui colore la flamme en vert pur. Comme cette coloration n'est que momentanée, il faut beaucoup d'attention pour l'apercevoir.

Une autre réaction, très bonne, a été indiquée par Iles. La substance finement pulvérisée et placée sur une feuille de platine est humectée avec de l'acide sulfurique; l'excès d'acide est chassé en chauffant et on forme une pâte avec la poudre qui reste et de la glycérine. Cette pâte mise sur le fil de platine est chauffée dans la flamme qui se colore alors en vert.

La présence du cuivre masque la réaction donnée par le fluorure, parce qu'il se forme du fluorure de cuivre qui colore la flamme en vert intense. L'essai avec la glycérine peut toutefois être employé dans ce cas particulier, car, si le cuivre se trouve en quantité suffisante pour colorer la flamme en vert avant qu'on n'ait ajouté la glycérine, il suffit d'ajouter à la pâte un peu de carbonate de sodium pour que la coloration jaune, due au so-

dium, masque la coloration verte produite par le cuivre, sans empêcher celle que donne le bore (Hutchings).

**130.** — La réaction suivante est des plus sensibles pour caractériser les *borates* alcalins et ceux des métaux alcalino-terreux. L'essai est dissous dans l'acide chlorhydrique étendu et on plonge en partie dans la dissolution un fragment de papier de curcuma; on sèche ensuite le papier à 100° et la portion de papier qui a été en contact avec le liquide prend alors une coloration rouge brunâtre lorsque l'acide borique s'est trouvé présent. Cette coloration ne doit pas être confondue avec la coloration brun foncé que l'acide chlorhydrique concentré communique au papier de curcuma.

La coloration rouge de ce papier passe au noir verdâtre ou bleuâtre lorsqu'on le mouille avec une dissolution alcaline.

**131. — Brome.** — La manière dont se comportent les composés du brome en présence du bisulfate de potassium est indiquée paragraphe 64. ®

Si à une perle de sel de phosphore contenant de l'oxyde de cuivre on ajoute un composé de brome et que l'on chauffe avec la pointe de la partie bleue de la flamme, cette dernière se colore en bleu verdâtre particulièrement sur le bord (n° 31). Après

volatilisation du brome, la coloration verte, due au cuivre, réapparaît. Le chlore donne la même réaction. (Voir § 133.)

**132. Cadmium.** — Pour les réactions du cadmium et de ses composés, voir les paragraphes 11, 36, 62, 63, 84 et le n° 20 du tableau, page 249.

*Oxydes de cadmium et de zinc.* — L'essai pulvérisé est mélangé avec du carbonate de sodium et chauffé sur le charbon dans la flamme de réduction. Il se forme d'abord un enduit brun d'oxyde de cadmium, puis un enduit d'oxyde de zinc qui est moins volatil (n° 50).

**133. — Chlore.** — Les réactions données par les composés du chlore sur le charbon sont indiquées au paragraphe 40; celles qu'ils donnent avec le bisulfate de potassium sont données au paragraphe 64.

On commence par dissoudre de l'oxyde de cuivre dans une perle de sel de phosphore sur le fil de platine, et cela jusqu'à ce que la perle devienne presque opaque; cela fait, on prend un peu de l'essai pulvérisé (n° 33), on le place sur la perle et on amène la pointe de la partie bleue de la flamme un peu au-dessus de la substance. En présence du chlore, la flamme prend une coloration bleue

intense due à la formation du chlorure de cuivre (voir § 42). Des traces de chlore sont décelées par cette réaction. Le brome produit un effet semblable.

**134.** — Lorsqu'un *chlorure* est doucement chauffé avec du chromate de potassium sec et de l'acide sulfurique concentré, il se dégage des vapeurs d'acide chlorochromique de couleur rouge brunâtre foncé, qui se condensent en un liquide de même couleur. L'ammoniaque fait passer ce liquide au jaune.

**135. — Chrome.** — Pour les réactions du chrome et de ses composés, voir les paragraphes 41, 60, 62, 66, 67, 102 et le n° 22 du tableau, page 252.

Les réactions obtenues avec le borax et le sel de phosphore sont généralement très caractéristiques; cependant les colorations sont souvent masquées par la présence d'une grande quantité de fer, de cuivre ou d'autres substances donnant une coloration intense. Dans ces cas particuliers, lorsqu'il n'est pas combiné avec la silice, la recherche du chrome peut s'effectuer de la manière suivante: l'essai finement pulvérisé est mélangé avec le double de son volume de carbonate de sodium et d'azotate de potassium pris par parties égales et ensuite fondu dans une cuillère de platine ou dans

une spirale de fil de platine à l'aide d'une forte flamme oxydante. Il se forme un chromate alcalin que l'on dissout dans l'eau et que l'on fait bouillir avec un excès d'acide acétique. Un cristal d'acétate de plomb, jeté dans la dissolution, produit un précipité jaune de chromate de plomb que l'on recueille sur un filtre et que l'on soumet ensuite aux essais avec le borax et le sel de phosphore. Si au lieu d'acétate de plomb, on ajoute de l'azotate d'argent, il se produit un précipité rouge pourpre foncé de chromate d'argent.

**136.** — Les *silicates* contenant peu de chrome en même temps que du fer ou des oxydes métalliques colorant fortement les perles sont d'abord traités sur le charbon avec une partie de carbonate de sodium et une demi-partie de borax dans la flamme d'oxydation jusqu'à ce qu'une perle transparente soit formée ; cette perle est ensuite pulvérisée et traitée avec de l'acide chlorhydrique dans une capsule de porcelaine et l'on évapore à sec. Les chlorures ainsi formés sont dissous dans l'eau et séparés de la silice formée par filtration ; le fer est oxydé en le faisant bouillir avec quelques gouttes d'acide azotique et l'on précipite par l'ammoniaque l'oxyde basique de chrome en même temps que les autres substances. Le précipité recueilli sur un

filtre et lavé est ensuite traité, comme il a été dit plus haut, avec le carbonate de sodium et l'azotate de potassium.

**137.** — **Cobalt.** — Les réactions de cobalt et de ses composés sont données dans les paragraphes 41, 62, 63, 89 et dans le n° 20 du tableau page 249. Pour la recherche du cobalt en présence d'autres métaux, voir les paragraphes 145, 148 et 153.

Pour rechercher le cobalt dans les composés métalliques, il est nécessaire que la substance soit finement pulvérisée et grillée sur le charbon, afin de chasser l'arsenic et le soufre. Dans ces conditions, lorsque le plomb et le bismuth se trouvent présents, il se produit des enduits sur le charbon. Le résidu est ensuite chauffé avec du borax dans la flamme d'oxydation. S'il se forme un verre qui ne soit pas d'un bleu absolument pur, cela indique la présence du fer. (Voir § 147.) Dans ce cas, on enlève le verre formé autour de l'essai et on ajoute de nouvelles quantités de borax jusqu'à ce qu'on obtienne une coloration d'un bleu bien net. Le nickel et le cuivre passent dans le flux, lorsque le cobalt présent a été oxydé. Pour la recherche de ces métaux, le verre bleu est séparé de la perle que l'on fond (dans la flamme d'oxydation) avec

de nouvelles portions de borax jusqu'à ce que le verre formé devienne brun sous l'action de l'oxyde de nickel. Après avoir enlevé ce verre, on ajoute du sel de phosphore et l'on chauffe, toujours avec la flamme d'oxydation, et l'on obtient, lorsque la substance contient du cuivre, une perle verte, qui à froid conserve sa couleur et réduite sur le charbon avec un peu d'étain devient rouge et trouble (n<sup>os</sup> 74 et 75).

**138.** — Le procédé qui vient d'être indiqué peut être modifié pour permettre de mieux séparer le nickel et le cuivre. Pour cela, on ajoute au borax un peu de plomb pauvre et l'on chauffe dans la flamme de réduction. Le nickel et le cuivre passent dans le globule de plomb ; le verre formé est examiné sur le fil de platine pour la recherche du cobalt, tandis que le globule de plomb, chauffé dans la flamme d'oxydation avec du sel de phosphore, devient vert à froid en présence du nickel et du cuivre. Le nickel seul donne une perle jaune et le cuivre seul une perle bleue qui, par réduction sur le charbon avec de l'étain, donne une perle trouble de couleur rouge.

**139. — Cuivre.** — Pour les réactions du cuivre et de ses composés, voir les paragraphes 24, 41, 56, 62, 63, 97 et le n<sup>o</sup> 25 du tableau, pages 254 et 255.

Le cuivre est facile à caractériser par la perle brune de borax et la perle rouge de sel de phosphore que l'on obtient lorsque ces perles, produites dans la flamme d'oxydation, sont ensuite chauffées sur le charbon avec de l'étain dans la flamme de réduction. En oxydant et en réduisant à plusieurs reprises, la perle de borax devient rouge rubis, particulièrement lorsque la perle réduite est ensuite oxydée très lentement.

**140.** — Pour rechercher des traces de cuivre en présence d'autres métaux, l'essai (n<sup>os</sup> 24, 82 ou 81) est chauffé sur le charbon dans la flamme d'oxydation afin de chasser tous les composés volatils. De l'acide borique, préalablement fondu sous forme de perle, est alors ajouté et le tout est chauffé dans une large flamme de réduction qui doit recouvrir l'essai. Dès que l'essai prend un aspect métallique, on chauffe le verre avec la pointe de la flamme oxydante, mais en ayant soin de ne pas effleurer le globule métallique. En procédant ainsi, le plomb, le fer, le cobalt, une partie du nickel et aussi les composés volatils que le grillage préalable n'aurait pas complètement chassés, tels que le bismuth, l'antimoine et le zinc, sont transformés en oxydes et sont ou volatilisés ou absorbés par le verre formé. Le globule métallique qui reste

est séparé de ce verre, dissous sur le charbon dans le sel de phosphore à l'aide de la flamme d'oxydation et réduit ensuite en présence de l'étain dans la flamme de réduction.

**141.** — Pour rechercher le cuivre dans des composés contenant beaucoup de nickel, de cobalt, de fer et d'arsenic, on traite d'abord l'essai avec le borax sur le charbon, dans la flamme de réduction, afin de dissoudre la majeure partie du fer et du cobalt. Le globule métallique qui reste est alors chauffé avec du plomb pauvre et de l'acide borique, comme il a été indiqué ci-dessus. L'arsenic est volatilisé et le reste du fer et du cobalt ainsi qu'une partie du nickel sont absorbés par le borax. Le globule métallique, séparé du verre formé, est dissous dans le sel de phosphore avec une flamme oxydante ; dans ces conditions, la présence du cuivre est indiquée par la coloration vert foncé de la perle qui devient vert clair par le refroidissement, coloration due au mélange de la couleur jaune que produit le nickel et de la couleur bleue donnée par le cuivre (n° 78).

Pour la recherche du cuivre en présence de l'étain, voir le paragraphe 145.

**142.** — Si le cuivre est combiné avec le soufre, l'essai est grillé sur le charbon et l'on examine

ensuite la manière dont il se comporte avec le sel de phosphore. Si la perle est noire ou grise, cela provient de la présence de l'antimoine ou du bismuth, et il faut, après grillage, traiter l'essai avec du carbonate de sodium, du borax et du plomb pauvre sur le charbon dans la flamme de réduction ; le globule métallique séparé est alors fortement chauffé pour chasser l'antimoine, puis on ajoute du borax et l'on continue comme il est indiqué au paragraphe 140 (n° 72).

**143.** — Les minerais cuprifères donnent souvent une coloration verte à la partie non éclairante de la flamme, ou une coloration bleue lorsque le métal est combiné au chlore. Si cette réaction ne se produit pas immédiatement, on peut, dans la plupart des cas, la faire apparaître en pulvérisant la substance, l'humectant avec une goutte d'acide chlorhydrique concentré, puis évaporant à sec ; on prend la poudre qui reste, on en fait une pâte avec de l'eau et on la place sur la boucle de platine pour la mettre dans la flamme (n° 69).

**144.** — **Étain.** — Les réactions de l'étain et de ses composés sont données dans les paragraphes 12, 28, 61, 62, 63, 98 et dans le n° 26 du tableau, pages 256 et 257. Si une petite quantité d'un composé de l'étain est ajoutée à une perle

de borax colorée en bleu par l'oxyde de cuivre et qu'on la chauffe dans la flamme de réduction, la perle se colore en brun.

Les substances contenant de l'étain à l'état d'oxyde sont chauffées sur le charbon avec du carbonate de sodium et du borax dans la flamme de réduction. On obtient ainsi un globule métallique d'étain très facile à fondre. Ce globule, séparé du flux et chauffé dans la flamme d'oxydation, se transforme en oxyde blanc, qui se dépose sur le charbon tout auprès de l'essai. Traité par la solution d'azotate de cobalt, cet enduit devient vert bleuâtre. Lorsque l'étain se trouve en présence du zinc, dont les réactions sont analogues, l'étain peut être caractérisé par l'enduit d'iode qu'il forme. (Voir § 63.) Lorsqu'on a des sulfures, on les grille avant de les soumettre au traitement indiqué ci-dessus.

**145.** — Dans les alliages métalliques, l'étain est facile à caractériser parce que le globule obtenu n'est jamais brillant ni exempt d'oxyde, même en employant une flamme de réduction très puissante.

Les alliages de cuivre et d'étain (métal à canon, métal de cloche et bronze) sont examinés comme suit : La substance est fondue dans la flamme de réduction avec un flux composé d'une partie de carbonate de sodium, d'une moitié de borax et

d'un tiers de silice; on chauffe jusqu'à ce que le globule métallique prenne un mouvement de rotation. On chauffe alors avec la flamme d'oxydation, principalement le verre formé, et de manière que le globule métallique soit en contact d'un côté avec le verre, de l'autre avec le charbon. L'étain s'oxyde et l'oxyde formé se dissout dans la perle, tandis que le cuivre reste. On sépare ce dernier pour le traiter par le sel de phosphore, tandis que le verre est pulvérisé et réduit sur le charbon avec du carbonate de sodium ou de potassium (n° 49).

**146.** — **Fer.** — Pour les réactions du fer et de ses composés, voir les paragraphes 12, 24, 41, 62, 87 et le n° 27 du tableau, pages 258 et 259. Afin de distinguer le protoxyde du peroxyde, on ajoute un fragment de la substance à une perle de borax contenant du cuivre. En présence du peroxyde, la perle se colore en gris bleuâtre, tandis qu'avec le protoxyde on voit des raies rouges d'oxyde cuivreux.

Pour rechercher le fer en présence de métaux facilement fusibles, tels que le plomb, le bismuth, l'antimoine, l'étain ou le zinc, on chauffe la substance sur le charbon avec du borax et à l'aide de la flamme de réduction. Les métaux facilement réductibles ne s'oxydent pas et ne sont par consé-

quent pas absorbés par le verre. Le verre formé, séparé du globule métallique, est chauffé sur un morceau de charbon neuf dans la flamme de réduction et prend alors la couleur caractéristique vert bouteille donnée par le fer, couleur qui devient vert couperose lorsqu'on ajoute un peu d'étain.

**147.** — En présence du cobalt, la perle devient bleue au lieu de prendre la couleur verte. Dans ce cas, pour rechercher le fer, on chauffe la perle bleue sur le fil de platine dans la flamme d'oxydation pendant suffisamment de temps pour que tout le fer soit transformé en peroxyde. Lorsqu'il y a très peu de fer, la perle devient verte à chaud et bleue à froid; lorsque le fer est en plus grande quantité, la perle est vert foncé à chaud et vert pur à froid; cette dernière coloration provient du mélange des couleurs jaune et bleue produites respectivement par le fer et le cobalt.

Le résidu métallique restant sur le charbon après que la substance a été traitée par le borax (souvent du nickel et du cuivre) est ensuite examiné d'après la méthode indiquée dans le paragraphe 140.

**148.** — Lorsque la substance contient du manganèse (n<sup>os</sup> 80 et 65), la perle de borax obtenue dans la flamme d'oxydation prend une coloration allant du

rouge au rouge sang. Réduite avec l'étain sur le charbon, sa couleur devient vert couperose. Si, en même temps que du manganèse, il y a du cobalt, on obtient dans la flamme extérieure une perle violet foncé qui, portée dans la flamme de réduction, devient verte à chaud et bleue en refroidissant.

**149.** — Pour rechercher le fer dans les minerais de nickel, on dissout l'essai dans le borax à la flamme d'oxydation et on le chauffe ensuite sur le charbon dans la flamme de réduction. Le nickel métallique se sépare et le fer reste en dissolution dans le verre qu'il colore en vert.

**150.** — Si la substance contient du fer et du cuivre, la perle de borax obtenue dans la flamme d'oxydation est verte aussi bien à chaud qu'à froid; chauffé ensuite sur le charbon dans la flamme de réduction, le cuivre se sépare de la perle et le verre prend la couleur verte due au fer. Si la substance contient peu de cuivre, l'essai est fondu avec du borax, du carbonate de sodium et du plomb pauvre; le globule métallique obtenu est chauffé ensuite avec de l'acide borique dans la flamme d'oxydation; on recherche le cuivre avec le sel de phosphore et l'étain.

**151.** — Lorsque le fer se trouve en présence du

chrome, la couleur du verre ne donne aucune indication sur la présence du fer. On fond la substance sur le charbon dans la flamme de réduction après l'avoir mélangée à du carbonate de sodium ; le fer réduit est séparé du flux par lavage et le résidu est alors fondu avec de l'azotate de potassium afin de rechercher le chrome.

**152.** — Les oxydes de fer et d'uranium ne peuvent être distingués l'un de l'autre par les méthodes de la voie sèche. Pour les séparer, l'essai est fondu avec du bisulfate de potassium, traité ensuite par l'eau, et l'on précipite le fer de la dissolution par du carbonate d'ammonium ; on filtre et le liquide filtré acidifié est porté à l'ébullition afin de chasser l'acide carbonique : l'ammoniaque mise ainsi en liberté produit un précipité jaune d'oxyde d'uranium. Les deux oxydes ainsi séparés sont ensuite examinés (n° 66).

**153.** — Lorsque la substance contient du fer, du nickel, du cobalt, du manganèse et du cuivre, on la fond avec de l'arsenic métallique ou avec de l'arséniate de potassium et la masse, traitée par le borax dans les différentes parties de la flamme d'oxydation, donne un verre qui est :

d'abord vert jaunâtre.....	<i>fer</i>
puis bleu.....	<i>cobalt</i>
puis brun.....	<i>nickel</i>
enfin vert.....	<i>cuivre</i>

Sous l'action de la flamme réductrice, le nickel et le cuivre peuvent être séparés de la perle de borax, tandis que le fer, le cobalt et le manganèse restent en dissolution et ce mélange est ensuite examiné comme il est indiqué au paragraphe 148.

**154.** — **Fluor.** — Les composés du fluor, chauffés avec quatre fois leur poids de bisulfate de potassium dans un tube fermé d'un bout, laissent dégager de l'acide fluorhydrique qui fait passer au jaune paille un papier imprégné d'extrait de bois de Fernambouc et qui aussi attaque le verre tout autour de l'essai. Il est préférable de chauffer ce mélange de haut en bas pour éviter les projections de matière hors du tube ; cela permet, en outre, de mieux voir la corrosion du verre après que le tube a été lavé et séché. Les minerais dans lesquels l'acide fluorhydrique est combiné en même temps avec des bases faibles et avec l'eau produisent facilement cette réaction dans le tube fermé.

**155.** — Pour rechercher de très petites quantités de fluor dans les minerais, etc., on doit employer la méthode suivante. Une petite feuille de platine

pliée est placée à l'intérieur et à l'entrée d'un tube ouvert et l'on place sur le platine un mélange finement pulvérisé de la substance avec du sel de phosphore calciné; le mélange est ensuite chauffé de manière à ce que les produits de la combustion passent dans le tube. Si la substance contient du fluor, de l'acide fluorhydrique, dont l'odeur est caractéristique, se dégage, le verre du tube est attaqué et du papier imprégné de teinture de bois de Fernambouc se colore en jaune (n° 29).

**156. — Iode.** — La réaction de l'iode avec le bisulfate de potassium (voir paragraphe 64) est très caractéristique.

Lorsqu'on ajoute de l'iode ou un de ses composés à une perle de sel de phosphore contenant de l'oxyde de cuivre, la flamme extérieure se colore en vert pur (n° 32).

**157.** — L'iode combiné avec l'argent ou avec les alcalis peut être décelé, en présence d'autres halogènes, en opérant comme suit: la substance pulvérisée est mélangée avec du sulfure de bismuth (ce sulfure se prépare facilement en chauffant ensemble du soufre et du bismuth) et chauffée sur un large morceau de charbon à la flamme du chalumeau. Si la substance contient de l'iode, il se

produit un enduit d'iodure de bismuth d'une belle couleur rouge.

**158. — Lithium.** — Les réactions du lithium et de ses composés sont données dans le paragraphe 52 et dans le n° 3 du tableau, page 236.

Les silicates qui ne contiennent que très peu de lithium sont pulvérisés et on en fait une pâte avec une partie de spath fluor, une demi-partie de bisulfate de potassium et une ou deux gouttes d'eau; cette pâte, placée dans la boucle de fil de platine, est introduite dans la flamme afin de voir si cette dernière se colore (n° 63). Si le silicate examiné contient également de l'acide borique, comme la tourmaline, la flamme prend d'abord une coloration verte, puis une coloration rouge.

La présence de l'acide phosphorique, comme, par exemple, lorsqu'on a à examiner de la triphylite, communique à la flamme une coloration verte qui se produit en même temps que la coloration rouge, surtout si on humecte l'essai d'un peu d'acide sulfurique.

En présence du sodium, le lithium peut être également reconnu en plongeant l'essai, humecté d'acide chlorhydrique, dans de la cire ou du suif ramollis et en chauffant ensuite dans la partie non

lumineuse de la flamme; il se produit une coloration rouge de la flamme qui n'est que momentanée.

**159. — Manganèse.** — Pour les réactions du manganèse et de ses composés, voir les paragraphes 41, 60, 62, 104 et le n° 33 du tableau, page 263.

Si une perle contenant du manganèse, au sortir de la flamme d'oxydation, est mise en contact avec un cristal d'azotate ou de chlorate de potassium, ou jetée dans une capsule contenant un de ces réactifs pulvérisé, il se forme du permanganate de potassium de couleur violette.

**160.** — Pour rechercher des traces de manganèse dans certains composés, l'essai (n° 62 ou 80) est fondu avec deux parties de carbonate de sodium et une partie d'azotate de potassium, sur le fil ou la lame de platine, dans la flamme d'oxydation. Il se forme du manganate de potassium qui est vert et transparent à chaud et qui devient vert bleuâtre et opaque à froid. Mis en présence de l'eau, on obtient une dissolution de couleur verte qui passe au rouge lorsqu'on y ajoute quelques gouttes d'acide acétique et qui après devient souvent incolore en même temps qu'il se forme un précipité brun.

