

quand la cicatrisation est achevée que l'accroissement du cristal reprend son cours régulier. La température influe beaucoup sur le choix de la forme cristalline. L'alun, octaédrique dans les circonstances ordinaires, donne, en vases clos et au-dessus de cent degrés, des rhombododécaèdres ou des trapézoèdres.

Figures de corrosion. — Lorsque des cristaux ne sont pas suffisamment riches en facettes pour qu'on puisse apprécier pleinement le genre de leur symétrie, on parvient à mettre ce dernier en évidence à l'aide des *figures de corrosion*. Ce sont des impressions polyédriques que font naître, sur la face à étudier, des vapeurs ou des liquides capables de l'attaquer. La figure 174 montre la forme des cavités de corrosion qu'engendre, sur un cristal de quartz dextrogyre, l'action de l'acide fluorhydrique. On voit de suite, par la direction du grand axe des cavités, la différence qui s'établit entre les faces contiguës p et $e^{1/2}$ du birhomboèdre.

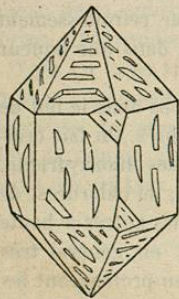


Fig. 174.

Les figures de corrosion ont souvent permis de reconnaître la nature hémihédrique d'un corps sur des formes qui, par leur espèce, n'étaient pas susceptibles de la mettre en évidence.

Pseudomorphoses, moulages. — On donne le nom de *pseudomorphoses* à de fausses apparences, par suite desquelles une substance revêt les formes cristallines d'une autre.

Il y a des pseudomorphoses de *moulage*, quand un corps cristallise par-dessus des cristaux déjà formés, ou dans le vide laissé par leur disparition. Ce sont les *pléomorphoses* de Kenngott.

Les véritables pseudomorphoses résultent d'une décomposition chimique, généralement lente et opérée par voie humide, qui a donné lieu à une substitution moléculaire. Ainsi les cristaux de fer carbonaté se transforment, sans perdre leur figure rhomboédrique, en limonite et la serpentine se substitue progressivement aux cristaux de péridot, etc.

LIVRE DEUXIÈME

DESCRIPTION DES ESPÈCES MINÉRALES

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS SUR LES ESPÈCES MINÉRALES

§ 1

COMPOSITION ET NOTATION DES ESPÈCES

Corps simples. Leur définition. — Les espèces minérales sont formées par l'association, en proportions définies, de *corps simples*, c'est-à-dire d'éléments qui ont résisté jusqu'ici à toute tentative faite pour les décomposer. Dans l'état actuel de la science, le nombre de ces éléments ne paraît pas dépasser 70. Encore beaucoup d'entre eux sont-ils spéciaux à une catégorie très restreinte de minéraux, de telle sorte qu'un petit nombre d'éléments suffit à produire la grande diversité des espèces naturelles.

Chaque élément se caractérise par ses propriétés physiques à l'état isolé, par ses affinités chimiques, mais surtout par son *poide atomique*. Le tableau suivant fait connaître simultanément les *symboles chimiques* des corps simples et la valeur des *poide atomiques* correspondants.

Tableau des poids atomiques des corps simples.

Aluminium.....	Al	27	Mercure.....	Hg	200
Antimoine.....	Sb	119,6	Molybdène.....	Mo	96
Argent.....	Ag	107,7	Nickel.....	Ni	58,6
Arsenic.....	As	75	Niobium.....	Nb	94
Azote.....	Az	14	(ou Columbium).	Cb	
(ou Nitrogène)	N		Or.....	Au	196,6
Baryum.....	Ba	137	Osmium.....	Os	195
Bismuth.....	Bi	207,5	Oxygène.....	O	16
Bore.....	B	10,9	Palladium.....	Pd	106
Brome.....	Br	79,8	Phosphore.....	P	31
Cadmium.....	Cd	111,7	Platine.....	Pt	194,4
Cæsium.....	Cs	132,7	Plomb.....	Pb	206,4
Calcium.....	Ca	40	Potassium.....	K	39,1
Carbone.....	C	12	Rhodium.....	Rh	104
Cerium.....	Ce	141	Rubidium.....	Rb	85,4
Chlore.....	Cl	35,4	Ruthénium.....	Ru	104
Chrome.....	Cr	52	Samarium.....	Sa	150
Cobalt.....	Co	58,7	Scandium.....	Sc	44
Cuivre.....	Cu	63,5	Sélénium.....	Se	79
Decipium.....	De	171	Silicium.....	Si	28
Di.....	Di	145	Sodium.....	Na	23
Didyme.....	Er	165	Soufre.....	S	32
Erbium.....	Er	165	Strontium.....	Sr	87,5
Étain.....	Sn	118	Tantale.....	Ta	182
Fer.....	Fe	55,9	Tellure.....	Te	127
Fluor.....	F	19	Thallium.....	Tl	205,7
Gallium.....	Ga	70	Thorium.....	Th	232
Germanium.....	Ge	72,5	Thulium.....	Thu	170,7
Glucinium.....	Gl	9,1	Titane.....	Ti	50
(ou Beryllium)	Be		Tungstène.....	W	183,6
Hydrogène.....	H	1	Uranium.....	U	238
Indium.....	In	115,4	Vanadium.....	V	51,2
Iode.....	I	126,5	Ytterbium.....	Yb	173
Iridium.....	Ir	195	(ou Terbium).	Tb	
Lanthane.....	La	158	Yttrium.....	Y	89,6
Lithium.....	Li	7	Zinc.....	Zn	65
Magnésium.....	Mg	24	Zirconium.....	Zr	90,4
Manganèse.....	Mn	54,8			