La présence simultanée de la silice et du cobalt masque cette réaction, la masse bleue qui se forme cachant la couleur verte. Dans ce cas, du reste excessivement rare, la silice peut être d'abord séparée par voie humide. Si la substance contient du chrome, la masse obtenue est vert jaunâtre.

**161.** — Pour rechercher le manganèse dans les composés métalliques ou métallurgiques, on dissout la substance dans l'acide azotique, on évapore la dissolution à sec et le résidu calciné est traité avec du carbonate de sodium et de l'azotate de potassium, comme il est indiqué ci-dessus.

**162. — Mercure.** — Pour les réactions du mercure et de ses composés, voir les paragraphes 11, 17, 62, 81 et le n° 33 du tableau, page 264.

*Amalgames.* — Lorsqu'on les chauffe dans un tube fermé d'un bout, il se produit dans les parties froides du tube un dépôt métallique de mercure sous forme de globules très petits que l'on distingue plus nettement avec une loupe (n° 44).

Lorsque le mercure est combiné avec le *soufre* (n° 77), le *chlore* (n° 42), l'*iode* ou un *oxacide*, l'essai est chauffé avec du carbonate de sodium sec. L'acide ou le métalloïde reste combiné avec la soude et le mercure se sublime.

Si la quantité de mercure est trop petite pour que le sublimé formé ne soit pas facilement visible, on recommence l'expérience et l'on introduit dans le tube, tout près de l'essai, un fragment de feuille d'or suspendue à un fil de fer. Des traces de mercure sont suffisantes pour blanchir la feuille d'or.

**163. — Molybdène.** — Les réactions du molybdène et de ses composés sont indiquées dans les paragraphes 39, 41, 48, 62, 63, 67, 99 et dans le n° 34 du tableau, page 265

De petites quantités d'acide molybdique peuvent être facilement décelées en opérant de la manière suivante : On place un peu de la substance pulvérisée sur une feuille de platine dont les bords ont été relevés et on y ajoute un peu d'acide sulfurique concentré ; on chauffe jusqu'à ce qu'il se dégage des vapeurs piquantes, on laisse refroidir et enfin on souffle l'haleine à plusieurs reprises sur la feuille de platine. Là où par le refroidissement avaient apparu de petites taches bleues, le souffle de l'haleine produit une coloration bleue très intense. La réaction se produit beaucoup mieux si, au lieu de souffler l'haleine, on verse un peu d'alcool sur la feuille de platine ; la couleur bleue caractéristique apparaît alors soit immédiatement, soit après avoir fait brûler l'alcool (von

Kobell). Cet oxyde bleu se produit également par l'action de l'iodure de soufre (§ 63).

**164. — Nickel.** — Pour les réactions du nickel et de ses composés, voir les paragraphes 41, 62, 88 et le n° 35 du tableau, page 267.

Les composés métalliques fusibles du nickel sont traités avec du borax sur le charbon à la flamme de réduction ; le fer, le cobalt, etc., se dissolvent dans le verre formé (on le traite ensuite comme il est indiqué au § 137), tandis que les métaux dont les oxydes sont facilement réductibles restent insolubles dans le borax. On répète cette réaction jusqu'à ce que l'on obtienne un verre incolore. Le globule métallique qui reste est alors traité avec du sel de phosphore dans la flamme d'oxydation ; la perle prend une couleur jaune pur lorsque le nickel est seul, ou vert jaunâtre lorsque le nickel se trouve en présence du cuivre. Dans ce dernier cas, la perle formée est réduite sur le charbon avec de l'étain afin de vérifier la présence du cuivre. L'antimoine et le bismuth, dont la présence masque la réaction en noircissant la perle, doivent être chassés préalablement par un grillage précédant l'addition de fondant (n° 78).

Lorsque le nickel est en combinaison avec l'arsenic et le soufre, sa recherche doit être effectuée

comme on l'a indiqué à propos du cobalt. (Voir § 138.)

**165.** — Pour rechercher des traces de nickel en présence du cobalt, on peut employer la méthode suivante : L'essai, qui ne doit pas être en trop petite quantité, est dissous dans le borax sur le fil de platine et la perle foncée obtenue, que l'on fait tomber du fil, est chauffée avec un fragment d'or sur le charbon à la flamme de réduction. Lorsque l'essai est froid, le globule d'or est séparé du flux à l'aide d'un petit coup de marteau et fondu avec du sel de phosphore dans la flamme d'oxydation. La perle dissout facilement l'oxyde de cobalt et devient bleue; on y en ajoute de nouvelles quantités jusqu'à ce que la couleur passe au vert et finalement au jaune. L'or est ensuite affiné par coupellation avec du plomb pauvre sur une coupelle en cendre d'os.

**166.** — **Or.** — Pour les réactions de l'or et de ses composés, voir les paragraphes 24, 30, 62, 95 et le n° 37 du tableau, page 269. Pour un alliage d'or avec des métaux volatils tels que le mercure, l'antimoine et le tellure, il suffit seulement de le chauffer sur le charbon dans la flamme d'oxydation pour obtenir un globule d'or facile à caractériser par ses propriétés physiques. L'or est

séparé du plomb par la méthode indiquée au paragraphe 119.

Un globule métallique contenant des métaux difficilement fusibles tels que le platine et l'iridium est beaucoup moins fusible que l'or pur. De tels mélanges ne peuvent être analysés que par les méthodes de la voie humide.

**167.** — Lorsqu'il se trouve mélangé au cuivre, dont la présence peut être reconnue par un essai au sel de phosphore, l'or est recherché par la méthode suivante : l'alliage, un fragment de monnaie par exemple, est coupellé avec du plomb pauvre; par cette opération, on enlève du cuivre. Si l'alliage contient de l'argent, le globule qui reste est traité sur le charbon, à la flamme d'oxydation, par du sel de phosphore. L'argent s'oxyde graduellement et est absorbé par le flux, qui en refroidissant devient opaque. Pour déterminer approximativement les quantités relatives des deux métaux, on met le globule métallique dans l'acide chlorhydrique et on le chauffe dans une capsule de porcelaine. Si l'alliage contient au plus 25 0/0 d'or, il devient noir, l'argent se dissout graduellement et l'or reste sous forme d'une masse spongieuse noire ou brune. Si la quantité d'or dépasse 25 0/0, le globule noircit également, mais l'argent

ne se dissout pas. Lorsque les métaux sont en proportions égales, il ne se produit aucun changement. Si l'or domine de beaucoup, on le reconnaît facilement à la couleur jaune de l'alliage.

**168. — Plomb.** — Pour les réactions du plomb et de ses composés voir les paragraphes 12, 27, 62, 63, 83 et le n° 41 du tableau, page 272.

Un alliage de plomb et de zinc (n° 47) donne des enduits d'oxyde de plomb et de zinc lorsqu'on les chauffe sur le charbon ; la présence du plomb se reconnaît à la couleur de l'enduit et à la couleur bleu pâle que prend la flamme de réduction. (Voir § 27.) Le zinc est mieux caractérisé lorsqu'on mouille le charbon, tout près de l'essai, avec la solution d'azotate de cobalt et en chauffant de nouveau ; la couleur verte de l'enduit donné par le zinc permet de le distinguer alors plus facilement de l'enduit donné par le plomb.

Lorsqu'on se trouve en présence d'un alliage de plomb ou de bismuth (n° 46), on obtient un enduit un peu plus foncé qu'avec le plomb pur. On recherche le bismuth d'après la méthode indiquée paragraphe 127 ; le plomb est caractérisé par la coloration bleu pâle qu'il communique à la flamme de réduction.

**169.** — Pour rechercher le plomb dans les sulfures, l'essai est chauffé sur le charbon dans la flamme de réduction jusqu'à ce que l'on obtienne l'enduit du plomb. La présence de l'antimoine ne peut pas, par cette méthode, être reconnue, car le dépôt de sulfate de plomb qui entoure l'enduit d'oxyde peut être facilement confondu avec l'enduit d'oxyde d'antimoine.

Si l'on veut, dans ce cas, caractériser l'antimoine, il suffit de pulvériser l'essai (n° 81), de le mélanger avec du carbonate de sodium et de chauffer seulement un instant dans la flamme de réduction. Si l'essai ne contient pas d'antimoine, l'enduit est jaune pur bordé de blanc bleuâtre ; si la substance contient de l'antimoine, l'enduit est entouré d'un dépôt blanc d'oxyde d'antimoine et il prend une couleur jaune orangé foncé par suite de la formation d'antimoniate de plomb. Si le mélange venait à être chauffé pendant trop longtemps, le sulfure de sodium se volatiliserait et il se déposerait un enduit de sulfate de sodium.

**170.** — Si le sulfate de plomb se trouve en présence d'une grande quantité de sulfate de cuivre (n° 24), le globule métallique obtenu par réduction n'indique pas la présence du plomb ; mais, si on le chauffe dans une forte flamme oxydante, le

plomb se volatilise et donne son enduit caractéristique.

Le chlorure de plomb fond à la flamme du chalumeau et produit deux enduits : un enduit blanc volatil de chlorure et un enduit moins volatil d'oxyde. De plus, la flamme de réduction prend une coloration bleu pâle.

Le phosphate de plomb seul fond sur le charbon en un globule, mais il ne forme qu'un enduit très faible ou même pas du tout. Par le refroidissement le globule cristallise et présente de larges facettes ayant l'apparence et le brillant de la perle.

**171. — Potassium** — La coloration de la flamme est le meilleur moyen de caractériser le potassium. (Voir § 50 et 58.) Une autre réaction, qu'on emploie plus rarement, peut néanmoins être obtenue en chargeant une perle de borax d'oxyde de nickel, dans la flamme de réduction ; la perle brune ainsi obtenue se colore en violet si on y ajoute un composé du potassium. Le sodium et le lithium n'empêchent pas cette réaction, mais la moindre trace de cobalt, soit dans l'oxyde de nickel, soit dans le composé du potassium suffit pour la masquer.

**172. — Sélénium**. — Les réactions du sélénium (voir paragraphes 11, 19, 37, 60, 63 et 77) sont très caractéristiques. Dans les composés non vola-

tils, qui ne donnent pas le sublimé rouge dont il a été parlé paragraphe 11, le sélénium peut être facilement caractérisé par l'odeur de raifort pourri que la substance (n° 83) dégage lorsqu'on la chauffe sur le charbon dans la flamme d'oxydation. Si le corps examiné contient beaucoup de sélénium, l'enduit se produit également. (Voir § 37.) Les séléniates et les séléniures sont réduits sur le charbon par le carbonate de sodium et l'on perçoit l'odeur caractéristique de raifort pourri.

**178. — Silice**. — Les réactions de l'acide silicique sont données paragraphe 106 et n° 15 du tableau, page 243.

Lorsqu'un silicate sous forme de fragment (et non en poudre) est chauffé dans une perle de sel de phosphore, il est généralement décomposé. Les bases se combinent avec l'acide phosphorique libre du sel de phosphore en formant une perle transparente dans laquelle la silice nage en conservant la forme du fragment primitif (n° 57). Quelques silicates toutefois se dissolvent complètement même sous forme de gros fragments, mais la silice peut être reconnue de la même manière, si l'on observe la perle avant que l'essai ait complètement disparu, et plus facilement encore si on ajoute successivement de nouveaux fragments de la substance.

Dans tous les cas, l'aspect de la perle à chaud doit être soigneusement observé, car beaucoup de silicates forment des verres qui deviennent opaques à froid, ce qui, d'après Hirschwald, est dû à la formation de pyrophosphate de sodium. Dans l'emploi de cette méthode pour l'essai de divers silicates, on observera des différences dans la facilité plus ou moins grande avec laquelle ils se décomposent. Un fragment de substance facilement décomposable, lorsqu'on arrive à une certaine température, gonflera, se brisera et se dispersera; le résidu se rassemble et forme un flocon léger et transparent de silice, phénomène qui est souvent accompagné d'un vif dégagement gazeux (vapeur d'eau, fluorure de silicium, chlore, acide sulfurique, acide carbonique). Ce mode de décomposition est caractéristique pour tous les genres de silicates suivants : tourmalines, silicates de Hauyn, épidotes et scapolithes, plusieurs sortes de micas et de zéolithes. Dans beaucoup de cas, si l'on continue à chauffer fortement, on peut obtenir la dissolution des derniers flocons de silice qui nagent dans la perle (quelques micas, la clintonite, la pyrophyllite, la datholite, etc.). D'autres silicates sont difficilement décomposés dans la perle de sel de phosphore; les fragments de substance

doivent être chauffés pendant plus longtemps et il se forme graduellement une masse de silice transparente et incolore sur les bords, plus petite que le fragment de substance, mais qui conserve la même forme et que l'on désigne sous le nom de *squelette de silice*. Dans ce cas, il y a aussi fréquemment dégagement de gaz, particulièrement au début de l'opération (serpentine, stéatite). Enfin, il y a des silicates qui, sous forme de fragments, ne sont pas attaqués dans la perle de sel de phosphore. La différence qui existe entre ces silicates et ceux qui produisent un squelette de silice est moins tranchée que celle qu'il y a entre ceux qui forment un squelette de silice et ceux qui produisent des flocons de même substance <sup>1</sup> (Haushofer).

La méthode d'essai suivante doit être employée pour distinguer les silicates qui se dissolvent dans la perle de sel de phosphore : l'essai pulvérisé est chauffé avec du carbonate de sodium sur le fil de platine dans la flamme d'oxydation et la perle transparente obtenue est dissoute dans l'eau acidulée par l'acide acétique ou tout autre acide. A mesure

<sup>1</sup> L'alumine cristallisée (corindon), les hydrates cristallisés d'alumine (diaspore, gibbsite) et les aluminates (spinelle, chrysobéril) se dissolvent très lentement dans la perle de sel de phosphore lorsqu'ils sont sous forme de petits éclats. En poudre, ils se dissolvent complètement, mais lentement.

que la solution s'évapore, il se forme de la silice hydratée gélatineuse qui, mouillée avec une dissolution de vert malachite, se colore en vert bleuâtre et retient souvent le colorant après qu'on l'a lavée à l'eau.

**174. — Soufre.** — Les réactions que donne le soufre contenu dans les sulfures sont données par paragraphes 11, 14 et 21, section 5. Dans la recherche du soufre, on ne doit pas employer la flamme du gaz, car ce dernier contient souvent une certaine quantité de composés sulfurés.

Une méthode sensible, aussi bonne que facile à appliquer pour la recherche du soufre dans beaucoup de ses composés, consiste à chauffer la substance pulvérisée avec du carbonate de sodium pur ou mieux, afin d'éviter l'absorption par le charbon, avec du carbonate de sodium mélangé avec moitié de son poids de borax. Le mélange est chauffé jusqu'à fusion sur le charbon dans la flamme de réduction. La masse fondue, enlevée de sur le charbon, est placée sur une lame d'argent ou sur une pièce de monnaie et humectée avec de l'eau. Si la substance contient du soufre, il se produit sur la lame une tache noire de sulfure d'argent. Comme le sélénium et le tellure donnent la même réaction, il faut d'abord s'assurer que ces

corps ne se trouvent pas dans la substance.

Si une substance contenant du soufre est chauffée avec du carbonate de sodium dans la flamme de réduction et qu'on la place ensuite dans un verre de montre avec un peu d'eau, si on y ajoute un peu de nitroferrocyanure de sodium, il se produit une belle coloration rouge pourpre.

Une solution étendue de molybdate d'ammonium, à laquelle on a ajouté un excès d'acide chlorhydrique, prend une belle couleur bleue sous l'action de l'hydrogène sulfuré ou d'un sulfure soluble.

Les sulfures, traités par l'acide sulfurique ou chlorhydrique, dégagent de l'hydrogène sulfuré facile à reconnaître à son odeur et à son action sur une bande de papier imprégnée d'acétate de plomb qui prend une coloration noire.

**175. —** Pour distinguer les sulfures des sulfates, la substance à examiner est chauffée dans la flamme d'oxydation; les sulfures seuls donnent un dégagement d'acide sulfureux. Une autre méthode consiste à pulvériser finement la substance (n° 75) et à la fondre avec de la potasse caustique dans une cuiller de platine, puis à plonger la cuiller et son contenu dans un verre contenant de l'eau et une lame d'argent. Si l'argent reste blanc, le soufre présent provient d'un sulfate; s'il noircit,

on se trouve en présence d'un sulfure. Naturellement cette réaction ne peut être utilisée que tout autant que l'essai ne contient pas de substances pouvant exercer une action réductrice.

**176. — Tellure.** — Pour les réactions du tellure et de ses composés, voir les paragraphes 11, 18, 38, 63, 76 et le n° 45 du tableau, page 274.

Le plomb et le bismuth rendent difficile la recherche du tellure lorsqu'on opère sur le charbon ; on peut séparer ces deux métaux à l'aide de l'acide borique fondu dans la flamme de réduction et l'on peut obtenir alors l'enduit de tellure.

Si l'enduit disparaît sous l'action de la flamme réductrice avec coloration de la flamme non en vert, mais en vert bleuâtre, cela indique que le sélénium est également présent, ce qu'il est du reste facile à reconnaître à l'odeur qu'il dégage.

Un composé de tellure pulvérisé et chauffé avec du carbonate de sodium et du charbon en poudre dans un matras, traité ensuite, lorsque la masse est refroidie, par de l'eau chaude, donne une solution rouge pourpre de tellurure de sodium.

Lorsque des tellurures sont chauffés doucement avec de l'acide sulfurique, le tellure se dissout sans s'oxyder et la solution prend une coloration

rouge carmin intense. L'eau en précipite le tellure sous forme de poudre d'un noir grisâtre.

**177. — Titane.** — Les réactions du titane sont données paragraphes 41, 59, 61, 67, 101, et n° 47 du tableau, pages 276 et 277.

Si l'acide titanique forme la partie principale d'un minéral, il est facile à reconnaître par les réactions qu'il donne avec les fondants. Lorsqu'il s'y trouve en même temps du fer, la perle de sel de phosphore prend, dans la flamme d'oxydation, la coloration du fer et donne dans la flamme de réduction une perle rouge sang qui, chauffée sur le charbon avec de l'étain, devient violette.

Les composés qui, avec les fondants, ne donneraient pas de réactions bien nettes sont traités comme il suit : la substance est fondue avec six à huit fois son poids de bisulfate de potassium dans une cuiller de platine ; on dissout ensuite dans l'eau froide, on filtre et, après avoir ajouté une ou deux gouttes d'acide azotique, on chauffe à l'ébullition. Il se forme alors un précipité blanc d'acide métatitanique hydraté, que l'on recueille pour l'examiner avec le sel de phosphore (n° 61).

Si l'oxyde de titane est fondu avec de la potasse caustique et qu'après avoir dissous la masse dans l'eau on évapore la solution, après y avoir ajouté

un excès d'acide chlorhydrique et un fragment d'étain en feuille, le liquide se colore en violet et, si on l'étend d'eau, en rouge rose.

La formation de cristaux très caractéristiques de titane, lorsqu'on traite l'oxyde de titane par les fondants, est une bonne réaction. D'après G. Rose, la perle transparente de sel de phosphore, colorée en violet par le titane lorsqu'on la chauffe dans la flamme réductrice, devient complètement claire, si elle n'est pas sursaturée, lorsqu'on la chauffe dans la flamme extérieure tout près de la pointe bleue, tandis qu'elle devient opalescente lorsqu'on la chauffe à la pointe de la partie non lumineuse de la flamme; lorsque la perle est fortement saturée, elle devient alors opaque et prend une couleur blanc de neige. En ramenant la perle à l'extrémité de la partie bleue, elle devient de nouveau transparente et reprend sa coloration violette dans la flamme intérieure. Si la perle opalescente est aplatie pendant qu'elle est encore chaude et examinée au microscope avec un grossissement de 140 diamètres, on voit des tables carrées parfaitement formées, brillantes et transparentes, partiellement réunies par groupes, qui possèdent la double réfraction sous la lumière polarisée et qui peuvent être considérées comme étant de l'anatase. D'après

Knop, toutefois, ces cristaux appartenant au système rhombique seraient du phosphate de titane.

L'oxyde de titane donne sur le charbon avec le borax, dans la flamme de réduction, une perle brun jaunâtre qui, lorsqu'elle est fortement saturée, est bleu plus ou moins foncé. Des cristaux de rutile se séparent de ce verre bleu foncé sans détruire sa transparence. Ces cristaux, sous forme de longs prismes carrés diversement terminés, ont leurs arêtes latérales remplacées par des faces. Dans un mélange de borax et de sel de phosphore, les cristaux qui se forment sont très réguliers.

**178. — Tungstène.** — Les réactions du tungstène et de ses composés sont indiquées dans les paragraphes 41, 59, 63, 67, 100 et dans le n° 48 du tableau, pages 278 et 279.

Lorsque le tungstène se trouve dans une substance en petite quantité, on le recherche en opérant de la manière suivante. L'essai est fondu avec cinq fois son poids de carbonate de sodium; on traite la masse par l'eau et on précipite l'acide tungstique sous forme de poudre blanche à l'aide de l'acide chlorhydrique. Ce précipité devient jaune à l'ébullition et est insoluble dans un excès d'acide (ce qui permet de le distinguer de l'acide molybdique), mais soluble dans l'ammoniaque. La

solution acidifiée donne une coloration brun foncé avec le ferrocyanure de potassium et, au bout de quelque temps, il se forme un précipité de même couleur. L'azotate d'argent donne un précipité blanc, et le chlorure stanneux un précipité jaune. En acidifiant avec de l'acide chlorhydrique et en chauffant, le précipité prend une belle couleur bleue qui est très caractéristique.

**179. — Uranium.** — Pour les réactions de l'uranium et de ses composés, voir les paragraphes 41, 62, 105 et le n° 49 du tableau, page 280.

Dans les composés qui ne contiennent pas d'autres éléments pouvant colorer le fondant, ce métal peut être facilement déterminé par la coloration qu'il donne à la perle de sel de phosphore aussi bien que par les réactions indiquées ci-dessus. Comme le fer et l'uranium se comportent de la même manière avec les fondants, on doit appliquer la méthode indiquée paragraphe 152 pour distinguer ces deux métaux.

Avec l'oxyde de cuivre, l'uranium (exempt de fer et en quantité identique) donne une perle verte dans la flamme d'oxydation. Pour rechercher l'uranium en pareil cas, la substance est traitée avec du carbonate de sodium, du borax et un glo-

bule d'argent dans la flamme de réduction sur le charbon, jusqu'à ce que tout le cuivre soit absorbé par l'argent. Le flux est dissous dans l'acide azotique et la solution traitée avec du carbonate d'ammonium est ensuite examinée en suivant la méthode donnée paragraphe 152.

**180. — Vanadium.** — Pour les réactions du vanadium et de ses composés, voir les paragraphes 41, 59, 67, 103 et le n° 50 du tableau, page 281.

Lorsqu'on fond les composés du vanadium avec du carbonate de sodium et de l'azotate de potassium sur la spirale de platine, qu'on traite ensuite par l'eau, en acidifiant par l'acide acétique la dissolution obtenue et y ajoutant de l'azotate d'argent, il se forme un précipité jaune.

En traitant la masse fondue par l'eau régale, on obtient une solution jaune ou jaune brun qui devient bleue lorsqu'on y ajoute du chlorure stanneux.

La solution obtenue en traitant la masse fondue par l'eau est acidifiée et bien agitée avec de l'eau oxygénée, elle devient rouge et conserve cette coloration lorsqu'on y ajoute de l'éther, ce dernier restant incolore.

**181. — Zinc.** — Les réactions du zinc et de ses composés sont indiquées paragraphes 12, 35, 61,

62, 63, 85 et n° 51 du tableau, pages 282 et 283.

Les substances contenant du zinc à l'état d'oxyde ou de sulfure sont chauffées seules sur le charbon dans la flamme de réduction ; celles qui contiennent d'autres oxydes métalliques sont chauffées avec un mélange de deux parties de carbonate de sodium et d'une partie et demie de borax. L'enduit qui se forme dans ces conditions est très caractéristique, parce qu'il devient incandescent lorsqu'il est fortement chauffé, qu'il est jaune à chaud, blanc lorsqu'il est froid, qu'il n'est pas volatil et qu'il prend une coloration verte lorsqu'on l'humecte de solution d'azotate de cobalt et qu'on le chauffe de nouveau. Il convient préalablement d'humecter le charbon avec la solution avant que l'enduit ne se dépose.

**182.** — La coloration donnée par l'azotate de cobalt se produit en présence du plomb et du bismuth, mais elle ne peut être utilisée lorsque la substance contient de l'étain et de l'antimoine qui donnent la même réaction. Toutefois, il est possible de chasser l'antimoine en chauffant l'essai dans la flamme d'oxydation ; dans beaucoup de cas, néanmoins, il n'est pas possible de caractériser le zinc au chalumeau lorsqu'il se trouve en présence de ces deux métaux.

## VI

MARCHE SYSTÉMATIQUE DE L'ANALYSE  
DES COMPOSÉS INORGANIQUES

**183.** — Quoiqu'il n'y ait pas de difficulté pour déterminer les éléments d'une substance dès que l'on a une certaine pratique des essais au chalumeau et que l'on connaît les réactions décrites dans les deux derniers chapitres, il est quelquefois nécessaire, dans certains cas, d'employer une méthode systématique de recherche. On économise souvent du temps et l'on obtient des résultats plus précis.

Dans l'analyse au chalumeau on ne peut, comme dans les méthodes de la voie humide, déterminer les divers éléments d'une substance par des décompositions successives. A l'exception de la séparation des substances volatiles d'avec celles qui ne le sont pas, il n'est pas facile d'effectuer des séparations par la méthode de la voie sèche. Une analyse au chalumeau n'est, par conséquent, autre chose

62, 63, 85 et n° 51 du tableau, pages 282 et 283.

Les substances contenant du zinc à l'état d'oxyde ou de sulfure sont chauffées seules sur le charbon dans la flamme de réduction ; celles qui contiennent d'autres oxydes métalliques sont chauffées avec un mélange de deux parties de carbonate de sodium et d'une partie et demie de borax. L'enduit qui se forme dans ces conditions est très caractéristique, parce qu'il devient incandescent lorsqu'il est fortement chauffé, qu'il est jaune à chaud, blanc lorsqu'il est froid, qu'il n'est pas volatil et qu'il prend une coloration verte lorsqu'on l'humecte de solution d'azotate de cobalt et qu'on le chauffe de nouveau. Il convient préalablement d'humecter le charbon avec la solution avant que l'enduit ne se dépose.

**182.** — La coloration donnée par l'azotate de cobalt se produit en présence du plomb et du bismuth, mais elle ne peut être utilisée lorsque la substance contient de l'étain et de l'antimoine qui donnent la même réaction. Toutefois, il est possible de chasser l'antimoine en chauffant l'essai dans la flamme d'oxydation ; dans beaucoup de cas, néanmoins, il n'est pas possible de caractériser le zinc au chalumeau lorsqu'il se trouve en présence de ces deux métaux.

## VI

MARCHE SYSTÉMATIQUE DE L'ANALYSE  
DES COMPOSÉS INORGANIQUES

**183.** — Quoiqu'il n'y ait pas de difficulté pour déterminer les éléments d'une substance dès que l'on a une certaine pratique des essais au chalumeau et que l'on connaît les réactions décrites dans les deux derniers chapitres, il est quelquefois nécessaire, dans certains cas, d'employer une méthode systématique de recherche. On économise souvent du temps et l'on obtient des résultats plus précis.

Dans l'analyse au chalumeau on ne peut, comme dans les méthodes de la voie humide, déterminer les divers éléments d'une substance par des décompositions successives. A l'exception de la séparation des substances volatiles d'avec celles qui ne le sont pas, il n'est pas facile d'effectuer des séparations par la méthode de la voie sèche. Une analyse au chalumeau n'est, par conséquent, autre chose

qu'une série méthodique de simples essais. Comme on doit à plusieurs reprises prendre des parties de la substance à examiner, il est indispensable de n'en employer au début que de petits fragments.

Dans ce qui suit, deux méthodes différentes sont indiquées. On peut employer l'une ou l'autre suivant l'habileté de l'opérateur et la nature de la substance à examiner.

La première de ces méthodes complète les indications déjà données et n'exige de l'opérateur qu'un peu de pratique. On peut l'employer avec n'importe quelle substance et elle entraîne, en même temps, à faire des essais confirmant les résultats obtenus.

La seconde méthode ou méthode d'Egleston est peut-être plus rapide en ce qui concerne les composés métalliques, mais pour obtenir des résultats satisfaisants elle exige une grande habitude.

MARCHE SYSTÉMATIQUE DE L'ANALYSE DES SUBSTANCES COMPOSÉES  
EXAMEN PRÉLIMINAIRE

A. LA SUBSTANCE EST CHAUFFÉE DANS UN TUBE FERMÉ D'UN BOUT

a. Il se dégage des vapeurs :

INCOLORES ET INODORES

Eau ; eau de cristallisation ou eau d'hydratation.

Oxygène ; peroxydes, azotates, chlorates, bromates et iodates.

Acide carbonique ; la plupart des carbonates et des oxalates.

Oxyde de carbone ; oxalates et formiates (ces derniers noircissent).

b. Il se forme un sublimé :

BLANC

Sels ammoniacaux.

Chlorure mercurieux ; se sublime avant d'entrer en fusion.

INCOLORES MAIS ODORANTES

Acide sulfureux ; sulfites et quelques sulfates.

Hydrogène sulfuré ; hyposulfites et sulfites contenant de l'eau.

Ammoniacque ; quelques sels ammoniacaux.

COLORÉES ET ODORANTES

Vapeurs nitreuses ; la plupart des azotates et des azotites.

Iode (violette) ; quelques iodures et iodates.

Brome (brun rouge) ; quelques bromures.

Chlore (jaune verdâtre) ; quelques chlorures.

COLORÉ

Soufre ; à chaud, brun jaunâtre ; à froid, jaune.

1 Landauer, *Zeitschrift für analytische Chemie*, XVI, 385.

BLANC

**Chlorure mercurique** ; entre en fusion avant de se sublimer.  
**Oxyde d'antimoine** ; entre en fusion, le sublimé forme des aiguilles brillantes.  
**Anhydride tellureux** ; entre en fusion et forme un sublimé en masse amorphe.  
**Acide arsénieux** ; se sublime avant fusion en cristaux octaédriques.

c. *La substance change de couleur :*

**Oxyde de zinc** ; de blanc devient jaune, redevient blanc à froid.  
**Oxyde d'étain** ; de blanc devient brun jaunâtre ; à froid devient jaune clair.  
**Oxyde de plomb** ; de blanc passe au rouge brun ; jaune, à froid.

d. *La substance fond.* — Sels alcalins.e. *La substance se carbonise.* — Matières organiques.

NOIR OU GRIS

**Mercure** ; amalgames et quelques composés du mercure (globules métalliques).

**Sulfure d'antimoine** ; noir à chaud et jaune rougeâtre à froid.  
**Sulfure d'arsenic** ; rouge brun à chaud ; jaune rougeâtre à froid.  
**Iodure de mercure** ; jaune devenant rouge par le froitement.  
**Sulfure de mercure** ; noir devenant rouge par le froitement.  
**Sélénium** ; couteur allant du rougeâtre au noir ; en poudre, rouge foncé.

**Iodure de mercure** ; de rouge devient jaune ; redevient rouge à froid.

**Sels hydratés de cobalt, nickel, fer et cuivre.**

**Oxyde mercurique** ; de rouge passe au noir, redevient rouge à froid (volatil).

**Oxyde ferrique** ; de rouge devient noir, redevient rouge à froid (non volatil).

f. *La substance devient phosphorescente.* — Oxydes alcalino-terreux, oxydes terreux, oxyde de zinc, oxyde d'étain.

g. *La substance décrepite.* — Chlorures alcalins, galène et plusieurs minéraux.

## B. LA SUBSTANCE EST CHAUFFÉE DANS UN TUBE OUVERT

(Les réactions données en A ne sont pas répétées ici)

a. *Il se dégage des vapeurs :*

**Acide sulfureux.** — Odeur caractéristique : soufre et sulfures.  
**Acide sélénieux.** — Odeur de raifort pourri : sélénium et séléniures.

b. *Il se forme un sublimé :*

**Acide arsénieux.** — Blanc ; sublimé très volatil se déposant à une certaine distance de l'essai : arsenic et arséniures.  
**Oxyde d'antimoine.** — Vapeurs blanches, sublimé partiellement volatil : antimoine et ses composés.  
**Anhydride tellureux.** — Vapeurs blanches, sublimé fusible en gouttes incolores : tellure et tellurures.  
**Sulfate de plomb.** — Blanc, se forme principalement au-dessous de l'essai. Composés sulfurés du plomb.  
**Sulfate de bismuth.** — Blanc, se forme principalement au-dessous de l'essai. Composés sulfurés du bismuth.

## C. LA SUBSTANCE EST CHAUFFÉE SUR LE CHARBON

a. *On examine sa fusibilité :*

FUSIBLE	INFUSIBLE
Sels alcalins et quelques sels alcalino-terreux.	Sels des métaux terreux et des métaux alcalino-terreux, silice.
Antimoine, plomb, cadmium, tellure, bismuth, zinc, étain (tous facilement fusibles).	Fer, cobalt, nickel, manganèse, molybdène, tungstène, platine, palladium, iridium, rhodium et osmium.
Cuivre, or, argent (difficiles à fondre).	

b. *La substance détone :*

Azotates, chlorates, iodates et bromates.

c. *La substance se boursoufle :*

Substances contenant de l'eau, borates et alun.

La coloration de la flamme, la réduction et la formation d'enduits seront décrites plus loin.

## MARCHE DE L'ANALYSE

## Recherche des bases

I. — LA SUBSTANCE EST CHAUFFÉE SUR LE CHARBON AVEC DU CARBONATE DE SODIUM DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION (POUR LES MÉTAUX ET LES ALLIAGES ON NE MET PAS DE CARBONATE DE SODIUM).

Si l'une des réactions indiquées ci-après se produit seule, la durée de l'essai peut être abrégée et l'on procède comme il suit :

- a. La substance produit un enduit. On passe à la section I, n° 1.
- b. La substance donne un globule métallique sans formation d'enduit. On passe à la section I, n° 10.
- c. La substance laisse un résidu gris ou noir. On passe à la section II, n° 13.
- d. La substance colore la flamme, principalement après avoir été humectée avec de l'acide chlorhydrique. On passe à la section IV, n° 32.
- e. La substance donne un résidu blanc brillant. On passe à la section V, n° 43.
- f. La substance se volatilise complètement. On passe à la section VI, n° 52.

1. Enduit blanc, très volatil, disparaissant en brûlant avec une flamme d'un bleu clair et dégageant une odeur d'ail. **Arsenic.**

1 a. *Vérification.* — En chauffant la substance dans un matras avec du cyanure de potassium et du carbonate de sodium, il se forme un miroir d'arsenic.

2. Enduit brun rougeâtre, avec taches colorées ressemblant à des yeux de plume de paon, disparaissant dans les flammes d'oxydation et de réduction sans les colorer. **Cadmium.**

2 a. *Vérification.* — L'enduit enlevé de sur le charbon et chauffé avec de l'hyposulfite de sodium dans un tube fermé d'un bout devient rouge cinabre à chaud et jaune à froid. Voir 3 a.

3. Enduit jaune à chaud, blanc à froid, brillant et ne se volatilise pas sous l'action de la flamme. **Zinc.**

3 a. *Vérification.* — L'enduit chauffé avec la solution d'azotate de cobalt devient vert. Lorsque le cadmium et le zinc se trouvent ensemble, l'enduit de cadmium se produit le premier, puis celui de zinc.

4. Enduit gris d'acier disparaissant dans la flamme réductrice en colorant en bleu avec dégagement de l'odeur de raifort pourri. **Sélénium.**

4 a. *Vérification.* — Voir 5 a.

5. Enduit blanc avec les bords jaune foncé ou rouge, disparaissant dans la flamme de réduction en la colorant en vert. **Tellure.**

5 a. *Vérification.* — Si le sélénium et le tellure se trouvent en présence, il se produit un enduit blanc qui colore la flamme de réduction en vert bleuâtre, en même temps qu'il se dégage l'odeur de raifort pourri. Pour distinguer ces deux éléments, on produit un dépôt métallique que l'on humecte d'acide sulfurique concentré et que l'on chauffe doucement. Le tellure se dissout immédiatement en colorant la dissolution en rouge carmin, tandis que la couleur vert foncé du sélénium apparaît en chauffant plus fortement.

6. Enduit blanc bleuâtre, volatil, disparaissant dans la flamme d'oxydation et dans celle de réduction, cette dernière se colorant en vert. Perle blanche, cassante et oxydable. **Antimoine.**

6 a. *Vérification.* — L'enduit enlevé de sur le charbon et traité par l'acide chlorhydrique et le zinc sur la lame de platine recouvre cette dernière d'un dépôt noir adhérent d'antimoine.

7. Enduit orangé à chaud, jaune citron à froid, disparaissant sous l'action des flammes d'oxydation et de réduction, sans les colorer. Perle blanc rougeâtre, cassante et oxydable. **Bismuth.**

7 a. *Vérification.* — L'essai chauffé sur le charbon dans la flamme d'oxydation avec de l'iodure de potassium et du soufre ou avec de l'iodure de soufre donne un enduit d'iodure de bismuth ayant une belle couleur rouge.

8. Enduit jaune citron à chaud, jaune soufre à froid, disparaissant sous l'action de la flamme d'oxydation et de la flamme de réduction, cette dernière prenant alors une belle coloration bleue. Globule gris, malléable et oxydable. **Plomb.**

8 a. *Vérification.* — Traiter l'essai avec de l'acide azotique, évaporer l'excès d'acide. Ajouter un peu d'acide sulfurique, évaporer jusqu'à production de vapeurs acides. Il reste une poudre blanche insoluble dans l'acide sulfurique étendu.

9. Enduit jaunâtre à chaud, blanc à froid, peu abondant, se déposant à côté de l'essai et non volatil. Globule blanc, malléable et très oxydable. **Étain.**

9 a. *Vérification.* — L'essai se dissout dans l'acide chlorhydrique et le zinc métallique précipite de la solution acide l'étain sous forme de masse spongieuse grise. L'étain ainsi séparé n'adhère pas au platine, ce qui le distingue de l'antimoine. Un cristal d'hyposulfite de sodium jeté dans la solution contenant l'acide chlorhydrique et le zinc donne un précipité brun de sulfure d'étain.

10. Globule blanc malléable et très brillant. Avec une forte flamme oxydante, on obtient un enduit brun rougeâtre qui devient rouge carmin en présence du plomb et de l'étain. **Argent.**

10 a. *Vérification.* — En dissolvant l'essai dans l'acide azotique et en ajoutant ensuite de l'acide chlorhydrique, il se forme un précipité blanc caillé, bilité de chlorure d'argent.

11. Globule jaune très brillant, malléable et non oxydable. **Or**

11 a. *Vérification.* — On dissout dans l'eau régale et en ajoutant du chlorure stannique on obtient le précipité de pourpre de Cassius.

12. Globule métallique rouge, ductile et oxydable. **Cuivre.**

12 a. *Vérification.* — Voir nos 13 et 39.

## REMARQUES

Les métaux suivants sont obtenus sous forme de poudre infusible grise: fer, nickel et cobalt, qui sont magnétiques; molybdène, tungstène et les métaux du groupe du platine. Les métaux du groupe du platine ne peuvent être nettement caractérisés au chalumeau, mais les autres métaux désignés ci-dessus donnent des réactions caractéristiques avec le borax (section II).

Avec le carbonate de sodium, les composés du chrome donnent une masse jaune et ceux du manganèse une masse verte. On les caractérise par les réactions indiquées section II.

Quelques chlorures, iodures, bromures et sulfures donnent des enduits blancs qui ne sont pas très caractéristiques, mais il ne se forme pas de globule métallique; il ne faut pas confondre ces enduits avec ceux qui viennent d'être indiqués ci-dessus. Les substances qui donnent ces enduits seront recherchées ultérieurement.

Un dégagement d'hydrogène sulfuré, reconnaissable à son odeur, indique la présence d'un sulfate ou d'un sulfure.

II. — L'ESSAI (RÉSIDU DE L'OPÉRATION PRÉCÉDENTE) EST DISSOUS DANS LE BORAX SUR LE FIL DE PLATINE

a. On obtient une perle colorée dans la flamme d'oxydation ou dans la flamme de réduction. Voir n° 13 et suivants.

b. On obtient une perle incolore. Voir section IV, n° 32 et suivants.

La couleur de la perle est :

	Dans la flamme d'oxydation		Dans la flamme de réduction		Vérification
	à chaud	à froid	à chaud	à froid	
13	Verte.	Vert bleu-âtre.	Incolore.	Brun.	13 a. — La perle de sel de phosphore devient rouge lorsqu'on la chauffe avec de l'étain dans la flamme de réduction. Si elle devient noire, l'essai est grillé sur le charbon avec la flamme d'oxydation et l'antimoine et le bismuth sont séparés à l'aide du borax.
14	Bleue.	Bleue.	Bleue.	Bleue.	14 a. — Le globule métallique obtenu par réduction sur le charbon et placé sur du papier donne une solution rouge lorsqu'on le mouille d'acide azotique; en ajoutant de l'acide chlorhydrique et en desséchant, on obtient une tache verte qui disparaît lorsqu'on mouille avec de l'eau.
15	Violette ou noire.	Violet rougeâtre.	Incolore.	Incolore ou rose.	15 a. — En fondant l'essai avec du carbonate de sodium et de l'azotate de potassium sur la feuille de platine, on obtient une masse verte.

La couleur de la perle est :

	Dans la flamme d'oxydation		Dans la flamme de réduction		Vérification
	à chaud	à froid	à chaud	à froid	
16	Violettes.	Brun rougeâtre.	Gris jaunâtre.	Gris jaunâtre.	16 a. — Le globe métallique obtenu par réduction sur le charbon est placé sur du papier; en l'humectant d'acide azotique on obtient une solution verte qui donne une tache verte pommée par le carbonate de sodium.
17	Rouge et jaune lorsque la substance est en petite quantité.	Incolore.	Verte.	Vert bouteille.	17 a. — Le globe métallique obtenu par réduction sur le charbon et mouillé avec de l'acide azotique et de l'acide chlorhydrique donne en séchant une tache jaune qui devient bleue si l'on ajoute du ferrocyanure de potassium.
18	d°	Incolore.	Verte.	Vert bouteille.	18 a. — Avec le sel de phosphore on obtient une perle dans la flamme d'oxydation qui est jaune à chaud et vert jaunâtre à froid; dans la flamme de réduction, elle est verte foncée à chaud et d'un beau vert à froid (ce qui permet de distinguer l'uranium du fer). Les composés insolubles de l'uranium sont fondus avec du bisulfate de potassium sur la spirale de platine, la masse fondue est ensuite placée sur du carbonate de sodium et, après l'avoir humectée, on la dépose sur du papier. Après l'avoir acidifiée par l'acide acétique, le ferrocyanure de potassium donne une tache brune.

19	d°	Opaline lorsqu'elle est fortement saturée.	Brune.	Brune (opaque).	Molybdène.	19 a. — On fait digérer l'essai avec de l'acide sulfurique dans la cuiller de platine et, en ajoutant de l'alcool ou en soufflant dessus, l'acide molybdique colore l'acide en bleu foncé. Le dépôt bleu d'iodure est également caractéristique.
20	d°	Vert bouteille.	Vert.	Vert émeraude.	Chrome.	20 a. — On obtient une masse jaune en fondant l'essai avec du carbonate de sodium et de l'azotate de potassium sur une lame de platine.
21	d°	Incolore et jaune lorsqu'elle est fortement saturée.	Incolore.	Incolore.	Cérium.	21 a. — Ne peut être caractérisé avec une certitude absolue par l'essai au chalumeau.
22	d°	Jaune verdâtre.	Brunâtre.	Vert émeraude.	Vanadium.	22 a. — Après fusion avec du carbonate de sodium et de l'azotate de potassium, la masse, traitée par l'eau et acidifiée par l'acide acétique, donne un précipité jaune par l'azotate d'argent.
23	d°	Incolore et blanc démail lorsqu'elle est fortement saturée.	Jaune.	Brun jaunâtre.	Tungstène.	23 a. — La perle de sel de phosphore, dans la flamme d'oxydation, est incolore à froid comme à chaud. Dans la flamme de réduction, elle est verte foncée à chaud et bleue à froid; en y ajoutant du fer elle devient rouge sang. Voir n° 27.
24	d°	Incolore.	Jaune ou brune.	Jaune ou brime et bleuit la flamme.	Titane.	24 a. — La perle de sel de phosphore, dans la flamme d'oxydation, est incolore à chaud comme à froid. Dans la flamme de réduction, elle est jaune à chaud et violette à froid; elle devient rouge sang après addition de fer. Voir n° 30.

23. La perle montre plusieurs colorations par suite de la présence de plusieurs oxydes.

Dans la flamme d'oxydation		Dans la flamme de réduction	
à chaud	à froid	à chaud	à froid
Du violet au rouge sang.	Violet brunâtre.	Jaune.	Vert bouteille.
Couleur prune.	Couleur prune.	Vert bleuâtre.	Bleue.
Verte.	Bleu vert.	Vert bleuâtre.	Verte.
Vert jaunâtre.	Verte.	Bleu verdâtre.	Bleue.
Brun violet.	Brun.	Bleue.	Bleue.
Verte.	Vert clair, bleu ou jaune, suivant le degré de saturation.		
			Manganèse et fer
			Manganèse, fer et cobalt
			Manganèse, fer, cobalt, nickel.
			Fer, cobalt, peu de nickel.
			Cobalt et beaucoup de nickel.
			Fer et cobalt.
			Fer et cuivre.
			Fer et nickel.