État naturel des substances minérales. — Parmi les corps simples, il en est peu qui soient assez difficilement altérables pour se présenter à l'état natif. Si l'on excepte les corps gazeux, tels que l'oxygène, l'azote, etc., on n'en compte guère que onze qui soient dans ce cas; encore, pour la plupart d'entre eux, l'état natif n'est-il qu'une exception. Ce sont, en fait de métalloïdes, le soufre et le carbone; en fait de corps métalliques cassants, l'ar-

senic, l'antimoine, le bismuth; parmi les métaux lourds, l'or, l'argent, le mercure, le cuivre, le fer, le platine (auquel il convient encore d'ajouter l'iridium et le palladium).

La très grande majorité des espèces minérales résulte de l'union de deux ou plusieurs éléments simples. En général, les métaux légers figurent dans des combinaisons oxygénées, ou en compagnie des corps haloïdes, tandis que la plupart des métaux lourds se montrent combinés avec le soufre, le sélénium, le tellure, en même temps qu'avec l'arsenic et l'antimoine qui, malgré leur aspect métallique, jouent plutôt en chimie le rôle de métalloïdes. Aussi ces corps ont-ils reçu le nom de *minéralisateurs*, parce qu'on peut admettre qu'ils ont, en quelque sorte, servi de véhicules aux matières métalliques lourdes, pour les amener de l'intérieur du globe jusqu'au voisinage de la surface.

Les minéraux de beaucoup les plus abondants de la croûte terrestre, là où cette dernière n'a pas subi de remaniements ultérieurs, sont des *silicates*. Ce sont eux qui constituent, presque seuls, toutes les roches qu'on peut appeler fondamentales. Ils sont essentiellement stables et généralement réfractaires. A l'extrême opposé de la série apparaissent les combustibles fossiles, pour la plupart d'origine organique et que leur enfouissement à l'air libre. Ils forment un véritable trait d'union entre le monde organique et le monde inorganique.

Notation chimique des espèces. — Deux espèces minérales sont distinctes lorsqu'elles n'ont pas la même composition chimique (en tenant compte, s'il y a lieu, des relations d'isomorphisme), ou lorsque, l'analyse ayant révélé les mêmes éléments, dans les mêmes proportions relatives, l'étude cristallographique amène à reconnaître une différence de forme dans les polyèdres moléculaires. Il suit de là que l'analyse chimique, combinée avec l'examen cristallographique, est le fondement de la détermination des espèces ¹.

Quand l'analyse chimique a fait connaître la nature et les proportions relatives des divers éléments d'une espèce, il est facile d'en déduire sa formule. En effet, soit une combinaison ternaire,

1. Pour les détails de ce genre d'opérations, voir le *Précis d'analyse chimique quantitative* de Classen, traduction française, Paris, 1888.

où les poids respectifs des trois éléments sont entre eux comme les nombres M, N, P.

Si A, B, C sont les poids atomiques respectifs des éléments, on aura

$$M = mA \quad N = nB \quad P = pC$$

m , n et p étant des nombres entiers. On déterminera ces nombres par les relations

$$m = \frac{M}{A} \quad n = \frac{N}{B} \quad p = \frac{P}{C}$$

et la formule de l'espèce se composera des symboles des trois éléments, affectés d'exposants respectivement égaux à m , n et p .

Ainsi l'analyse d'une Chalcopryrite ayant donné 50,47 de fer, 34,40 de cuivre et 55,87 de soufre, les quotients de ces nombres par les poids atomiques seront

$$\frac{50,47}{56} = 0,544 \quad \frac{34,40}{63,5} = 0,541 \quad \frac{55,87}{32} = 1,120.$$

Les trois quotients sont entre eux, à peu de chose près, comme les nombres 1 : 1 : 2,06, ou, en gros 1 : 1 : 2. On admettra donc que la formule de la Chalcopryrite doit être écrite FeCuS_2 .