25 a. *Méthode spéciale.* — Plusieurs perles de borax sont saturées de la substance et détachées par une brusque secousse du fil de platine ; on les réduit alors sur le charbon en y ajoutant un peu de plomb. Au bout d'un instant le flux est séparé du globe métallique et on les examine séparément :

A. Des fragments du verre formé sont dissous dans une perle de borax sur le fil de platine :

α. La perle est bleue. **Cobalt.**

β. La perle est verte à chaud et bleue à froid (flamme oxydante). **Fer et Cobalt.**

γ. La perle a une coloration variant du violet au rouge sang, à chaud et violet brunâtre à froid (flamme oxydante). Elle est jaune à chaud et vert bouteille à froid dans la flamme de réduction. Sur le charbon l'étain réduit la perle en vert. Par une oxydation incomplète, la perle est jaune à chaud, incolore à froid.

**Manganèse et Fer.**

δ. La perle, dans la flamme d'oxydation, est couleur prune à chaud comme à froid ; dans la flamme de réduction, elle est vert bleuâtre à chaud et bleue à froid.

**Manganèse, Fer et Cobalt.**

B. Le globule métallique est traité sur le charbon avec de l'acide borique, dans la flamme d'oxydation, afin de chasser le plomb et le résidu est dissous dans une perle de sel de phosphore.

α. La perle obtenue dans la flamme d'oxydation est bleue à froid ; réduite sur le charbon avec de l'étain elle est rouge.

**Cuivre.**

β. La perle obtenue dans la flamme d'oxydation est jaune à froid.

**Nickel.**

γ. La perle obtenue dans la flamme d'oxydation est verte à froid.

**Cuivre et Nickel.**

### III. — LA SUBSTANCE EST FONDUE AVEC DU BISULFATE DE POTASSIUM ET LA DISSOLUTION DE LA MASSE FONDUE EST ACIDIFIÉE PAR L'ACIDE CHLORHYDRIQUE, PUIS ON Y PLACE UNE LAME DE ZINC.

(Cette opération est omise lorsqu'on ne doit pas rechercher le tungstène, le vanadium, le titane et le niobium.)

La solution se colore en :

26. Bleu, puis vert, finalement brun foncé. **Acide molybdique.**

26 a. *Vérification.* — Déjà indiquée, n° 19.

27. Bleu, puis rouge cuivre.

**Acide tungstique.**

27 a. *Vérification.* — Voir n° 23.

28. Bleu, puis vert, enfin violet.

**Acide vanadique.**

28 a. *Vérification.* — Voir n° 22.

29. Vert.

**Acide chromique.**

29 a. *Vérification.* — Déjà indiquée n° 20.

30. Violet.

**Acide titanique.**

30 a. *Vérification.* — Voir n° 24.

31. Bleu et brun lorsque la solution est fortement acide. **Acide niobique.**

IV. — LA SUBSTANCE TENDE SUR LE FIL DE PLATINE OU DANS LES PINCES A BOUTS DE PLATINE EST PLACÉE DANS LA PARTIE NON LUMINEUSE DE LA FLAMME

a. La flamme se colore (surtout si on a mouillé l'essai avec de l'acide chlorhydrique ou de l'acide sulfurique). N° 32.

b. La flamme ne se colore pas. Voir n° 43.

Recherche des bases :

	Vue directement	Vue à travers un verre bleu	Vue à travers un verre vert	
32	Violette.	Violet rougeâtre.	Vert bleuâtre.	Potassium.
33	Orangée (1).	Invisible ou bleu faible.	Jaune orangé.	Potassium et sodium.
34	Orangée (1).	Rouge violet.	Invisible.	Sodium.
35	Rouge carmin (4).	Vert bleuâtre.	Verte.	Lithium.
36	Vert jaunâtre (2).	Gris verdâtre.	Vert pinson.	Baryum (3).
37	Rouge jaunâtre (2).	Pourpre.	Jaune faible.	Calcium (3).
38	Rouge carmin (2).			Strontium (3).
39	Verte et bleue après avoir humecté substance avec l'acide chlorhydrique			Civre.

(1) Après avoir humecté l'essai par l'acide sulfurique et en chauffant seulement un petit instant.

(2) Après avoir humecté l'essai à plusieurs reprises par l'acide sulfurique et en chauffant très fortement.

(3) Le baryum, le strontium et le calcium peuvent être catégorisés, lorsqu'ils sont remis, en humectant avec l'acide chlorhydrique et en observant ensuite, les éclats colorés qui se produisent lorsqu'on introduit l'essai humide dans la flamme.

Recherche des acides :

40. Coloration vert-jaunâtre, semblable à celle que produit le baryum. **Acide molybdique.**

40 a. Vérification. — Donne avec le borax la réaction n° 19.

41. Coloration vert-jaunâtre (les sels doivent être humectés avec de l'acide sulfurique). **Acide phosphorique.**

41 a. Vérification. — En chauffant avec du magnésium dans le tube fermé, puis en mouillant avec de l'eau, il se dégage de l'hydrogène phosphoré.

42. Très belle coloration verte (les sels doivent être humectés avec de l'acide sulfurique). **Acide borique.**

42 a. Vérification. — En chauffant avec du fluorure de calcium et du bisulfate de potassium dans la cuiller de platine, il se produit une flamme verte de fluorure de bore.

REMARQUES

Les chlorures et les azotates donnent aussi des éclats verts dans la flamme, mais la coloration est faible et disparaît rapidement.

Les colorations de la flamme dues aux éléments déjà caractérisés, tels que l'arsenic, l'antimoine et le plomb (bleue) et le zinc (blanc verdâtre) sont le plus souvent masquées par l'application d'acide sulfurique concentré.

V. — LA SUBSTANCE EST HUMECTÉE AVEC LA SOLUTION D'AZOTATE DE COBALT ET FORTEMENT CHAUFFÉE SUR LE CHARBON

43. Masse bleue infusible. **Alumine.**  
 44. Masse bleue infusible. **Phosphates des oxydes terreux.**  
 45. Masse bleue infusible. **Silicates des oxydes terreux.**

43 a. Vérification. — On n'obtient pas de coloration de la flamme en opérant comme il est indiqué n° 41 ; et l'on n'obtient pas de squelette de silice avec le sel de phosphore.

44 a. Vérification. — On obtient une coloration vert jaunâtre de la flamme en opérant comme il est dit au n° 41.

45 a. Vérification. — On obtient un squelette de silice avec le sel de phosphore.

46. Verre bleu.

**Borates alcalins.**  
**Phosphates alcalins.**

47. Verre bleu.

48. Verre bleu. **Silicates alcalins.**

46 a. *Vérification.* — Une belle coloration verte de la flamme est obtenue en opérant comme il est dit n° 42.

47 a. *Vérification.* — Une coloration vert jaunâtre de la flamme est obtenue en opérant comme il est dit n° 41.

48 a. *Vérification.* — Avec le sel de phosphore, on obtient le squelette de silice.

49. Masse rouge clair. **Magnésie.**

50. Masse violette. **Oxyde de zinc.**

51. Masse verte. **Oxydes de zinc, d'étain, d'antimoine et de titane (trouvés précédemment).**

VI. — LA SUBSTANCE EST CHAUFFÉE AVEC DU CARBONATE DE SODIUM DANS UN TUBE FERMÉ D'UN BOUT

52. Sublimé métallique qui se réunit en globules. **Mercure.**

52 a. *Vérification.* — Chauffé avec de l'hyposulfite de sodium dans le tube fermé on obtient du sulfure de mercure noir.

53. Odeur d'ammoniaque. **Ammoniaque.**

53 a. *Vérification.* — Il se produit des fumées blanches en présence de l'acide chlorhydrique.

Recherche des acides

VII. — LA SUBSTANCE EST CHAUFFÉE AVEC DU BISULFATE DE POTASSIUM DANS UN TUBE FERMÉ D'UN BOUT

a. Il se dégage un gaz coloré. Voir n° 54.

b. Il se dégage un gaz incolore mais odorant. Voir n° 60.

c. Il se dégage un gaz incolore et inodore. Voir n° 68.

d. Il ne se produit aucune réaction. Voir section VIII, n° 71.

54. Vapeurs rouges avec odeur nitreuse. **Acide azoteux ou azotique.**

54 a. *Vérification.* — Une bande de papier humectée de solution de sulfate ferreux, introduite dans le tube, prend une coloration brune.  
Les azotates chauffés avec du cyanure de potassium en poudre sur une feuille de platine déflagrent avec explosion.

55. Gaz vert jaunâtre avec odeur de chlore. **Acide chlorique.**

55 a. *Vérification.* — La substance détone sur le charbon.

56. Vapeurs violettes qui colorent en bleu l'empois d'amidon. **Iode.**

56 a. *Vérification.* — Les composés de l'iode, ajoutés à une perle de sel de phosphore contenant de l'oxyde de cuivre, colorent la flamme en vert pur.

57. La réaction précédente obtenue en ajoutant du sulfate ferreux. **Acide iodique.**

57 a. *Vérification.* — La substance détone sur le charbon.

58. Vapeurs brun rougeâtre qui colorent en jaune l'empois d'amidon. **Brome.**

58 a. *Vérification.* — Les composés du brome, ajoutés à une perle de sel de phosphore contenant de l'oxyde de cuivre, colorent la flamme en bleu verdâtre.

59. La même réaction. **Acide bromique.**

59 a. *Vérification.* — La substance détone sur le charbon.

60. Vapeurs donnant des fumées blanches en présence de l'ammoniaque et ayant l'odeur d'acide chlorhydrique. **Acide chlorhydrique.**

60 a. *Vérification.* — Les composés du chlore, ajoutés à une perle de sel de phosphore contenant de l'oxyde de cuivre, colorent la flamme en bleu intense.

61. Gaz à odeur piquante, corrosif, attaquant le verre. **Acide fluorhydrique.**

62. Odeur d'hydrogène sulfuré. **Acide sulfhydrique.**

62 a. *Vérification.* — Les sulfures chauffés dans le tube ouvert tenu obliquement dégagent de l'acide sulfureux reconnaissable à son odeur et à son action sur le papier de tournesol humide.

63. Odeur de soufre brûlé, sans séparation de soufre. **Acide sulfureux.**

64. Même réaction avec séparation de soufre. **Acide hyposulfurique.**

65. Odeur piquante particulière, provoquant les larmes et troublant l'eau de chaux. **Acide cyanique.**

66. Odeur de vinaigre. **Acide acétique.**

67. Odeur d'acide cyanhydrique. **Acide cyanhydrique.**

68. Le gaz se dégage avec effervescence et trouble l'eau de chaux.  
Acide carbonique.
69. Le gaz brûle avec une flamme bleue. Oxyde de carbone.
70. La substance se carbonise. Acides organiques.

VIII. — LA SUBSTANCE, QUI FORME UN SULFURE LORSQU'ON LA CHAUFFE SUR LE CHARBON AVEC DU CARBONATE DE SODIUM, EST CHAUFFÉE AVEC DE LA POTASSE CAUSTIQUE DANS UNE CUILLER DE PLATINE ET LA MASSE FONDUE EST ENSUITE MISE DANS L'EAU AVEC UNE LAME D'ARGENT OU UNE PIÈCE DE MONNAIE.

71. L'argent ne brunit pas. Acide sulfurique.

71 a. *Vérification.* — Pour rechercher l'acide sulfurique en présence de composés du soufre (n° 62), on dissout la substance dans de l'eau acidifiée par l'acide azotique et on précipite l'acide sulfurique par le chlorure de baryum. Les sulfates insolubles sont d'abord traités à l'ébullition par une solution de carbonate de sodium, puis on filtre et l'on acidifie.

## II. — MARCHE SYSTÉMATIQUE DE L'ANALYSE DES SUBSTANCES COMPOSÉES

*D'après EGGLESTON*

La substance peut contenir : Arsenic, Antimoine, Soufre, Sélénium, Fer, Manganèse, Cuivre, Cobalt, Nickel, Plomb, Bismuth, Argent, Or, Mercure, Zinc, Cadmium, Étain, Chlore, Brome, Iode, Acide carbonique, Silice, Acide azotique, Eau, etc.

La substance est chauffée sur le charbon dans la flamme d'oxydation pour rechercher les éléments volatils, tels que l'arsenic, l'antimoine, le soufre, le sélénium, le plomb, le bismuth, le cadmium, etc. (§ 25 et suivants).

*Il n'y a pas  
d'éléments vo-  
latils.*

On divise la  
substance en  
trois parties  
et l'on passe  
à A.

*Il y a des substances volatiles*

(1) Il se produit un enduit et on le traite par le sel de phosphore. Pour l'étain et l'antimoine, voir § 115; pour séparer le plomb et le bismuth, opérer comme il est indiqué § 113, 114 et 128.

a. Enduit jaune. Avec le sel de phosphore, perle noire, disparaissant avec une flamme bleue, ne donnant dans aucune partie de la flamme la coloration verte de l'antimoine. **Plomb, Bismuth.**

b. Enduit jaune, ordinairement entouré d'une bordure blanche. Avec le sel de phosphore perle noire ou grise, disparaissant avec une flamme bleue; la bordure disparaît en colorant la flamme en vert. **Plomb, Antimoine.**

c. Enduit jaune comme en b, mais sans flamme bleue. **Bismuth, Antimoine.**

(2) Odeur d'arsenic, de soufre, de sélénium, ou, en présence de l'antimoine, griller une certaine quantité de la substance sur le charbon jusqu'à ce que les éléments volatils soient chassés et que l'odeur disparaisse; diviser l'essai en trois parties et passer à A.

### A. — Traitement de la première partie

Dissoudre une petite quantité de l'essai dans le borax sur le fil de platine et à la flamme d'oxydation et examiner la coloration de la perle. Lorsque plusieurs oxydes se trouvent en présence, il se produit souvent plusieurs colorations; dans ce cas, on sature la perle et on la fait tomber dans une capsule de porcelaine (§ 41). Préparer plusieurs perles de cette manière et les traiter sur le charbon avec le plomb, l'argent ou l'or dans une forte flamme de réduction (§ 138 et 141). Si la masse s'étend sur le charbon, continuer à chauffer jusqu'à ce qu'il se forme un globule.

Le globule métallique est séparé du borax pendant qu'il est encore chaud ou avec un marteau s'il est froid, tous les fragments étant soigneusement recueillis.

Le globule métallique contient réduits le nickel, le cuivre, l'argent, l'or, l'étain, le plomb et le bismuth (l'étain, le plomb et le bismuth sont en partie volatilisés).

Traiter le globule métallique sur le charbon dans la flamme d'oxydation jusqu'à ce que tout le plomb soit chassé, ou séparer le plomb par le borax (§ 140). Le nickel, le cobalt, l'argent et l'or restent.

Traiter le résidu sur le charbon à la flamme d'oxydation avec du sel de phosphore et enlever la perle pendant qu'elle est encore chaude :

Une perle verte à froid indique (§ 141) **Nickel et Cuivre.**

Une perle jaune, **Nickel.**

Une perle bleue **Cuivre.**

La perle de cuivre chauffée sur le charbon à la flamme de réduction, avec de l'étain, devient rouge (§ 139).

La présence de l'argent et de l'or est vérifiée par un essai spécial.

Le borax retient le fer, le manganèse, le cobalt, etc.

Dissoudre un fragment de la perle dans le borax sur le fil de platine; on obtient une perle bleue.

**Cobalt.** En présence de beaucoup de fer, il faut ajouter une plus grande quantité de borax afin de caractériser le cobalt (§ 137).

Perle violette ou noire dans la flamme d'oxydation.

#### Manganèse.

Lorsque le fer et le manganèse sont seuls présents, on obtient à la flamme de réduction une perle presque incolore.

Faire un essai par voie humide (§ 67) pour rechercher le **chrome**, le **titane**, le **molybdène**, le **niobium**, le **tungstène** et le **vanadium**.

#### B. — Traitement de la deuxième partie

Chauffer sur le charbon, dans la flamme de réduction, avec du carbonate de sodium et procéder à la recherche du **zinc**, du **cadmium** et de l'**étain**. S'il se forme un enduit blanc, traiter avec la solution d'azotate de cobalt (§ 61).

#### C. — Traitement de la troisième partie

Dissoudre dans le sel de phosphore, sur le fil de platine, à la flamme d'oxydation, pour caractériser la **silice** et rechercher le **manganèse** avec l'azotate de potassium (§ 160).

### ESSAIS SPÉCIAUX

1. Pour vérifier la présence de l'**arsenic**, chauffer sur le charbon avec du carbonate de sodium ou dans le tube fermé avec du carbonate de sodium sec (§ 122 et suivants).
2. Dissoudre l'essai dans le sel de phosphore sur le fil de platine à la flamme d'oxydation (à la condition que l'essai ne soit ni un métal, ni ne contienne du soufre) et vérifier la présence de l'**antimoine** en chauffant sur le charbon avec de l'**étain** dans la flamme de réduction (§ 115).
3. Vérifier la présence du **sélénium** en chauffant sur le charbon, comme il est dit § 172.
4. En l'absence du **sélénium**, fondre avec du carbonate de sodium à la flamme de réduction et vérifier la présence du **soufre** à l'aide

de la lame d'argent (§ 174). Si la substance contient du **sélénium**, faire l'essai pour le soufre dans le tube ouvert (§ 14). Pour distinguer les sulfures des sulfates, voir § 175.

5. On caractérise le **mercure** en chauffant l'essai dans un tube fermé avec du carbonate de sodium sec (n° 33 du tableau page 264).

6. Fondre l'essai avec du plomb pauvre et du verre de borax sur le charbon dans la flamme de réduction. Coupeller le globule de plomb pour caractériser l'**argent** (§ 121). On caractérise l'**or** au moyen de l'acide azotique (§ 167).

7. L'essai pour le **chlore**, le **brome** et l'**iode** se fait au moyen d'une perle de sel de phosphore contenant du cuivre (§ 131, 133 et 156).

8. On fait l'essai pour le **chlore** et le **brome** avec le bisulfate de potassium (§ 64 et 65).

9. On recherche l'**eau** dans le tube fermé (§ 9).

10. Les essais de coloration de la flamme se font comme il est indiqué § 42.

11. On caractérise l'**acide carbonique** avec l'acide chlorhydrique.

12. La recherche de l'**acide azotique** s'effectue à l'aide du bisulfate de potassium (§ 110).

13. Le **tellure** se caractérise en suivant les indications du § 176.

## RÉSUMÉ DES RÉACTIONS OBTENUES AU CHALUMEAU

Disposé dans l'ordre des phénomènes observés

NATURE DE L'ESSAI	PHÉNOMÈNES OBSERVÉS ET CONCLUSIONS
1. On chauffe l'essai dans un matras de verre.	<p><i>Il se dégage de l'eau</i> : eau de cristallisation ; réaction alcaline, <math>AzH^3</math> ; réaction acide, acides volatils.</p> <p><i>Il se dégage un gaz</i> : O, <math>SO^2</math>, <math>H^2S</math>, <math>AzO^2</math>, <math>CO^2</math>, CO, <math>(CAZ)^2</math>, <math>AzH^3</math>, HF, I, Br.</p> <p><i>Il se forme un sublimé</i> : blanc = <math>AzH^4Cl</math>, <math>Hg^2Cl^2</math>, <math>HgCl^2</math>, <math>Sb^2O^3</math>, <math>As^2O^3</math>, <math>TeO^2</math> ; noir grisâtre = As, Hg, Te ; coloré : à chaud, brun jaunâtre, à froid, jaune = S ; à chaud, noir, à froid, brun rougeâtre = sulfure d'antimoine ; à chaud, rouge brunâtre, à froid, jaune rougeâtre = sulfure d'arsenic ; noir, devenant rouge par le frottement = cinabre ; noir rougeâtre (poudre rouge foncé) = sélénium ;</p> <p><i>La substance change de couleur</i> : blanc, jaune, blanc = ZnO ; blanc, rouge brun, jaune = PbO ; blanc, orangé, jaune pâle = <math>Bi^2O^3</math> ; rouge, noir, rouge (volatil) = HgO ; rouge, noir, rouge (non volatil) = <math>Fe^2O^3</math>.</p> <p><i>La substance fond</i> : sels alcalins.</p> <p><i>La substance se carbonise</i> : composés organiques.</p>

*La substance devient phosphorescente* : oxydes alcalino-terreux, oxydes terreux, ZnO,  $SnO^2$ .

*La substance chauffée avec du carbonate de sodium dégage de l'ammoniaque* : sels ammoniacaux, substances organiques azotées.

*Il se dégage une odeur* : de  $SO^2$  = soufre et sulfures ; de raifort pourri = sélénium et séléniures (sublimé gris d'acier avec bords rouges).

*Il se forme un sublimé* : blanc et cristallin = As ; globules métalliques = Hg ; fumées blanches, sublimé partiellement volatil = Sb ; fumées blanches, sublimé fusible en gouttes incolores = Te.

*La substance est fusible* : (a) le corps n'est pas un métal = sels alcalins et quelques sels alcalino terreux ;

(b) le corps est un métal : facilement fusible = Sb, Pb, Cd, Te, Bi, Zn, Sn ; difficilement fusible = Cu, Au, Ag.

*La substance est infusible* : (a) le corps n'est pas un métal = sels terreux et alcalino-terreux,  $SiO^2$  ;

(b) le corps est un métal = Fe, Co, Ni, Mo, Pt, Ir, Rh, Os, Tu.

*La substance détone* : nitrates, chlorates, bromates et iodates.

*La substance se boursouffle* : substances contenant de l'eau, borates, alun.

## RÉSUMÉ DES RÉACTIONS OBTENUES AU CHALUMEAU (Suite)

NATURE DE L'ESSAI	PHÉNOMÈNES OBSERVÉS ET CONCLUSIONS
3. On chauffe sur le charbon.	<p>Il se dégage une odeur : S, As, Se, Te.</p> <p>La flamme se colore : en jaune = Na;  en rouge jaunâtre = Ca;  en rouge = Li, Sr;  en vert = Ba, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MoO<sub>3</sub>, Cu;  en bleu = CuCl<sub>2</sub>, Se, As, Pb;  en violet = K.</p> <p>Il y a réduction de métal et il se forme un enduit :  (1) Métal réduit sans formation d'enduit.  globe brillant = Ag, Au, Cu;  poudre grise = Fe, Co, Ni, Mo, Tu, Pt, Pd.  (2) Métal réduit avec formation d'enduit.  Enduit blanc bleuâtre et volatil = Sb;  » orangé à chaud, jaune citron à froid = Bi;  » jaunâtre à chaud, jaune soufre à froid = Pb;  » rouge foncé = Ag.  (3) Formation d'enduit sans réduction de métal.  Enduit blanc et volatil = As;  » jaune à chaud, blanc à froid = Zn;  » brun rougeâtre avec les bords irisés = Cd;</p>

3. On chauffe sur le charbon avec du carbonate de sodium.	Couleur de la perle	Dans la flamme d'oxydation		Dans la flamme de réduction	
		à chaud	à froid	à chaud	à froid
4. On chauffe sur le charbon avec le fil de platine avec du borax.	Jaune (perle non saturée).	Fe, U, Ce, Cr, Mo.	»	Ti, Mo.	Ti.
	Jaune (perle saturée).	V, Ti, Tu, Pb, Bi, Sb, Zn, Cd.	Fe, U, Ce.	Tu.	»
5. On chauffe sur le fil de platine avec du borax.	Rouge (perle non saturée).	»	»	»	Cu (brunâtre), Cu (brunâtre).
	Rouge (perle saturée).	Fe, Ce, U, Cr, Mo.	»	(perle saturée), Mo, V, Ti.	(perle saturée), Tu, Mo, Ti.
	Marron.	»	Ni.	»	»
	Violette.	Mn, Ni.	Mn.	»	»

## RÉSUMÉ DES RÉACTIONS OBTENUES AU CHALUMEAU (Suite)

NATURE DE L'ESSAI	PHÉNOMÈNES OBSERVÉS ET CONCLUSIONS				
	Couleur de la perle	Dans la flamme d'oxydation			
		à chaud	à froid	Dans la flamme de réduction	
		à chaud	à froid	à chaud	à froid
6. On chauffe sur le fil de platine avec du sel de phosphore.	Bleue.	Co.	Co, Cu.	Co.	Co.
	Verte.	Cu.	Cr, V.	Fe, U, Cr.	Fe, V, U, Cr.
	Jaune (perle non saturée).	Fe, U, V, Ce, Ag.	V, Ni.	Ti, Fe.	Ni.
	Jaune (perle saturée).	U, V, Tu, Ti, Ag, Pb, Bi, Sb, Zn, Cd.	V, Ni.	Ti.	Ni.
	Rouge (perle non saturée).	Ni, Cr.	»	Cr.	Cu.
	Rouge (perle saturée).	Fe, Ce, Ni, Cr.	Fe (brunâtre).	Fe, Cr, Ni.	Cu.
	Marron.	»	»	V.	»
	Violette.	Mn.	Mn.	»	Ti.
	Bleue.	Co.	Co, Cu.	Co.	Co, W.
	Verte.	Cu, Mo.	U, Cr, Mo.	U, Co, Mo, Tu.	U, Mo, Cr, V.

Squelette de silice = SiO<sub>2</sub>.

7. On chauffe la substance sur le fil de platine après l'avoir mouillée d'acide chlorhydrique.

La flamme se colore en :

Jaune = Na; à travers un verre bleu, invisible ou bleu; à travers un verre vert, orangé.  
 Rouge jaunâtre = Ca; la réaction est masquée par Ba; à travers un verre bleu, gris verdâtre; à travers un verre vert, vert.  
 Rouge = Li; réaction masquée par Na; à travers un verre bleu, violet; à travers un verre vert, invisible.  
 Rouge = Sr; réaction masquée par Ba; à travers un verre bleu, violet rouge; à travers un verre vert, momentanément jaunâtre.  
 Vert = B<sup>2</sup>O<sub>3</sub>, P<sup>2</sup>O<sub>5</sub>, Ba (à travers un verre vert, vert bleuâtre), MoO<sub>3</sub>, Tl.  
 Bleu = Cu (ensuite en vert), In, Se, As, Pb, Sb.  
 Violet = K, réaction masquée par Na; à travers un verre bleu, rouge pourpre; verre vert, vert bleuâtre.

8. On chauffe la substance sur une feuille de platine avec du carbonate de sodium et de l'azotate de potassium.

Masse jaune = Cr.  
 Masse verte = Mn.

9. On chauffe la substance sur le charbon avec la solution d'azotate de cobalt.

Masse infusible bleue = Al<sup>2</sup>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> et les phosphates et silicates terreux.  
 Verre bleu = phosphates, borates et silicates alcalins.  
 Masse verte = ZnO, TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, Sb<sup>2</sup>O<sub>3</sub>.  
 Masse incarnat = MgO.

## RÉSUMÉ DES REACTIONS OBTENUES AU CHALUMEAU (Suite et fin)

NATURE DE L'ESSAI	PHÉNOMÈNES OBSERVÉS ET CONCLUSIONS
9. On chauffe la substance sur le charbon avec la solution d'azotate de colbat.	<p>Masse marron = BaO.            Masse grise = <math>\text{CaO}</math>, <math>\text{CaO}</math>, SrO.            Masse violette = <math>\text{ZrO}_2</math>.</p> <p>L'essai se colore en:            Blanc = ZnO.            Rouge = <math>\text{Sb}_2\text{O}_3</math>, <math>\text{CdO}</math> (à chaud; jaune à froid).            Jaune = <math>\text{As}_2\text{O}_3</math>, <math>\text{CdO}</math>.            Marron = <math>\text{SnO}_2</math>.            Vert = <math>\text{Cr}_2\text{O}_3</math>, MnO.            Noir = <math>\text{PbO}</math>, <math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math>, <math>\text{CoO}</math>, <math>\text{CuO}</math>, <math>\text{NiO}</math>, <math>\text{UO}_3</math>, <math>\text{Bi}_2\text{O}_3</math>, <math>\text{Ag}_2\text{O}</math>, <math>\text{HgO}</math>, <math>\text{Sb}_2\text{O}_3</math> (d'abord rouge).</p>
10. On chauffe la substance avec de l'hyposulfite de sodium dans un tube fermé d'un bout.	<p>Il se dégage:            des vapeurs colorées: marron = <math>\text{As}_2\text{O}_3</math>; vert jaunâtre = <math>\text{ClO}_2</math>; violette = I;            brun rougeâtre = Br.            un gaz odorant: <math>\text{SO}_2</math>, HCl, HF, <math>\text{H}_2\text{S}</math>.            un gaz incolore et inodore: <math>\text{CO}_2</math>, CO.</p>
12. Réaction avec l'iode de soufre. — (a), sur le morceau de gypse.	<p>On obtient un dépôt:            Jaune = Pb, Ag, ainsi que quelques métaux en très petite quantité.            Jaune et écarlate = Hg.            Rouge orangé = Sb, As.            Jaune brunâtre = Sn.            Brun rougeâtre = Se.            Brun tirant sur le pourpre = Te.            Brun chocolat = Bi (bords rouges).            Brun verdâtre = Co (bords verts).            Bleu d'outre mer foncé = Mo.            Bleu verdâtre foncé = Tu.</p>
(b), sur le charbon.	<p>Blanc = Cu, Cd, Zn.</p>
13. Réactions avec le zinc et l'acide chlorhydrique après décomposition préalable.	<p>La solution se colore en:            Bleu, vert, brun noirâtre = <math>\text{MoO}_3</math>.            Bleu, rouge cuivre = <math>\text{TuO}_3</math>.            Bleu, vert, violet = <math>\text{V}_2\text{O}_5</math>.            Vert = <math>\text{CrO}_3</math>.            Violet = <math>\text{TlO}_2</math>.</p>

TABLE DES CORPS SIMPLES AVEC LEUR  
POIDS ATOMIQUE

Aluminium	Al	27,08	Manganèse	Mn	54,95
Antimoine	Sb	120,11	Mercure	Hg	200,23
Argent	Ag	107,93	Molybdène	Mo	95,95
Arsenic	As	75,04	Nickel	Ni	58,46
Azote	Az	14,04	Niobium	Nb	94,03
Baryum	Ba	137,08	Or	Au	196,69
Bismuth	Bi	208,01	Osmium	Os	198,16
Bore	Bo	10,97	Oxygène	O	16,00
Brome	Br	79,96	Palladium	Pd	106,12
Cadmium	Cd	112,08	Phosphore	P	31,03
Calcium	Ca	40,00	Platine	Pt	194,86
Cæsium	Cs	132,91	Plomb	Pb	206,91
Carbone	C	12,00	Potassium	K	39,13
Cérium	Ce	141,30	Rhodium	Rh	104,14
Chlore	Cl	35,46	Rubidium	Rb	85,44
Chrome	Cr	52,30	Ruthénium	Ru	103,97
Cobalt	Co	58,99	Sélénium	Se	79,02
Cuivre	Cu	63,33	Silicium	Si	28,07
Didyme	Di	145,00	Sodium	Na	23,05
Erbium	Er	166,22	Soufre	S	32,06
Étain	Sn	117,97	Strontium	St	87,32
Fer	Fe	56,01	Tantale	Ta	182,61
Fluor	Fl	19,03	Tellure	Te	126,62
Gallium	Ga	70,00	Thallium	Tl	204,19
Germanium	Ge	72,32	Thorium	Th	233,04
Glucinium	Gl	9,10	Titane	Ti	49,14
Hydrogène	H	1,00	Tungstène	Tu	184,01
Indium	In	113,68	Uranium	U	239,80
Iode	I	126,86	Vanadium	V	51,27
Iridium	Ir	193,02	Yttrium	Y	89,61
Lanthane	La	138,52	Zinc	Zn	65,25
Lithium	Li	7,03	Zirconium	Zr	90,55
Magnésium	Mg	24,19			

## LISTE DES SUBSTANCES ET DES MINÉRAIS

## NÉCESSAIRES

POUR S'EXERCER A LA PRATIQUE DE L'ANALYSE  
AU CHALUMEAU

## Métaux

1. Antimoine.
2. Bismuth.
3. Plomb.
4. Étain.
5. Argent.
6. Arsenic.
7. Zinc.
8. Cadmium.

## Sulfures

23. Sulfures d'arsenic et d'antimoine (obtenu artificiellement).
24. Sulfures d'arsenic, d'antimoine, de plomb et de cuivre (obtenu artificiellement).

## Sels

25. Carbonate de sodium.
26. Borax.

## Oxydes

9. Oxyde d'étain.
10. Oxyde de zinc.
11. Oxyde de cadmium.
12. Oxyde d'antimoine.
13. Oxyde de bismuth.
14. Oxyde de fer.
15. Oxyde d'uranium.
16. Anhydride molybdique.
17. Oxyde de chrome.
18. Protoxyde de cobalt.
19. Oxyde cuivrique.
20. Anhydride tungstique.
21. Alumine.
22. Acide arsénieux.
27. Sel de phosphore.
28. Bisulfate de potassium.
29. Spath fluor.
30. Chlorure de potassium.
31. Bromure de potassium.
32. Iodure de potassium.
33. Chlorure de sodium.
34. Chlorure d'ammonium.
35. Chlorate de potassium.
36. Azotate de plomb.
37. Azotate de cobalt.
38. Oxalate de nickel.
39. Sulfate de cuivre.
40. Chlorure de cuivre.

41. Arséniate de cuivre.  
42. Chlorure mercurieux.  
43. Chlorure mercurique.

*Alliages*

44. Amalgame d'étain.  
45. Alliage de plomb et d'antimoine.  
46. Alliage de plomb et de bismuth.  
47. Alliage de plomb et de zinc.  
48. Alliage de plomb, de cuivre et d'argent.  
49. Alliage d'étain et de cuivre.  
50. Alliage de zinc et de cadmium.

*Minéraux*

51. Quartz, SiO<sub>2</sub>.  
52. Gypse, CaSO<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O.  
53. Strontianite, SrCO<sub>3</sub>.  
54. Withérite, BaCO<sub>3</sub>.  
55. Magnésite, MgCO<sub>3</sub>.  
56. Muscovite, 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> + K<sub>2</sub>O, 3SiO<sub>2</sub>.  
57. Orthoclase, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3SiO<sub>2</sub> + K<sub>2</sub>O, 3SiO<sub>2</sub>.  
58. Albite, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3SiO<sub>2</sub> + Na<sub>2</sub>O, 3SiO<sub>2</sub>.

59. Petalithe, 3(LiO, 2SiO<sub>2</sub>) + 4(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6SiO<sub>2</sub>).  
60. Hématite, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.  
61. Rutile, TiO<sub>2</sub>.  
62. Pyrolusite, MnO<sub>2</sub>.  
63. Lépidoïte, Al<sup>2</sup>Li KF<sup>2</sup>Si<sup>3</sup>O<sup>9</sup>.  
64. Apatite, 3(3CaO, P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>) + Ca(F, Cl)<sup>2</sup>.  
65. Franklinite (FeO, ZnO, MnO), (Fe O<sup>3</sup>, Mn<sup>2</sup>O<sup>3</sup>).  
66. Uranite, U<sup>3</sup>O<sup>4</sup>.  
67. Chromite, (FeO, MgO)(Cr<sup>2</sup>O<sup>3</sup>, Al<sup>3</sup>O<sup>3</sup>).  
68. Cérusite, PbCO<sub>3</sub>.  
69. Malachite, CuCO<sub>3</sub> + Cu H<sup>2</sup>O<sup>2</sup>.  
70. Stibine, Sb<sup>2</sup>S<sup>3</sup>.  
71. Pyrite, FeS<sup>2</sup>.  
72. Chalcopyrite, Cu<sup>2</sup>S + Fe<sup>2</sup>S<sup>3</sup>.  
73. Arsénopyrite, FeS<sup>2</sup> + FeAs<sup>2</sup>.  
74. Smaltine, (Co, Fe, Ni)As<sup>2</sup>.  
75. Cobaltine, CoS<sup>2</sup> + CoAS<sup>2</sup>.  
76. Réalgar, AsS.  
77. Cinnabre, HgS.  
78. Nickéline, NiAs.  
79. Molybdénite, MoS<sup>2</sup>.  
80. Berthiérîte, FeS + Sb<sup>2</sup>S<sup>3</sup>.  
81. Bournonite, 3(Cu<sup>2</sup>Pb)S + Sb<sup>2</sup>S<sup>3</sup>.  
82. Tétrahédrite, 4(Cu<sup>2</sup>, Fe, Zn, Ag, Hg) + (Sb, As, Bi)<sup>2</sup>S<sup>3</sup>.  
83. Clausthalite, PbSe.  
84. Tétradymite, Bi<sup>2</sup>(Te, S)<sup>3</sup>.  
84. Vanadinite, 3(3PbO, V<sup>2</sup>O<sup>5</sup>) + PbCl<sup>2</sup>.

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU

PAR LES ALCALIS, LES OXYDES ALCALINO-TERRÉUX ET TERREUX, LES OXYDES MÉTALLIQUES SEULS ET EN PRÉSENCE DES RÉACTIFS

Principalement d'après l'analyse au chalumeau de Plattner

ALCALIS	Chauffés seuls sur le fil de platine	Chauffés seuls sur la lame de platine	Remarques
1. Potasse.	Fondue sous l'action de la pointe bleue de la flamme, elle donne une coloration violette à la zone extérieure de la flamme. Une très petite quantité de soude masque la réaction (voir § 50).		
2. Soude.	Fondue sous l'action de la pointe bleue de la flamme, elle donne une coloration jaune rougeâtre à la zone extérieure de la flamme. La présence de la potasse, même en grande quantité, n'empêche pas cette coloration.		La dissolution fait passer au bleu le papier de tournesol rouge.

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

ALCALIS	Chauffés seuls sur la lame de platine	Chauffés seuls sur le fil de platine.	Remarques
3. Lithine.	Fondue sous l'action de la pointe bleue de la flamme, elle donne une coloration rouge carmin à la zone extérieure de la flamme. Une très grande quantité de potasse, même en proportion plus forte que la lithine, n'empêche pas la coloration. Toutefois, une très petite quantité de soude modifie la coloration qui varie, suivant le cas, du rouge jaunâtre au jaune rougeâtre (voir § 52).	Lorsque la lithine est fondue, la lame de platine prend une coloration jaune foncé autour de l'alcali fondu. Cette coloration disparaît lorsque la lame est lavée, puis portée au rouge, mais le platine en cet endroit est moins brillant et prend un aspect terne qui est beaucoup plus visible lorsqu'on porte la lame à la température du rouge.	La dissolution fait passer au bleu le papier de tournesol rouge.
4. Ammoniaque.	L'azotate, le sulfate et le chlorhydrate colorent la flamme extérieure en vert pâle.		Facile à reconnaître à son odeur caractéristique ; bleuit le papier de tournesol rouge.

OXIDES ALCAINOTERREUX ET TERREUX.	Chauffés seuls sur le charbon et dans la pièce à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé sur le charbon avec du carbonate de sodium.	Chauffé avec la solution d'azotate de cobalt dans la flamme d'oxydation.
5. Baryte.	L'hydrate fond, bout et se boursoufle ; il se fixe sur le charbon, puis y pénètre en bouillant violemment. Le carbonate fond facilement en une masse vitreuse transparente, qui, en refroidissant, devient blanc d'émail ; en le faisant fondre de nouveau, il entre en ébullition, devient caustique et est absorbé par le charbon. Tenue dans la pince, la baryte colore la zone extérieure de la flamme en vert jaunâtre (voir § 53).	Le carbonate se dissout avec effervescence en donnant une perle transparente ; ajoutée en certaine quantité, la perle devient blanc d'émail par le flambage ; en plus grande quantité, le carbonate rend la perle blanc d'émail par le refroidissement.	Même réaction qu'avec le borax.	Fond en une perle rouge brunâtre qui, en refroidissant, perd sa couleur et se réduit bientôt, sous l'action de l'air, en une poudre verte brillante. Si la solution employée était très étendue, la perle prendrait une coloration marbrée pâle.

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHAUX-LEU (Suite)

OXYDE ALCALINO-TERRUX ET TERRUX.	Chauffé seul sur le charbon et dans la pince à bouts de platine	Chauffé avec le bore sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauffé sur le charbon avec du carbonate de sodium.	Chauffé avec la solution d'azotate de cobalt à la flamme d'oxydation.
6. Strontiane.	L'hydrate se comporte comme celui de baryte. Le carbonate fond seulement sur les bords et se boursoufle en prenant l'apparence du chou-fleur. Les ramifications sont brillantes et tendent la flamme de réduction en rouge. A froid la substance a une réaction alcaline. Tenue dans la pince, la strontiane colore la zone extérieure de la flamme en rou-	Se comporte comme la baryte.	Se comporte comme la baryte.	L'oxyde est insoluble. Le carbonate mélangé avec son volume de fondant fond en donnant un verre incolore qui devient laiteux par refroidissement. Chauffé plus fortement, ce verre entre en ébullition, l'alcali devient caustique et pénètre dans le charbon. Si on ajoute une plus grande quantité de carbonate, il ne fond pas, mais devient caus-	La masse prend une couleur noire ou grise noirâtre.

7. Chaux.	L'oxyde n'éprouve aucun changement. Le carbonate devient caustique et plus blanc. Dans la flamme, il prend un vif éclat; il donne une réaction alcaline et tombe en poussière dès qu'on le mouille avec de l'eau. Tenu dans la pince, la chaux donne à la flamme extérieure une faible coloration rouge (V. § 55).	Se dissout facilement en donnant un verre transparent qui devient opaque par le flambage. Le carbonate se dissout avec effervescence. Ajouté à la perle en grande quantité, il donne un verre transparent qui, par le refroidissement, devient opaque et cristallin, mais jamais blanc d'émail comme la baryte et la strontiane.	Se dissout en grande quantité (le carbonate avec effervescence) en donnant un verre transparent. La perle, légèrement tournée, devient opaque par le flambage. Lorsqu'elle est entièrement sa- turée, le verre transparent à chaud devient blanc d'émail par le refroidissement.	Insoluble. Le flux pénètre dans le charbon laissant la chaux à la surface.	La chaux est infusible et prend une couleur grise.
-----------	--	--	--	--	--

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXIDES ALCAI- NES ET TER- REUX.	Chauflé, seul sur le charbon et dans la pince à bous de platine	Chauflé avec le borax sur le fil de platine.	Chauflé avec le sel de phospho- re sur le fil de platine.	Chauflé sur le charbon avec du carbonate de sodium.	Chauflé avec la so- lution d'azotate de cobalt dans le flamme d'oxygène.
8. Magnésie.	Le carbonate est décomposé, il devient in- candescent dans la flamme et donne en- suite une réac- tion alcaline.	Se comporte comme la chaux, mais la perle ne prend pas un aspect cris- tallin aussi net.	Se dissout facilement (le carbonate avec effervescence) en donnant un verre transpa- rent qui de- vient opaque par le flam- bage; complé- tement satu- ré, la perle devient blanc d'émail, de même que par le refroidisse- ment.	Se comporte comme la chaux.	En les chauflant au chalumeau, les sels de ma- gnésie pré- sentent une colo- ration rose pâ- le qui n'est vi- sible que lors- que la subs- tance est re- froïdie. Le phosphate et l'arséniate fon- dent en pré- sentant une co- loration rouge violette.
9. Alumine.	Sans chan- gement.	Se dissout lentement en donnant un verre transpa- rent qui ne de- vient pas opa- que, soit par	Se dissout lentement et donne un verre qui reste tou- jours transpa- rent. Lors- qu'on ajoute	Se boursoufle un peu et for- me un com- posé infusible. L'excès de flux est absorbé par le charbon.	Après avoir chauflé forte- ment on ob- tient une belle coloration bleue, visible seulement lors-

que la subs-  
tance est re-  
froïdie.

un excès d'a-  
lumine, la par-  
tie non dis-  
soute rend la  
perle semi-  
opaque.

le refroidisse-  
ment après que  
la perle a été  
saturée, soit  
par le flamba-  
ge. Lorsqu'on  
ajoute à la  
perle de borax  
de l'alumine en  
assez grande  
quantité et en  
poudre très  
fine, il se forme  
une perle opa-  
que qui, par le  
refroidissement,  
prend un as-  
pect cristallin  
et est presque  
infusible.

Sans chan-  
gement.

Se comporte  
comme avec le  
borax.

Insoluble.

Prend une fai-  
ble coloration  
gris bleuâtre.

TABEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES ALCALINO-TERRÉUX ET TERRÉUX.	Chauflé seul sur le charbon et dans la pince à bouts de platine.	Chauflé avec la borax sur le fil de platine.	Chauflé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauflé sur le charbon avec du carbonate de sodium.	Chauflé avec la solution d'azotate de cobalt à la flamme d'oxydation.
11. Yttria.	Sans changement.	Se comporte comme la glucine.	Se comporte comme la glucine.	Insoluble.	
12. Oxyde d'erbium.	Prend dans la flamme de réduction un vif éclat et devient transluide.	Se dissout assez lentement en donnant un verre transparent qui devient opalin par le flambage ou par le refroidissement lorsque la perle a été complètement saturée.	Se comporte comme la glucine.	Insoluble.	
13. Zirconé.	In fusible. Émet une lueur éblouissante lorsqu'elle est incandescente.	Se comporte comme la glucine.	Se dissout moins facilement que dans le borax et donne plus facilement une perle opalescente.	Insoluble.	Prend une coloration violet foncé.
14. Thorine.	Sans changement.	En petite quantité se dissout en donnant un verre transparent.	Se comporte comme avec le borax.	Insoluble.	