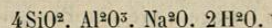
Les formules n'expriment que des rapports de poids. Aussi ne sont-elles que provisoires et les symboles qui y figurent peuvent toujours être multipliés par un même coefficient, si les analogies du minéral avec un autre, dont la densité de vapeur a été déterminée, conduisent à le faire, ou si l'interprétation de certaines propriétés chimiques semble l'exiger. C'est ainsi que plusieurs minéralogistes préfèrent, pour la Chalcopryrite, la formule $\text{Fe}^2\text{Cu}^2\text{S}^4$.

Très souvent, au lieu de formules atomiques, comme celles qui viennent d'être données, on en emploie d'autres, où les éléments sont déjà groupés en combinaisons définies. Ainsi l'analyse de l'Analcime de Fassa ayant fourni

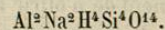
Silice	55,12	: 60 = 0,9187
Alumine.....	22,99	: 105 = 0,2252
Soude.....	15,55	: 62 = 0,2182
Eau.....	8,27	: 18 = 0,4594

et les rapports des quatre quotients étant à peu près ceux des

nombres 4 : 1 : 1 : 2, on écrit fréquemment la formule de l'analcime



Mais, au lieu de ce groupement factice, nous préférons nous en tenir, sauf quelques cas spéciaux, à la méthode des atomistes, pour qui la formule de l'analcime doit s'écrire :



Quand deux éléments peuvent se remplacer mutuellement par isomorphisme, on groupe leurs symboles dans des parenthèses, en les séparant par des virgules. Ainsi $(\text{K}, \text{Na})^2$ indique que deux atomes d'un radical alcalin peuvent être indifféremment fournis par le potassium ou par le sodium.

Dans un certain nombre d'ouvrages de minéralogie, l'oxygène s'indique par des points placés au-dessus du symbole O; ainsi $\ddot{\text{O}}$ pour O^2 . Le soufre se représente par des traits verticaux, Pb étant l'équivalent de PbS . Enfin on emploie aussi des lettres barrées pour doubler le symbole, par exemple $\bar{\text{Al}}$ pour Al^2O^2 .

Nomenclature minéralogique. — Nous avons dit que l'espèce, en minéralogie, devait être définie par la nature et la forme du polyèdre moléculaire, tandis que les variétés répondaient aux diverses combinaisons architecturales des molécules. La chimie et la cristallographie combinées peuvent seules nous éclairer sur les polyèdres moléculaires, ou tout au moins sur l'espèce et la quantité des atomes qui les composent, ainsi que sur leur degré de symétrie.

Les variétés se distinguent par leurs caractères physiques, et souvent aussi par les matières étrangères qu'elles renferment en plus ou moins grande quantité.

Un bon nombre d'espèces minérales sont connues depuis une haute antiquité; à celles-là l'usage a imposé des noms que la science a souvent acceptés. Pour les autres, les fondateurs de la minéralogie ont adopté, tantôt des dénominations dont l'étymologie grecque était empruntée à l'une des principales particularités de la substance (par exemple, l'*Axinite*, ainsi nommée par Haüy à cause de l'aspect coupant de ses cristaux, qui les fait ressembler au tranchant d'une hache), tantôt des noms rappelant

la composition chimique (par exemple, *chaux fluatée* pour le fluo-
rure de calcium, *magnésie boratée*, *zinc oxydé silicifère*, etc.).

Depuis longtemps l'usage a prévalu d'assigner à chaque espèce, et même à chaque variété, un nom univoque qui rappelle, soit une propriété de l'espèce, soit le nom du gisement, soit celui du savant qui a découvert le minéral, soit enfin celui d'une personne à qui on a cru convenable de le dédier. La plupart de ces noms, il est vrai, ont l'inconvénient de n'offrir à l'esprit rien qui puisse le mettre sur la voie de la composition du minéral. Mais leur brièveté présente, dans la pratique, d'incontestables avantages et, de plus, ils sont entièrement indépendants des fluctuations de la nomenclature chimique.

§ 2

DÉTERMINATION DES MINÉRAUX

Caractères physiques. — Si l'analyse quantitative n'est pas, habituellement, du ressort de la minéralogie, qui en laisse le soin à la chimie, du moins il est indispensable que le minéralogiste possède des procédés, à l'aide desquels il puisse assez rapidement reconnaître les espèces déjà décrites et même soupçonner des espèces nouvelles. C'est sur ces procédés expéditifs qu'il convient d'arrêter un moment notre attention.

Les premiers caractères qui doivent entrer en ligne de compte sont les *caractères physiques extérieurs* et, avant tout, la *forme cristalline*. A l'égard de celle-ci, de même que pour l'*examen optique*, devenu aujourd'hui une source si précieuse d'information, il y a lieu de se reporter au premier livre de ce *Précis*. Nous aurons d'ailleurs soin d'indiquer, dans la description des espèces, les principales combinaisons réalisées par chaque type important.