15. Silice.	Sans changement.	Lorsqu'elle est saturée, elle devient opalescente par le refroidissement. Toutefois, lorsque la perle ne devient pas opalescente par le refroidissement le flambage ne peut la rendre opaque.	En très petite quantité donne une perle transparente. Dans les autres cas, la portion de silice non dissoute nage dans la perle sous forme de masse semi-transparente (squelette de silice). Cette réaction doit être examinée dans la perle chaude et au besoin à l'aide d'une loupe.	Se dissout avec une vive effervescence en donnant un verre transparent.	Avec une petite quantité de dissolution on obtient une coloration bleu pâle; si on en ajoute une plus grande quantité, la coloration est noire ou gris foncé. Les parties minces de l'essai sur les bords peuvent être fondues, en chauffant fortement, en un verre d'une coloration bleu rougeâtre.
-------------	------------------	---	--	---	--

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXIDES MÉTALLIQUES	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le pt de platine.	Chauffé avec le sel de phosphore sur le pt de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
16. Antimoine.	<p><i>Flamme oxydante.</i> — L'essai est déplacé et forme autour de sa place primitive un enduit blanc.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Il est réduit et volatilisé et le charbon se recouvre autour de l'essai d'un enduit formé principalement d'acide antimoineux; la zone extérieure de la flamme se colore en bleu verdâtre.</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout en grande quantité en donnant un verre transparent qui est jaunâtre à chaud et incolore à froid.</p> <p>En chauffant sur le charbon, l'oxyde peut être complètement chassé de telle sorte qu'en ajoutant de l'étain il ne se produit aucune réaction.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> —</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — L'essai se dissout en bouillonnant et donne un verre transparent qui, à chaud, est légèrement coloré en jaune.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Sur le charbon le verre saturé commence par se troubler, puis redevient transparent lorsque l'antimoine réduit s'est volatilisé. Traitée par l'é-</p>	<p>Sur le charbon, dans la flamme d'oxydation et dans la flamme de réduction, l'oxyde est facilement réduit, mais le métal obtenu se volatilise aussitôt en produisant un enduit blanc d'oxyde.</p>	<p>a. Avec la solution d'azotate de cobalt. — L'enduit obtenu sur le charbon, mouillé avec la solution de cobalt et chauffé dans la flamme d'oxydation, se volatilise partiellement; la partie qui reste est un oxyde supérieur d'antimoine qui, par le refroidissement, prend une coloration verte bleutée.</p> <p>b. Avec l'hy-</p>

DANS LA FLAMME D'OXYDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION

La perle qui a été chauffée seulement pendant un instant dans la flamme oxydante devient grisâtre et se trouble lorsqu'on la chauffe sur le charbon par suite de la séparation de particules d'antimoine métallique; toutefois ces particules se volatilisent si on chauffe plus longtemps et la perle redevient transparente. Par l'addition d'étain, le verre devient gris ou noir suivant qu'il est plus ou moins saturé.

tain, la perle devient grise par le refroidissement par suite de la réduction de l'oxyde, mais en chauffant plus longtemps elle redevient transparente. Lorsque la perle contient très peu d'oxyde dissous, l'étain produit un léger trouble grisâtre.

*posulfite de sodium.* — Formation d'un sulfure d'antimoine rouge, puis noir.

c. *Enduit d'iodure.* — Rouge orangé.

UNIVERSIDAD NOMA DE NUEVO LEÓN  
 INSTITUCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre al- phabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bous de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé avec le sol de phospho- re sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate sodium.	Autres réactions
<p>17. Argent.</p>	<p>Se réduit fa- cilement à l'état métallique et le métal fond en globules.</p>	<p><i>Flamme oxy- dante.</i> — Une partie se dis- sout et l'autre est réduite à l'état métal- lique. Par le refroidissement la perle de- vient opales- cescente ou lai- teuse suivant qu'elle a dis- sous plus ou moins d'oxyde. L'argent mé- tallique fondu avec le borax dans un creu- set de terre donne un verre ayant la même apparence.</p>	<p><i>Flamme oxy- dante.</i> — L'oxy- de, ainsi que le métal donnent à la perle une coloration jau- nâtre. Lors- qu'elle contient beaucoup d'o- xyde, la perle est opalescente à froid et pa- rait jaunâtre à la lumière du jour et rou- geâtre à la lu- mière du gaz.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Se comporte comme avec le borax.</p>	<p>L'argent est réduit sous forme de glo- bules métal- liques et le fon- dant pénètre dans le char- bon.</p>	<p>a. Avec l'hy- posulfite de so- dium. — For- mation de sul- fure noir. b. Enduit d'io- dure. — Jaune clair à chaud, gris jaune fon- cé à froid.</p>

*Flamme de  
réduction.* —  
Sur le charbon  
la perle devient  
d'abord gri-  
sâtre par suite  
des particules  
d'argent réduit  
qui se forment;  
mais, aussitôt  
que tout l'ar-  
gent a été ré-  
duit, il se réu-  
nit en un bou-  
ton unique et  
le verre de-  
vient transpa-  
rent et incolore.

18. Arsenic  
(acide arsénieux)

Se volatilise  
facilement au-  
dessus du  
rouge.

Se réduit sur  
le charbon avec  
dégageant de  
vapeurs d'ar-  
senic métal-  
lique, faciles à  
reconnaître à  
leur odeur al-  
iacée.

a. Avec l'hy-  
posulfite de so-  
dium. — For-  
mation de sul-  
fure jaune.  
b. Enduit d'io-  
dure. — Cou-  
leur chamais.

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre alphabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
<p>19. <b>Bismuth.</b></p> <p>Flamme oxydante. — Fond facilement sur la lame de platine en une masse brun foncé qui devient jaune clair à froid. Sur le charbon dans la flamme d'oxydation et dans la flamme de réduction, l'oxyde est réduit à l'état métallique qui se volatilise graduellement, lorsqu'on continue à chauffer, en donnant un enduit d'oxyde jaune. Outre cet enduit, il s'en produit un</p>	<p>Flamme oxydante. — Se dissout facilement; la perle est jaune et transparente; lorsqu'il y a peu d'oxyde, la perle est incolore à froid; lorsque la perle en contient une grande quantité, sa couleur est rouge jaunâtre à chaud, jaune pendant le refroidissement et opaque lorsqu'elle est tout à fait refroidie.</p> <p>Flamme de réduction. — Sur le charbon</p>	<p>Flamme oxydante. — Se dissout facilement; la perle est jaune et transparente et devient incolore à froid. Lorsque la perle contient beaucoup d'oxyde, le flambage la rend opaque; si on en ajoute encore, la perle devient naturellement blanc d'émul par le refroidissement.</p> <p>Flamme de réduction. — Sur le charbon, principalement lorsqu'on ajoute de l'étain, la</p>	<p>Sur le charbon, l'oxyde est immédiatement réduit à l'état métallique.</p>	<p>a. Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation de sulfure noir.</p> <p>b. Enduit d'iodure. — Brun chocolat, quelquefois frangé de rouge autour de l'essai.</p>

<p>autre plus mince, de couleur blanche, formé de carbons. Dans la flamme de réduction, ces enduits disparaissent sans colorer la flamme.</p>	<p>la perle devient transparente et incolore à chaud, mais par le refroidissement elle prend une couleur gris noirâtre et devient opaque. La perle est ainsi souvent colorée par une très petite quantité d'oxyde.</p>	<p>perle devient transparente et incolore à chaud, mais par le refroidissement elle prend une couleur gris noirâtre et devient opaque. La perle est ainsi souvent colorée par une très petite quantité d'oxyde.</p>	<p>Flamme oxydante. — Inso- luble.</p> <p>Flamme de réduction. — Sur le charbon la réduction se fait immédiatement, le métal se volatilise en produisant sur le charbon un enduit d'oxyde de couleur brun rougeâtre au jaune foncé.</p>	<p>a. Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation d'un sulfure rouge vermillon à chaud, jaune à froid, passant par toutes les nuances intermédiaires lors du refroidissement.</p> <p>b. Enduit d'iodure. — Blanc sur le support en charbon.</p>
<p>20. <b>Cadmium.</b></p> <p>Flamme oxydante. — Reste sans changement lorsqu'on le chauffe sur la lame de platine.</p>	<p>Flamme oxydante. — Se dissout en grande quantité en donnant une perle jaune transparente qui quelquefois devient incolore par le refroidissement. Lorsque la perle est fortement saturée elle devient d'un blanc laiteux par le flambage et, si</p>	<p>Flamme oxydante. — Se dissout en très grande quantité en donnant une perle transparente qui est jaunâtre à chaud et incolore à froid; la perle saturée devient blanc d'émul par le refroidissement.</p>	<p>Flamme oxydante. — Inso- luble.</p> <p>Flamme de réduction. — Sur le charbon la réduction se fait immédiatement, le métal se volatilise en produisant sur le charbon un enduit d'oxyde de couleur brun rougeâtre au jaune foncé.</p>	<p>a. Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation d'un sulfure rouge vermillon à chaud, jaune à froid, passant par toutes les nuances intermédiaires lors du refroidissement.</p> <p>b. Enduit d'iodure. — Blanc sur le support en charbon.</p>

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre al- phabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts tépalcme.	Chauffé avec le bonac sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phospho- re sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
<p>21. <b>Cérium.</b> (sesquioxyde)</p>	<p>Dans la flamme oxydante le sesquioxyde</p>	<p>Flamme de réduction. — Disparaît rapidement sur le charbon en donnant autour de l'essai un enduit sous forme de poudre dont la couleur varie du brun rougeâtre au jaune foncé, cette coloration n'étant bien visible qu'à froid. Le charbon autour de l'enduit prend une coloration irisée.</p>	<p>DANS LA FLAMME D'OXYDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION</p> <p>Flamme de réduction. — Sur le charbon l'oxyde dissous est lentement et incomplètement réduit. Le métal obtenu donne un enduit brillant d'oxyde jaune foncé, cette coloration n'étant bien visible qu'à froid. L'addition d'étain facilite la réduction.</p>	<p>En outre le charbon, autour de l'essai, est diversement coloré.</p>	<p>Insoluble. Le fondant pénètre dans le</p>

est transformé en bioxyde.

la perle qui prend une coloration variable au rouge, sem- blable à celle que donne le sesquioxyde de fer ; par le refroidissement la perle devient jaune. A un certain degré de saturation, la perle devient blanc d'émail par le flambage ; plus saturée, elle prend naturelle- ment la couleur blanc d'émail par le refroidissement.

*Flamme de réduction.* — La perle colorée en jaune devient incolore. Lorsqu'elle est saturée elle devient blanche, opaque et cristalline par le refroidissement.

me avec le borax, mais la coloration disparaît complètement par le refroidissement.

*Flamme de réduction.* — La perle, à chaud comme à froid, est incolore, ce qui permet de la distinguer des perles colorées par le fer. Quel que soit le degré de saturation, elle ne devient jamais opaque.

charbon.

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre alphabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
<p>22. <b>Chrome</b> (sesquioxyde)</p>	<p><i>Flamme oxydante et flamme de réduction.</i> — Reste sans changement</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout lentement et colore fortement la perle. Ajouté en petite quantité, la perle est jaunée à chaud (acide chromique) et vert jaunâtre à froid; en grande quantité le sesquioxyde donne à la perle une coloration rouge foncée à chaud, jaune pendant le refroidissement, vert jaunâtre lorsqu'elle est tout à fait froide.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> —</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout en donnant une perle transparente, rouge à chaud, vert foncé pendant le refroidissement et vert clair lorsqu'elle est complètement froide.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Se comporte comme dans la flamme d'oxydation, mais la coloration est plus foncée. L'addition d'étain ne produit aucun changement.</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Sur le fil de platine, le sesquioxyde se dissout en donnant une perle jaune brun foncé qui, par le refroidissement, devient jaune et opaque (acide chromique).</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — La perle est opaque et verte lorsqu'elle est froide (sesquioxyde). La réduction ne peut être obtenue sur le charbon, mais le sesquioxyde vert reste après que le fondant a</p>	<p>Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation d'un sulfure vert.</p>

<p>23. <b>Cobalt</b> (protoxyde).</p> <p><i>Flamme oxydante.</i> — Sans changement.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Diminue un peu de volume et se réduit sans que le métal entre en fusion; la poudre métallique obtenue est attachable à l'éclat métallique et prend l'éclat métallique sous l'action du brunissoir.</p>	<p>La perle légèrement saturée est verte à chaud et à froid (se sesquioxyde). Lorsqu'elle contient plus de matière, sa couleur fonce et devient vert émeraude. L'addition d'étain ne produit aucun changement.</p> <p><i>Flamme oxydante.</i> — Colore la perle très fortement. A chaud et à froid, la coloration est bleu d'azur. Lorsque la perle est fortement saturée, sa coloration peut être assez foncée pour paraître noire.</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se comporte comme avec le borax, mais la coloration est relativement moins intense et se voit mieux lorsque la perle est froide.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Se comporte comme dans la flamme oxydante.</p>	<p>été absorbé par le charbon.</p> <p><i>Flamme oxydante.</i> — Sur le fil de platine et en très petite quantité, il se dissout en donnant une masse rouge pâle transparente, qui devient grise par le refroidissement.</p>	<p>a. — Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation de sulfure noir.</p> <p>b. — Enduit d'iode. — Brun verdâtre avec bords verts; la coloration brune devient verte au bout de quelque temps.</p>
---	--	---	---	---

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre al- phabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pièce à bout de platine.	Chauffé avec le sel de phospho- re sur le fil de platine.	Chauffé avec le carbonate de sodium.	Autres réactions
<p>24. Cuivre.</p> <p><i>Flamme oxy- dante.</i> — Fond en un globe noir qui s'étale et se réduit en dessous dans la partie en contact avec le charbon.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — L'oxyde est ré- duit à une tem-</p>	<p><i>Flamme de réduction.</i> — Se comporte comme dans la flamme d'oxy- dation.</p> <p><i>Flamme oxy- dante.</i> — La perle se colore fortement. Une petite quantité d'oxyde colore la perle en vert à chaud, en bleu à froid. Si on en fait dis- soudre une plus grande quan- tité, la perle est vert foncé</p>	<p><i>Flamme oxy- dante.</i> — La perle est très- foncée qu'avec le borax. Sui- vant qu'on ajoute une plus ou moins gran- de quantité d'oxyde la per- le est, comme avec le borax, opaque et verte</p>	<p><i>Flamme oxy- dante.</i> — Sur le fil de platine l'oxyde se dis- sout en don- nant une perle vert clair qui perd sa cou- leur par le re- froidissement en devenant opaque.</p> <p><i>Flamme de</i></p>	<p>a. — Avec l'hyposulfite de sodium. — For- mation de sul- fure noir. b. — Enduit d'iode sur le charbon. — Blanc.</p>

érature légè-  
rement infé-  
rieure à celle  
du point de fu-  
sion du cuivre;  
les parties an-  
si réduites sont  
brillantes avec  
l'éclat du cui-  
vre, mais, dès  
que l'on cesse  
de chauffer, la  
surface s'oxyde  
et devient bru-  
ne ou noire. En  
chauffant plus  
fortement on  
peut obtenir un  
globe de cui-  
vre fondu.

et opaque à  
chaud, bleu  
verdâtre à  
froid.

*Flamme de  
réduction.* —  
A un certain  
degré de satu-  
ration la perle  
devient pres-  
que incolore,  
mais en refroidis-  
sant elle de-  
vient rouge et  
opaque (oxyde  
cuivreux).  
Sur le char-  
bon, du cuivre  
métallique se  
sépare et la  
perle à froid  
est incolore.  
Lorsque la per-  
le contenant  
l'oxyde est  
chauffée avec  
de l'étain sur  
le charbon, elle  
devient rouge  
brunâtre et  
opaque par le  
refroidisse-  
ment (oxyde  
cuivreux).

à chaud, bleu  
ou bleu ver-  
dâtre à froid.

*Flamme de  
réduction.* —  
Lorsque la per-  
le est forte-  
ment saturée,  
la perle est  
vert foncé; par  
le refroidisse-  
ment et au mo-  
ment où elle se  
solidifie, elle  
devient opaque  
et rouge foncé  
(oxyde cui-  
vreux). Si la  
perle conte-  
nant peu d'o-  
xyde est traitée  
par l'étain  
sur le char-  
bon, elle est  
incolore à  
chaud et de-  
vient opaque  
avec une colo-  
ration rouge ou  
brun rougeâtre  
lorsqu'elle  
est froide.

*réduction.* —  
Sur le charbon  
l'oxyde se ré-  
duit facilement  
et, lorsqu'on  
chauffe suffi-  
samment, le  
métal fond en  
un ou plusieurs  
globules.

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES	Chauflé seul sur le charbon ou dans la pince à bous déplatine.	DANS LA FLAMME D'OXIDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION	Chauflé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauflé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
25. Didyme.	Sans changement.	<i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout en donnant une perle transparente et incolore. <i>Flamme de réduction.</i> — Lorsqu'elle est fortement saturée, la perle a une coloration rose pâle.	<i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout en donnant une perle transparente et incolore.	Insoluble. Le fondant est absorbé par le charbon.	
26. Etain (bioxyde).	<i>Flamme oxydante.</i> — Le protoxyde brûle comme de l'amadou en passant à l'état	<i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout très lentement en petite quantité en donnant une	<i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout très lentement en petite quantité en donnant une	<i>Flamme oxydante.</i> — Sur le fil de platine, l'oxyde se combine avec le fondant avec	a. — Avec la solution d'azotate de cobalt. — Coloration vert bleuâtre que l'on ne dis-

de bioxyde. Ce dernier est fortement mélangé, descendent lorsqu'on le chauffe dans la flamme et prend une coloration jaunâtre qui devient blanc jaunâtre à froid.	perle incolore et transparente, même à froid, et que le flamme ne rend pas opaque. Une perle saturée et froide, chauffée au rouge sombre, devient opaque, sphérique et devient irrégulièrement cristalline.	donnant une perle transparente et incolore à chaud comme à froid.	effervescence en donnant une masse boursouflée.	tingue facilement qu'à froid.
<i>Flamme de réduction.</i> — En chauffant fortement et longtemps l'oxyde est réduit et un léger enduit de bioxyde se forme généralement autour de l'essai.	<i>Flamme de réduction.</i> — Une perle non saturée ne subit aucun changement. Sur le charbon on peut obtenir un peu d'étain avec une perle contenant beaucoup d'oxyde.	<i>Flamme de réduction.</i> — La perle reste sans changement, que l'on chauffe sur le charbon ou sur le fil de platine.	<i>Flamme de réduction.</i> — L'oxyde est réduit sur le charbon à l'état métallique.	b. — Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation d'un sulfure brun.
				c. — Enduit jaunâtre brunâtre.

TABEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre alphabétique des métaux.	Chauflé sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauflé avec le bécot sur le fil de platine.	Chauflé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauflé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
<p>27. Fer (sesquioxyle).</p> <p><i>Flamme oxydante.</i> — Sans changement.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Devient noir et magnétique (oxyde magnétique de fer).</p>	<p>DANS LA FLAMME D'OXYDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION</p> <p><i>Flamme oxydante.</i> — En petite quantité, la perle est jaune à chaud et incolore à froid; en ajoutant une plus grande quantité d'oxyde, la perle est rouge à chaud et jaunâtre à froid; si on en ajoute encore, la perle devient rouge foncé à chaud et jaune foncé à froid.</p> <p><i>Flamme réductrice.</i> — La perle prend une coloration vert bouteille (oxyde magnétique de fer).</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Lorsqu'elle contient une certaine quantité d'oxyde, la perle, rouge jaunâtre à chaud, devient, par le refroidissement, d'abord jaune, puis verdâtre et finalement incolore. Lorsqu'elle contient une plus grande quantité d'oxyde, la perle, rouge foncé à chaud, devient en refroidissant d'abord rouge brun, puis vert foncé et enfin jaune lorsqu'elle est</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Lorsqu'elle contient une certaine quantité d'oxyde, la perle, rouge jaunâtre à chaud, devient, par le refroidissement, d'abord jaune, puis verdâtre et finalement incolore. Lorsqu'elle contient une plus grande quantité d'oxyde, la perle, rouge foncé à chaud, devient en refroidissant d'abord rouge brun, puis vert foncé et enfin jaune lorsqu'elle est</p>	<p>Chauflé avec du carbonate de sodium.</p> <p><i>Flamme oxydante.</i> — Insoluble.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Chauflé sur le charbon, le sesquioxyle est réduit et donne une poudre métallique grise, magnétique mélangée à des particules de charbon qu'on enlève par un lavage à l'eau.</p>	<p>Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation d'un sulfure noir.</p>

Sur le charbon et en présence de l'étain la coloration primitivement verte vient, lorsqu'on chauffe assez longtemps, d'un vert violet (protoxyde).

complètement froide. Les colorations disparaissent beaucoup plus rapidement qu'avec le bécot.

*Flamme de réduction.* — Lorsque la perle ne contient qu'une petite quantité de sesquioxyle, elle ne subit aucun changement; lorsqu'elle en contient davantage, la perle, rouge à chaud, devient en refroidissant d'abord bord jaune, puis verte et finalement brunâtre. Traitée sur le charbon avec de l'étain, la perle devient verte et finalement incolore (protoxyde).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
BIBLIOTECA GENERAL DE BIBLIOTECAS

TABEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre al- phabétique des métaux.	Chauffé sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phospho-carbonate sodique.	Autres réactions
<p>28. <b>Germanium.</b></p> <p><i>Flamme oxydante.</i> — L'oxyde n'éprouve aucun changement même à la température durouge blanc.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Se réduit difficilement à l'état métallique avec formation sur le charbon d'un enduit blanc d'oxyde. Un fragment de métal chauffé sur le charbon fond en globules brillants qui émettent des vapeurs blanches lorsqu'on les enlève à l'action et qui donnent</p>	<p>DANS LA FLAMME D'OXYDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION</p> <p>Se dissout en donnant une perle incolore qui n'éprouve aucun changement dans la flamme de réduction (Ziessler).</p>	<p>Se dissout avec un poids difficile et donne une perle incolore. L'addition d'étain ne produit aucun changement (Ziessler).</p>	<p>Se dissout avec un poids difficile et donne une perle incolore. L'oxyde est réduit sur le charbon bon. Le métal se volatilise en partie et donne un enduit d'oxyde sur le charbon; la partie restante se trouve sous forme de globules blancs d'argent au milieu du sel fondu.</p>	<p>a. — Chauffé sur la lame de platine, le germanium fond et forme avec le platine un alliage cassant et fusible (C. Winkler).</p> <p>b. — Avec la solution d'azotate de cobalt. — Aucune réaction.</p> <p>c. — Avec l'iode et le sulfure de potassium. — Aucune réaction (Ziessler).</p>

29. **Indium.**

*Flamme oxydante.* — Coloration jaune foncé à chaud, coloration très légère à froid. Ne fond pas.

*Flamme de réduction.* — Se réduit graduellement; le métal se volatilise et produit un enduit sur le charbon. Une coloration d'un violet bleuâtre très nette est communiquée à la zone extérieure de la flamme.

*Flamme oxydante.* — Se dissout en donnant une perle transparente d'un jaune foncé à chaud et incolore à froid. Lorsque la perle contient une assez grande quantité d'oxyde, elle est trouble.

*Flamme de réduction.* — La perle reste sans changement. Sur le charbon l'oxyde est réduit, le métal se réoxyde et produit un enduit. La coloration violet bleu de la zone extérieure de la flamme est visible même en présence de la soude.

Se comporte comme avec le borax. La perle chauffée sur le charbon avec de l'étain devient grise et trouble.

*Flamme oxydante.* — Insoluble.

*Flamme de réduction.* — L'oxyde est réduit sur le charbon. Le métal se volatilise en partie et donne un enduit d'oxyde sur le charbon; la partie restante se trouve sous forme de globules blancs d'argent au milieu du sel fondu.

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre alphabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
30. Iridium. L'oxyde est réduit à la température du rouge, mais les particules métalliques sont infusibles.	Flamme d'oxydation et flamme de réduction. L'oxyde se réduit et ne se dissout pas. Le métal sur le charbon ne peut être réuni en un globe.	Se comporte comme avec le borax.	Se comporte comme avec le borax.	Se comporte comme avec le borax; le fondant est absorbé par le charbon.	
31. Lanthane. Sans changement.	Flamme oxydante. — Se dissout et la perle est incolore et transparente; à un certain degré de saturation, la perle devient blanc d'étain. Lorsque elle est plus saturée encore, elle devient blanc d'étain par le	Se comporte comme avec le borax.	Se comporte comme avec le borax.	Insoluble. Le fondant est absorbé par le charbon et l'oxyde coloré en gris reste seul. (Berzélius).	

32. Manganèse (sesquioxyde) Flamme oxydante et flamme de réduction. — Infusible. Le sesquioxyde et le peroxyde chauffés à une température suffisamment élevée dégagent de l'oxygène et sont transformés en une masse brun rougeâtre de Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .	seul refroidissement (Berzélius). Flamme de réduction. — Se comporte comme dans la flamme d'oxydation.	Flamme oxydante. — Il faut une grande quantité d'oxyde pour colorer la perle qui à une coloration d'un violet brun à chaud et d'un violet rouge à froid, mais qui ne devient jamais opaque. Lorsque la perle contient trop peu d'oxyde et qu'elle est incolore, on fait apparaître la coloration en ajoutant de l'azotate de potassium (v. § 459). La perle con-	Flamme oxydante. — Sur le fil ou sur la lame de platine, l'oxyde se dissout en très petite quantité en donnant un verre vert transparent, qui devient vert bleuâtre et opaque à froid (manganate de sodium).	Avec l'hyposulfite de sodium. — Masse fondue verte.
--	---	--	--	---

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre al- phabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phospho- re sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate sodium.	Autres réactions
33. Mercure.  Se réduit im- médiatement et se volatili- se.	DANS LA FLAMME D'OXYDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION				
	<p><i>Flamme de réduction.</i> — La perle colorée devient incolore (protoxyde). Lorsqu'elle est fortement colorée, la réduction s'effectue beaucoup mieux en servant du charbon comme support et en ajoutant de l'étain.</p>	<p>tenant l'oxyde du gaz lors qu'on la chauffe à haute température. <i>Flamme de réduction.</i> — La perle colorée devient incolore (protoxyde) et il ne se produit aucun autre changement.</p>	<p><i>Flamme de réduction.</i> — L'oxyde ne se réduit pas sur le charbon; le fondant est absorbé et le protoxyde reste seul.</p>	<p>Chauffé dans un tube de verre ou autrement, il se décompose; le mercure métallique se sublime et se condense sur les parties froides du tube en forme</p>	<p>a. Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation d'un sulfure noir.  b. Enduit d'iodure. — Jaune et rouge écarlate.</p>

34. Molybdène.  <i>Flamme oxydante.</i> — Fond, s'étend et se volatilise en produisant à une certaine distance un enduit pulvérulent jaunâtre qui, après le essai, est formé de petits cristaux. Par le refroidissement ce pou-dre devient blanche et les cristaux incolores. Au milieu de ces derniers se trouvent un mince enduit non volatil de bioxyde qui à froid a la couleur du cuivre métallique (§ 39).	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout facilement et en quantité considérable en donnant une perle transparente jaune à chaud et incolore à froid. Lorsque la perle contient beaucoup d'oxyde, sa couleur est jaune ou rouge foncé à chaud; à froid elle est opaline et d'un vert bleuâtre d'émail.</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout facilement en donnant une perle transparente, qui, lorsqu'on y ajoute modérément de l'oxyde, est vert jaunâtre à chaud et tous jours incolore à froid. Sur le charbon, la perle devient plus foncée et par le refroidissement prend une magnifique coloration verte (formation de bioxyde par suite de l'action réductrice du l'oxyde de carbone).</p>	<p>Flamme oxydante. — Fond sur le fil de platine avec effervescence en donnant un verre transparent qui devient blanc laiteux par le refroidissement.</p>	<p>a. Avec l'hyposulfite de sodium. — Masse brune.  b. Enduit d'iodure. — Bleu d'outremer foncé.  c. Les composés du molybdène chauffés dans une capsule avec de l'acide sulfurique concentré donnent un liquide bleu foncé lorsqu'on y ajoute de l'alcool ou qu'on souffle l'haleine sur le liquide.</p>
--	--	--	---	---

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHAUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre alphabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
	<p>L'enduit blanc devient bleu foncé (molybdène), au contact de la flamme réductrice.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — La plus grande partie pénètre dans le charbon et, à haute température, est réduite à l'état de métal qui peut être obtenu sous forme de poudre grise que l'on sépare des particules de charbon par un lavage à l'eau.</p>	<p><i>Flamme de réduction.</i> — La perle obtenue dans la flamme oxydante devient brune, lorsqu'elle est fortement saturée et opaque lorsqu'elle est beaucoup moins saturée (bioxyde). Lorsqu'on la chauffe très fortement, le bioxyde se sépare sous forme de flocons noirs qu'il est facile d'apercevoir au milieu de la perle jaune lorsque cette dernière a été aplatie dans les pincettes.</p>	<p><i>Flamme de réduction.</i> — La perle obtenue dans la flamme oxydante prend une coloration verte très foncée qui disparaît d'un vert très pur par le refroidissement. La réaction sur le charbon est analogue. Avec l'étain la coloration verte est un peu plus foncée (protoxyde?).</p>	<p><i>Flamme de réduction.</i> — Sur le charbon, il y a d'abord fusion avec effervescence, puis la masse fondue est absorbée par le charbon. La plus grande partie est réduite à l'état métallique; le métal est alors séparé par un lavage des particules de charbon et se présente sous forme d'une poudre de couleur gris d'acier.</p>	



35. Nickel.

*Flamme oxydante.* — Sans changement.

*Flamme de réduction.* — Sur le charbon, l'oxyde est réduit en une poudre compacte métallique qui ne peut être fondue; cette poudre est magnétique et prend sous le brunissoir l'éclat métallique.

*Flamme oxydante.* — La coloration des perles est assez intense. Lorsqu'on chauffe la perle, elle contient peu d'oxyde, elle est violette à chaud et brun rouge pâle à froid. En ajoutant une plus grande quantité d'oxyde, la couleur devient plus foncée.

*Flamme réductrice.* — La perle devient trouble et grise ou presque opaque par suite de la réduction du métal qui est très divisé. En continuant à chauffer, les particules de métal se réunissent, mais sans fondre, et la perle devient incolore. Sur

*Flamme oxydante.* — Se dissout en colorant la perle en rouge; elle devient jaune à froid. Lorsqu'on chauffe la perle, elle contient une grande quantité d'oxyde, sa couleur est rouge brun à chaud et jaunâtre à froid.

*Flamme réductrice.* — Sur le fil de platine la perle ne subit aucun changement. Traitée sur le charbon avec de l'étain, elle est d'abord grise et opaque, mais en chauffant plus longtemps l'oxyde est réduit et la perle devient incolore.

*Flamme oxydante.* — Inso luble.

*Flamme de réduction.* — Sur le charbon l'oxyde est facilement réduit en particules métalliques qui, après lavage pour en séparer les poussières de charbon, sont fortement magnétiques.

Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation d'un sulfure noir.

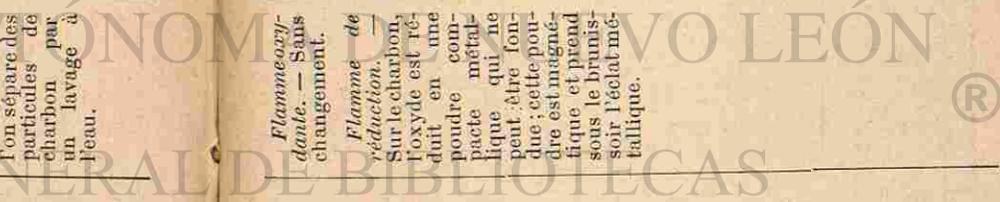


TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre alphabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
	DANS LA FLAMME D'OXIDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION	le charbon et surtout si on ajoute de l'acide, la réduction s'effectue plus rapidement et le nickel réduit s'allie avec l'oxygène et il se forme un globe métallique.	le charbon et surtout si on ajoute de l'acide, la réduction s'effectue plus rapidement et le nickel réduit s'allie avec l'oxygène et il se forme un globe métallique.	le charbon et surtout si on ajoute de l'acide, la réduction s'effectue plus rapidement et le nickel réduit s'allie avec l'oxygène et il se forme un globe métallique.	
36. Niobium (pentoxyde).	Flamme oxydante et flamme de réduction. — En le chauffant il prend une coloration jaunâtre, mais par le refroidissement il redevient blanc.	Flamme oxydante. — Se dissout facilement en donnant une perle incolore qui, à un certain degré de saturation, devient opaque par le flambage; en	Flamme oxydante. — Se dissout en grande quantité en donnant une perle transparente qui est jaune à chaud et incolore à froid.	Flamme oxydante. — En ajoutant une quantité égale de carbonate de sodium, la masse fond avec effervescence et une grande quantité de la ma-	Avec la solution d'azotate de cobalt. — Coloration gris brunâtre.

Il ne se produit pas d'autre changement.	ajoutant une plus grande quantité d'oxyde, la perle devient opaque par le refroidissement.	Flamme de réduction. — En ajoutant une grande quantité d'oxyde, la perle devient brune.	Flamme de réduction. — Se comporte comme dans la flamme d'oxydation, mais l'oxyde ne peut pas être réduit à l'état métallique.	Flamme de réduction. — Se comporte comme avec le borax; le fond est absorbé par le charbon.
37. Or.	Flamme oxydante et flamme de réduction. — L'oxyde est réduit et à la température du rouge le métal fond sous forme de bouton.	Flamme oxydante et flamme de réduction. — L'oxyde se réduit sans se dissoudre. Le métal peut être fondu sur le charbon en un globe métallique.	Se comporte comme avec le borax.	Se comporte comme avec le borax; le fond est absorbé par le charbon.

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre al- phabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pièce à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phospho- re sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
38. Osmium.	<p><i>Flamme oxy- dante.</i> — Le bioxyde se transforme en acide osmique qui se volatilise sans donner d'enduit, mais en dégageant des vapeurs pénétrantes et suffocantes qui ont une action très ir- ritante sur les yeux.</p>	<p>DANS LA FLAMME D'OXYDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION</p> 		<p>Très facile à réduire en une poudre métal- lique infusible que l'on peut obtenir pure après lavage.</p>	

39. Palladium.	<p>oxyde très faci- lement en for- mant de l'acide osmique.</p>	<p><i>Flamme oxy- dante et flam- me de réduc- tion.</i> — L'o- xyde se réduit sans se dissou- dre. Le métal obtenu ne peut être réuni en un globeule même sur le charbon.</p>	<p>Se comporte comme avec le borax.</p>	<p>Insoluble. Le fondant pé- nètre dans le charbon et le palladium reste sous forme de poudre infusi- ble.</p>	
40. Platine.	<p>L'oxyde est réduit à la température du rouge, mais les particules de métal ne peuvent être fondues.</p>	<p><i>Flamme oxy- dante et flam- me de réduc- tion.</i> — L'oxyde se réduit sans se dissoudre. Les particules de métal ne peuvent être reunies en un globeule même sur le charbon.</p>	<p>Se comporte comme avec le borax.</p>	<p>Se comporte comme avec le borax. Le fon- dant est absor- bé par le char- bon.</p>	

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre alphabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon, ou dans la pince à bouts de platine.	DANS LA FLAMME L'OXIDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION		Chauffé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
<p>41. Plomb.</p> <p>Le minimum chauffé sur la flamme de platine noircit et au début l'oxyde rouge devient jaune ; en chauffant plus fortement, il fond en une masse jaune.</p> <p>Sur le charbon et dans la flamme oxydante comme dans la flamme réductrice, l'oxyde est immédiatement réduit à l'état métallique avec effervescence ; en continuant</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout facilement en donnant une perle transparente de couleur jaune qui devient incolore à froid ; en ajoutant une plus grande quantité d'oxyde, la perle devient opaque par le flambage et, si on en ajoute encore un peu, la perle devient opaque en donnant un émail jaune par le simple refroidissement.</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se comporte comme avec le borax, mais il faut ajouter une plus grande quantité d'oxyde pour que la perle se colore en jaune à chaud.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — La perle devient grise et trouble sur le charbon. Avec une plus grande quantité d'oxyde, il se forme un enduit jaune sur le charbon. En</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Sur le fil de platine se dissout facilement en donnant une perle transparente qui par le refroidissement devient opaque et jaunâtre.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Sur le charbon l'oxyde est immédiatement réduit à l'état métallique, si on continue à chauffer, produit un enduit d'oxyde.</p>	<p>a. Avec l'hyposulfite de sodium. — Masse noire.</p> <p>b. Enduit d'iode. — Jaune de chrome.</p>		

<p>42. Rhodium.</p> <p>43. Ruthénium.</p>	<p>à chauffer, le plomb se volatilise graduellement en produisant un enduit jaune d'oxyde au-delà duquel se trouve un dépôt très mince de carbonate. L'enduit disparaît dans la flamme réductrice en la colorant en bleu d'azur.</p> <p>Sont facilement réduits, mais les particules de métal sont infusibles.</p>	<p><i>Flamme de réduction.</i> — La perle s'étale sur le charbon et se trouble ; en continuant à chauffer, l'oxyde se réduit avec effervescence et la perle redevient transparente.</p> <p><i>Flamme oxydante et flamme de réduction.</i> — Les oxydes sont réduits sans se dissoudre. Les particules métalliques ne peuvent être réunies en un globe même sur le charbon.</p>	<p>présence de l'étain, la perle prend une coloration gris foncé, devient plus trouble, mais ne devient jamais complètement opaque.</p> <p>Se comporte comme avec le borax.</p>	<p>Se comporte comme avec le borax ; le fondant est absorbé par le charbon.</p>
---	--	--	---	---

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre al- phabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le borax sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phospho- carbone sur le fil de sodium.	Autres réactions
44. <b>Tantale.</b>	Flamme oxy- dante et flam- me de réduc- tion. — En chauffant, l'o- xyde prend une légère teinte jaune, mais re- vient blanc par le refroi- dissement. Il ne se produit pas d'autre changement.	Flamme o- xydante et flam- me de réduc- tion. — L'oxy- de se dissout facilement en donnant une perle transpa- rente qui, à un certain degré de saturation, est jaunâtre à chaud et inco- lore à froid et que le flamba- ge peut rendre opaque. Une plus grande quantité d'o- xyde fait quela perle devient blanc d'émail par le refroi- dissement.	Flamme o- xydante. — Se dissout en grande quan- tité en don- nant une per- le transparente; lorsqu'elle contient beau- coup d'oxyde, elle est jaunâ- tre à chaud et incolore à froid.	Avec la so- lution de co- bal. — Après avoir chauffé longtemps il se produit une légère colora- tion grise, qui par le refroi- dissement de- vient rouge clair comme la magnésie. Lors- qu'il contient des traces d'al- cali, elles se déposent et de viennent noir bleuâtre.
45. <b>Tellure.</b>	Flamme oxy- dante. — Fond	Flamme o- xydante. — Se	Flamme de réduction. — Même réaction L'oxyde ne se réduit pas à l'é- tat métallique.	Enduit d'io- dure. — Brun

DANS LA FLAMME D'OXYDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION

46. <b>Thallium.</b>	Fond et est immédiatement réduit avec ef- fervescence à l'état de glo- bules métalli- ques qui se vo- latilisent; en continuants à	dissout en don- nant une per- le et incolore qui, sur le char- bon, devient grise, par suite de la réduction de l'oxyde. Flamme de réduction. — La perle ob- tenue sur le fil de platine dans la flamme oxy- dante chauffée sur le charbon devient pre- mièrement gri- se, puis inco- lore dès que tout le tellure a été volatilisé Il se forme un enduit de bio- xyde sur le charbon.	Se comporte comme avec le borax.	de se dissout en donnant une perle in- colore qui de- vient blanche par le refroi- dissement. Sur le charbon l'o- xyde est ré- duit, le métal volatilisé, et il se forme un enduit blanc de bioxyde.	noirâtre, dis- paraissant sous l'action des va- peurs d'ammo- niaque et repa- raissant sous l'action des vapeurs d'aci- de chlorhydri- que.
	Flamme o- xydante. — Se dissout facile- ment en don- nant une perle incolore. Lors- que la perle refroidie est chauffée de	Flamme o- xydante. — Se dissout en don- nant une per- le transparente qui devient trouble lorsqu' on souffle légè- rement dessus.	Sur le char- bon, l'oxyde est réduit à l'état métalli- que avec déga- gement de va- peurs et forma- tion d'un en- duit blanc.	a. Coloration de la flamme. — Vert pré. b. Avec l'hy- posulfite de so- dium. — Masse noire.	

TABEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES	Chauflé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauflé avec le borax sur le fil de platine.	Chauflé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauflé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
47. Titane.	Flamme oxydante et flamme de réduction. — Prend une teinte jaunâtre à chaud, redevient blanc à froid; il ne se produit pas d'autre changement.	DANS LA FLAMME D'OXYDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION nouveau au-dessous de la température du rouge, elle se colore en brun à la surface; si la température est portée au rouge, la perle redevient incolore très rapidement. Flamme de réduction. — La perle commence par se troubler et devenir grisâtre, puis redevient incolore lorsqu'on continue à chauffer.	Flamme de réduction. — Sur le charbon la perle jaune devient grise et trouble.	Flamme oxydante. — Sur le charbon se dissout avec effervescence	c. Enduit d'iode. — Toute une série de nuances: d'abord orangé, puis jaune, blanc, bleu clair, vert et noir.

Flamme oxydante et flamme de réduction. — Prend une teinte jaunâtre à chaud, redevient blanc à froid; il ne se produit pas d'autre changement.	le transparente qui, lorsqu'elle contient beaucoup d'oxyde, est jaune à chaud et incolore à froid, devenant opaque par le flambage. Lorsque la perle est très saturée, elle devient naturellement blanc d'émail en refroidissant.	Flamme de réduction. — Avec une petite quantité d'oxyde, la perle est plus grande qu'à l'ordinaire; il rend la perle jaune foncé ou brune (sesquioxide). Lorsqu'elle est saturée, elle devient bien d'émail par le flambage.	Flamme oxydante. — Se dissout facilement en donnant une perle incolore qui, lorsqu'elle contient beaucoup d'oxyde, est jaune à chaud et incolore à froid.	Flamme oxydante. — Sur le charbon se dissout avec effervescence	semblable à celle que donne l'oxyde de zinc, mais pas aussi claire.
	Flamme de réduction. — Avec une petite quantité d'oxyde, la perle est plus grande qu'à l'ordinaire; il rend la perle jaune foncé ou brune (sesquioxide). Lorsqu'elle est saturée, elle devient bien d'émail par le flambage.	Flamme de réduction. — Avec une petite quantité d'oxyde, la perle est plus grande qu'à l'ordinaire; il rend la perle jaune foncé ou brune (sesquioxide). Lorsqu'elle est saturée, elle devient bien d'émail par le flambage.	Flamme de réduction. — Sur le charbon se dissout avec effervescence	Flamme oxydante. — Sur le charbon se dissout avec effervescence	en donnant un verre jaune foncé qui, en refroidissant, montre des cristaux rouges foncés. Lorsque la perle est froide, elle devient grisâtre ou blanche.
	Flamme de réduction. — Avec une petite quantité d'oxyde, la perle est plus grande qu'à l'ordinaire; il rend la perle jaune foncé ou brune (sesquioxide). Lorsqu'elle est saturée, elle devient bien d'émail par le flambage.	Flamme de réduction. — Avec une petite quantité d'oxyde, la perle est plus grande qu'à l'ordinaire; il rend la perle jaune foncé ou brune (sesquioxide). Lorsqu'elle est saturée, elle devient bien d'émail par le flambage.	Flamme de réduction. — Sur le charbon se dissout avec effervescence	Flamme oxydante. — Sur le charbon se dissout avec effervescence	Flamme de réduction. — Même réaction. L'oxyde ne se réduit pas à l'état métallique.

TABEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite.)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'oxyde nitrophobétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pièce à bouts de platine.	Chauffé avec le borac sur le fil de platine.	Chauffé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
<p><b>48. Tungstène</b> (anhydride tungstique).</p> <p><i>Flamme oxydante.</i>— Sans changement à moins que la température ne soit suffisamment élevée pour qu'il se forme de l'oxyde de carbone qui réduit l'acide tungstique à l'état de bioxyde.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i>— Devenu noir par suite de sa réduction à l'état de bioxyde, mais ne fond pas.</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i>— Se dissout facilement; la perte est transparente et incolore. En ajoutant un peu plus, la perte devient jaune à chaud; en en ajoutant un peu plus, la perte devient opaque par le flambage; enfin si on sature davantage la perte, elle devient opaque naturellement par le refroidissement.</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i>— Se dissout facilement en donnant une perle transparente et incolore qui, lorsqu'elle est très saturée, prend une coloration jaunâtre à chaud.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i>— La perte devient rapidement vert foncé à chaud et bleu à froid (730°); en chauffant plus longtemps elle devient vert</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i>— Se dissout en donnant sur le fil de platine une perle transparente foncée qui, par le refroidissement, devient cristalline et opaque, colorée en jaunâtre ou en blanc.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i>— Sur le charbon on peut réduire à l'état de métal une grande quantité d'acide tungstique</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i>— Se dissout en donnant sur le fil de platine une perle transparente foncée qui, par le refroidissement, devient cristalline et opaque, colorée en jaunâtre ou en blanc.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i>— Sur le charbon on peut réduire à l'état de métal une grande quantité d'acide tungstique</p>	<p><i>Enduit d'iodure.</i>— Bleu verdâtre faible près de l'essai.</p>

DANS LA FLAMME D'OXYDATION ET DANS LA FLAMME DE RÉDUCTION

<p><i>Flamme de réduction.</i>— En ajoutant une certaine quantité d'acide tungstique, la perte reste sans changement; en en ajoutant davantage, la perte devient jaune foncé et brun jaunâtre à froid (bioxyde). Sur le charbon, ces réactions sont obtenues avec une plus petite quantité de substance. Lorsque la perte n'est pas trop saturée, l'addition d'étain produit des colorations plus foncées.</p>	<p>bleuâtre à froid. Sur le charbon, principalement en présence de l'étain, elle devient vert foncé (bioxyde). Si la substance contient du fer, la perte à chaud paraît jaunâtre sur le fil de platine et rouge sang à froid comme le bioxyde de titane. La perte contenant du fer traitée sur le charbon avec de l'étain devient bleue si la quantité de fer n'est pas considérable.</p>	<p>avec très peu de carbonate de sodium. Si l'on emploie une plus grande quantité de fondant, la masse pénètre dans le charbon et il se forme du tungstite de sodium qui a une couleur jaune et un éclat métallique.</p>
--	---	--



TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMÉAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre al- phabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le sel de phospho- borac sur le fil de platine.	Chauffé avec le carbonate de sodium.	Autres réactions
<p>49. Uranium.</p> <p><i>Flamme oxydante.</i> — In-fusible, mais prend une coloration vert jaunâtre très foncée (U<sup>3</sup>O<sub>8</sub>).</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — De- vient noir. Prend la même couleur lorsqu'on le frotte dans un mor- tier (U<sup>2</sup>O<sub>3</sub>).</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se comporte comme le sesquiox- yde de fer, mais pour des quantités éga- les la colora- tion est plus faible. La per- le fortement saturée devient jaune émail par le flamba- ge.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Donne des co- lorations sem- blables à celles que produit le sesquiox- yde de fer. La perle verte (U<sup>3</sup>O<sub>8</sub>) à un certain de- gré de satura- tion passe au noir par le</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout en don- nant une perle jaune transpa- rente devenant vert jaunâtre par le refroidis- sement.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — La perle de- vient vert fon- cé, mais en re- froidissant elle prend une co- loration d'un vert clair très pur (U<sup>3</sup>O<sub>8</sub>). Trai- tée sur le charbon avec de l'étain, la coloration ver- te devient plus foncée.</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Inso- luble. Avec une petite ad- dition de fon- dant, la masse éprouve un com- mence- ment de fu- sion. Avec un peu plus de car- bonate de so- dium, on ob- tient une mas- se brun jau- nâtre. En en ajoutant da- vantage, l'oxy- de pénètre dans le char- bon.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Même réac- tion. L'oxyde ne peut être réduit à l'état métallique.</p>	<p>Avec l'hypo- sulfite de so- dium. — For- mation d'un sulfure noir.</p>

flambage, mais ne devient ja- mais cristalli- ne ni sembla- ble à l'émail. Trai- tée avec l'étain sur le charbon, la perle devient vert foncé.

*Flamme oxydante.* — Se dissout en don- nant une perle transparente. Lorsque la per- le contient peu de substance, elle est inco- lore, mais avec une plus gran- de quantité, elle est jaune à chaud et jau- ne verdâtre à froid.

*Flamme de réduction.* — La perle de- vient brunâ- tre à chaud et prend à froid une belle colo- ration vert de chrome.

50. Vanadium. — Fond. La partie en con- tact avec le charbon est ré- duite et péné- tre dans le charbon; la partie qui se trouve en des- sus prend la couleur, l'as- pect et le bril- lant du gra- phite et est for- mée de tri- oxyde.

*Flamme oxydante.* — Se dissout en don- nant une perle incolore qui, lorsqu'elle con- tient assez de substance, est jaune foncé à chaud et jau- ne clair à froid.

*Flamme de réduction.* — Se comporte comme avec le borax.

Fond en même temps que le fon- dant et péné- tre dans le charbon.

TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU (Suite)

OXYDES MÉTALLIQUES Dans l'ordre alphabétique des métaux.	Chauffé seul sur le charbon ou dans la pince à bouts de platine.	Chauffé avec le sel de phosphore sur le fil de platine.	Chauffé avec du carbonate de sodium.	Autres réactions
<p><b>51. Zinc.</b></p> <p><i>Flamme oxydante.</i> — Devient jaune à chaud et blanc par le refroidissement. Infusible, mais devient très éclatant dans la flamme.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — Disparaît graduellement par suite de sa réduction à l'état métallique; le métal se volatilise et s'oxyde de nouveau; la majeure partie du zinc vo-</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Se dissout facilement en donnant une perte transparaente jaune à chaud et incolore à froid. Par l'addition d'une grande quantité d'oxyde, la perte devient blanc d'étain par le flambage; en ajoutant davantage, la perte devient naturellement opaque par le refroidissement.</p>	<p>Se comporte comme avec le borax.</p>	<p><i>Flamme oxydante.</i> — Insoluble.</p> <p><i>Flamme de réduction.</i> — L'oxyde est réduit sur le charbon. Le métal se volatilise et s'oxyde de nouveau en donnant un enduit d'oxyde sur le charbon. En chauffant très fortement on peut enflammer le zinc.</p>	<p>a. Avec la solution d'azotate de cobalt. — Belle coloration verte jaunâtre que l'on distingue mieux à froid.</p> <p>b. Avec l'hyposulfite de sodium. — Formation d'un sulfure blanc.</p> <p>c. Enduit d'iodure sur le charbon. — Blanc.</p>

lalisé se dépose sur le charbon sous forme d'un enduit jaune à chaud et blanc à froid.

dissement.

*Flamme de réduction.* — La perte saturée est d'abord opaque et grise (une portion de l'oxyde se sépare par suite de fusion incomplète), mais redevient transparente lorsqu'on chauffe plus longtemps. Sur le charbon l'oxyde est graduellement réduit, mais le métal se volatilise aussitôt et se réoxyde en donnant un enduit.

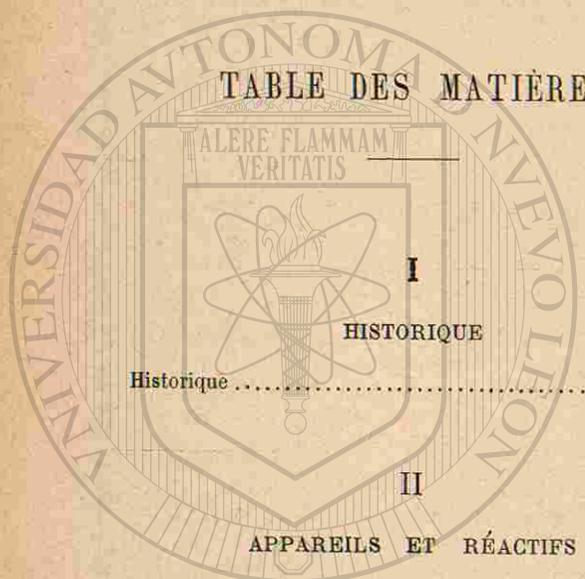


TABLE DES MATIÈRES

I

HISTORIQUE

Historique ..... 1

II

APPAREILS ET RÉACTIFS

1. Chalumeaux.....	9
2. Flammes.....	17
3. Supports.....	22
4. Appareils et outils divers.....	27
5. Réactifs.....	28
Borax.....	28
Sel de phosphore.....	29
Carbonate de sodium.....	29
Oxalate neutre et cyanure de potassium.....	30
Azotate et chlorate de potassium.....	30
Sulfate acide de potassium.....	30
Hyposulfite ou thiosulfate de potassium.....	30
Iodure de soufre.....	31
Spath fluor.....	31
Acide borique.....	31
Silice.....	31

TABLE DES MATIÈRES

Azotate de cobalt.....	31
Oxyde cuivrique.....	32
Chlorure d'argent.....	32
Étain.....	33
Plomb pur.....	33
Zinc.....	33
Or.....	34
Argent.....	34
Papiers réactifs.....	34
Acide sulfurique.....	34
Acide azotique.....	34
Acide chlorhydrique.....	34

III

OPÉRATIONS DE L'ANALYSE AU CHALUMEAU

6. Flamme d'oxydation et flamme de réduction....	35
7. Marche de l'analyse au chalumeau.....	41
8. Essai dans le tube fermé d'un bout.....	42
La substance est complètement ou partiellement volatilisée.....	43
9. Il se dégage de la vapeur d'eau.....	43
10. Il se dégage des gaz ou des vapeurs.....	44
11. Il se forme un sublimé.....	46
12. La substance change d'aspect sans se volatiliser.....	49
13. Essai dans le tube ouvert.....	50
14. Soufre.....	51
15. Arsenic.....	51
16. Antimoine.....	51
17. Bismuth.....	51
Mercure et amalgames.....	51
18. Tellure et tellurures.....	52
19. Sélénium et séléniures.....	52
20. Essai de la substance sur le charbon ou sur la plaque d'aluminium.....	52
21. Fusion, Décrépitation, Déflagration, Boursoufflement, Odeur.....	54
22. Coloration de la flamme.....	56
23. Réduction du métal et formation d'un enduit.....	57
24. Réduction métallique sans enduit.....	58

<i>Réduction métallique avec enduit</i> .....	58
25. <i>Antimoine</i> .....	58
26. <i>Bismuth</i> .....	59
27. <i>Plomb</i> .....	60
28. <i>Etain</i> .....	61
29. <i>Argent</i> .....	61
30. <i>Or</i> .....	62
31. <i>Thallium</i> .....	63
32. <i>Indium</i> .....	64
33. <i>Germanium</i> .....	64
<i>On obtient un enduit seul</i> .....	64
34. <i>Arsenic</i> .....	64
35. <i>Zinc</i> .....	65
36. <i>Cadmium</i> .....	66
37. <i>Sélénium</i> .....	67
38. <i>Tellure</i> .....	67
39. <i>Molybdène</i> .....	68
40. <i>Autres substances</i> .....	68
41. <b>Examen de la substance avec le borax et avec le sel de phosphore</b> .....	70
Flambage.....	73
Coloration des perles de borax.....	75
Coloration des perles de sel de phosphore.....	78
42. <b>Examen de la coloration de la flamme</b> .....	81
43. <b>Emploi du spectroscope</b> .....	84
Raies du spectre des principaux éléments qui colorent la flamme.....	88
44. <b>Emploi des verres colorés</b> .....	89
<b>Acides</b> .....	92
45. <i>Acide azotique et acide azoteux</i> .....	92
46. <i>Acide phosphorique</i> .....	92
47. <i>Acide borique</i> .....	93
48. <i>Acide molybdique</i> .....	93
49. <i>Acide chlorhydrique et chlorures</i> .....	93
<b>Alcalis</b> .....	93
50. <i>Potassium</i> .....	93
51. <i>Sodium</i> .....	95
52. <i>Lithium</i> .....	96
<b>Terres alcalines</b> .....	97
53. <i>Baryum</i> .....	97
54. <i>Calcium</i> .....	98
55. <i>Strontium</i> .....	98

56. <i>Cuivre</i> .....	99
57. <i>Autres substances</i> .....	99
58. <i>Recherches des alcalis dans les silicates</i> .....	99
<b>Examen de la substance avec les réactifs</b> .....	100
59, 60. <i>Réactions obtenues avec le carbonate de sodium</i> .....	100
61. <i>Réactions obtenues avec la solution d'azotate de cobalt</i> .....	102
62. <i>Réactions obtenues avec l'hyposulfite de sodium</i> .....	105
63. <i>Réactions obtenues avec l'iodure de soufre</i> .....	108
64. <i>Réactions obtenues avec le bisulfate de potassium ou avec l'acide sulfurique concentré</i> .....	110
<i>Il se dégage un gaz coloré</i> .....	111
65. <i>Il se dégage un gaz incolore mais odorant</i> .....	112
66. <i>Il se dégage un gaz incolore et inodore</i> .....	113
67. <i>Réactions obtenues avec le zinc et l'acide chlorhydrique après décomposition préalable</i> .....	113

## IV

## RÉACTIONS DE LA FLAMME

68. <b>Composition de la flamme</b> .....	115
69. <b>Supports</b> .....	117
70. <b>Réactifs</b> .....	119
<i>Méthode d'essai</i> .....	123
71. <i>Manière dont se comporte la substance lorsqu'on la chauffe</i> .....	123
72. <i>Oxydation et réduction</i> .....	124
73. <i>Enduits ou dépôts obtenus sur la porcelaine</i> .....	125
74. <i>Réactions des divers éléments</i> .....	129
75. <b>Tableau des réactions générales de la flamme</b> .....	130
<i>Éléments dont les composés sont réduits à l'état métallique en produisant un enduit sur la porcelaine</i> .....	132
76. <i>Tellure</i> .....	132
77. <i>Sélénium</i> .....	132
78. <i>Antimoine</i> .....	132
79. <i>Arsenic</i> .....	132
80. <i>Bismuth</i> .....	132
81. <i>Mercure</i> .....	134
82. <i>Thallium</i> .....	134
83. <i>Plomb</i> .....	134
84. <i>Cadmium</i> .....	134

85. Zinc .....	134
86. Indium .....	134
Éléments dont les composés sont réduits à l'état métallique, mais ne donnent pas d'enduits .....	136
87. Fer .....	136
88. Nickel .....	137
89. Cobalt .....	137
90. Palladium .....	138
91. Platine .....	138
92. Iridium .....	139
93. Rhodium .....	139
94. Osmium .....	140
95. Or .....	140
96. Argent .....	140
97. Cuivre .....	141
98. Étain .....	141
Éléments plus faciles à reconnaître par les réactions que donnent leurs composés .....	142
99. Molybdène .....	142
100. Tungstène .....	143
101. Titane .....	143
Tantale et niobium .....	144
102. Chrome .....	144
103. Vanadium .....	145
104. Manganèse .....	145
105. Uranium .....	146
106. Silicium .....	146
107. Soufre .....	147
108. Phosphore .....	147

## RECHERCHE SPÉCIALE DE CERTAINS ÉLÉMENTS

## EN COMBINAISON

109. Méthode d'essai .....	148
110. Acide azotique .....	150
111. Acide phosphorique .....	151
112. Ammonium .....	151

113. Antimoine .....	152
114. Antimoine, plomb et bismuth .....	152
115. Antimoine et cuivre .....	152
116. Oxydes d'antimoine, d'étain et de cuivre .....	153
117. Sulfure d'antimoine et sulfure de plomb .....	153
Sulfure d'antimoine et sulfure de plomb ou de bismuth .....	154
118. Sulfure d'antimoine et sulfure d'arsenic .....	154
119. Argent .....	154
120, 121. Argent, cuivre et nickel .....	155
122. Arsenic .....	158
123, 124. Sulfure d'arsenic .....	158
125. Acide arsénieux .....	160
126. Arséniates et arsénites .....	161
127. Bismuth .....	161
128. Bismuth, antimoine et plomb .....	162
129. Bore .....	163
130. Borates .....	165
131. Brome .....	165
132. Cadmium .....	166
Oxydes de cadmium et de zinc .....	166
133. Chlore .....	166
134. Chlorures .....	167
135. Chrome .....	167
136. Silicates contenant peu de chrome .....	168
137, 138. Cobalt .....	169
139. Cuivre .....	170
140. Traces de cuivre en présence d'autres métaux .....	171
141. Cuivre en présence du nickel, du cobalt, du fer et de l'arsenic .....	172
142. Sulfure de cuivre .....	172
143. Minerais cuprifères .....	173
144. Étain .....	173
145. Étain dans les alliages .....	174
146. Fer .....	175
147. Fer et cobalt .....	176
148. Fer et manganèse .....	176
149. Fer dans les minerais de nickel .....	177
150. Fer et cuivre .....	177
151. Fer et chrome .....	177
152. Fer et uranium .....	178
153. Fer, nickel, cobalt, manganèse et cuivre .....	178
154. Fluor .....	179

155. Recherche de traces de fluor dans les minerais.....	179
156. Iode.....	180
157. Iode combiné avec l'argent ou les alcalis.....	180
158. Lithium.....	181
159. Manganèse.....	182
160. Recherche des traces de manganèse.....	182
161. Recherche du manganèse dans les composés métallur- giques.....	183
162. Mercure.....	183
163. Molybdène.....	184
164. Nickel.....	185
165. Nickel et cobalt.....	186
166. Or.....	186
167. Or et cuivre.....	187
168. Plomb.....	188
169. Recherche du plomb dans les sulfures.....	189
170. Sulfate de plomb et sulfate de cuivre.....	189
171. Potassium.....	190
172. Sélénium.....	190
173. Silice.....	191
174. Soufre.....	194
175. Distinction des sulfures des sulfates.....	195
176. Tellure.....	196
177. Titane.....	197
178. Tungstène.....	199
179. Uranium.....	200
180. Vanadium.....	201
181. Zinc.....	201
182. Zinc, étain et antimoine.....	202

## VI

MARCHE SYSTÉMATIQUE DE L'ANALYSE  
DES COMPOSÉS INORGANIQUES

183. Marche systématique de l'analyse des subs- tances composées.....	203
Examen préliminaire.....	205
Marche de l'analyse.....	208
Recherche des bases.....	208

Recherche des acides.....	218
Marche systématique de l'analyse d'après Egleston.....	220
Résumé des réactions obtenues au chalumeau..	224

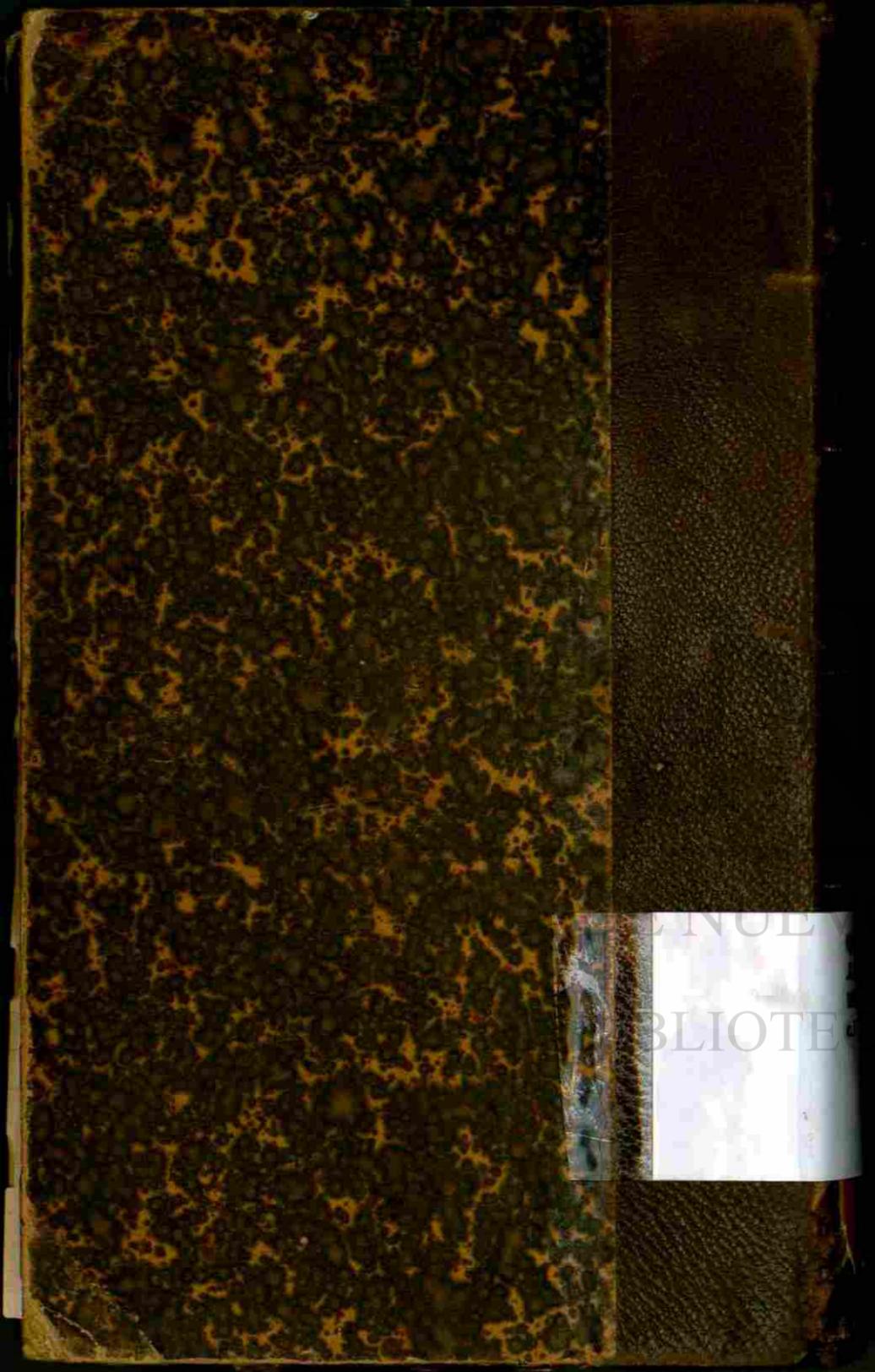
## TABLEAUX

TABLE DES CORPS SIMPLES AVEC LEURS POIDS ATOMIQUES.....	232
LISTE DES SUBSTANCES ET DES MINÉRAIS NÉCESSAIRES POUR S'EXERCER A LA PRATIQUE DE L'ANALYSE AU CHALUMEAU.....	233
TABLEAU DES RÉACTIONS DONNÉES AU CHALUMEAU PAR LES ALCALIS, LES OXYDES ALCALINO-TERREUX ET TERREUX, LES OXYDES MÉTALLIQUES SEULS ET EN PRÉSENCE DES RÉACTIFS..	235
1. Potasse.....	235
2. Soude.....	235
3. Lithine.....	236
4. Ammoniaque.....	236
5. Baryte.....	237
6. Strontiane.....	238
7. Chaux.....	239
8. Magnésie.....	240
9. Alumine.....	240
10. Glucine.....	241
11. Yttria.....	242
12. Oxyde d'erbium.....	242
13. Zircone.....	242
14. Thorine.....	242
15. Silice.....	243
16. Antimoine.....	244
17. Argent.....	246
18. Arsenic.....	247
19. Bismuth.....	248
20. Cadmium.....	249
21. Cérium.....	250
22. Chrome.....	252
23. Cobalt.....	253
24. Cuivre.....	254
25. Didyme.....	256
26. Étain.....	256
27. Fer.....	258
28. Germanium.....	260
29. Indium.....	261

30. Iridium.....	262
31. Lanthane.....	262
32. Manganèse.....	263
33. Mercure.....	264
34. Molybdène.....	265
35. Nickel.....	267
36. Niobium.....	268
37. Or.....	269
38. Osmium.....	270
39. Palladium.....	271
40. Platine.....	271
41. Plomb.....	272
42. Rhodium.....	273
43. Ruthénium.....	273
44. Tantale.....	274
45. Tellure.....	274
46. Thallium.....	275
47. Titane.....	276
48. Tungstène.....	278
49. Uranium.....	280
50. Vanadium.....	281
51. Zinc.....	282

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSITY  
BIBLIOTECA