Ensuite interviennent la considération de la *densité* et celle de la *dureté*. Pour cette dernière, nous n'avons rien à ajouter à ce qui a été dit précédemment. Quant à la densité, elle mérite quelques explications.

La *densité* des minéraux, qui se confond avec leur *poids spécifique* si l'on prend le centimètre cube pour unité de volume et le gramme pour unité de poids, est souvent, quand on la combine

avec les autres caractères extérieurs, un excellent moyen de lever l'incertitude qui pèse sur la détermination d'une espèce. Sa mesure s'effectue à l'aide de divers instruments, dont les uns permettent une évaluation très précise, tandis que les autres, d'un maniement rapide et facile, servent pour les cas où l'on peut se contenter de chiffres approchés.

Dans le procédé de la *balance hydrostatique*, on suspend, à l'aide d'un fil mince, le minéral à essayer à l'un des plateaux d'une balance et, après avoir fait équilibre dans l'autre plateau, ce qui donne le poids P du minéral dans l'air, on fait plonger le corps dans un vase rempli d'eau distillée.

Soit p le poids qu'il faut ajouter, après l'immersion, pour rétablir l'équilibre; p est justement le poids d'un volume d'eau égal au volume du minéral. Donc la densité cherchée est $\frac{P}{p}$. Pour

aller plus vite, on peut, comme l'ont proposé A. Gadolin et M. Tschermak, remplacer les poids par un curseur en transformant la balance en balance romaine, ou bien encore, comme dans la *balance de Jolly*, se servir d'un fil de fer en spirale, qui fait fonction de ressort et s'allonge plus ou moins le long d'une tige graduée.

La méthode la plus généralement usitée est celle du *Flacon* ou *Pycnomètre*. Cet instrument se compose d'un petit flacon de verre, fermé par un bouchon à l'émeri, que traverse un canal étroit. Le poids σ du pycnomètre, plein d'eau distillée, à une température qui doit toujours être la même, a été déterminé une fois pour toutes. Le minéral, en esquilles minces ou en poudre, est d'abord pesé dans l'air, ce qui donne son poids P , puis introduit dans le pycnomètre, qu'on emplit exactement avec de l'eau de manière à ce qu'il ne reste aucun vide, ce dont on s'assure en soumettant l'instrument à l'ébullition. Soit P' le poids de l'appareil dans ces conditions. Ce nouveau poids se compose de σ , poids primitif du pycnomètre, plus P , poids du minéral, moins le poids α de l'eau expulsée par l'introduction de ce dernier; donc $\alpha = \sigma + P - P'$. Par suite, la densité cherchée est

$$\frac{P}{\sigma + P - P'}$$

Enfin on s'est très souvent servi pour le même objet de l'*Aréo-*

mètre de Nicholson, décrit dans tous les traités de physique. La nacelle supérieure est d'abord chargée du minéral à essayer et l'on ajoute une tare suffisante pour que la tige verticale s'enfonce jusqu'en un point bien déterminé. Cela fait, on enlève le minéral, ce qui oblige, pour rétablir l'affleurement, à ajouter dans la nacelle un poids A, qui représente le poids du corps. Ensuite, retirant A, on place le minéral dans la nacelle inférieure immergée, et comme alors il subit une poussée égale au poids du liquide déplacé, il faut de nouveau ajouter sur la nacelle supérieure un poids α . Dès lors, $\frac{A}{\alpha}$ représente la densité.

Quand la forme, la dureté et la densité d'un minéral ont été déterminées, il y a lieu de préciser sa *couleur* et son *éclat*. Ce dernier peut être *métallique* ou non, *vitreux* comme pour le quartz ou *gras* comme dans l'éléolite, *résineux* comme dans l'opale et l'asphalte, *cireux* comme dans la pyromorphite, *adamantin* comme dans le diamant, *nacré* comme dans la stilbite, *soyeux* comme dans le gypse fibreux.

Puis il convient d'indiquer si le minéral est fragile ou non et si sa cassure est *grenue*, *conchoïdale* (c'est-à-dire semblable à celle de certaines coquilles bivalves), *esquilleuse* ou *écailleuse* comme celle de l'agate, *plane* (dans le cas des clivages), *inégale*, etc. On doit aussi constater la présence ou l'absence de la *flexibilité*, de l'*élasticité*; enfin, s'il s'agit de minéraux à apparence métallique, il faut s'assurer s'ils sont *cassants*, *ductiles* ou même *sectiles*, c'est-à-dire susceptibles d'être coupés au couteau.

Un caractère de très grande importance est la *couleur de la poussière*. On en fait grand usage pour la détermination des minerais métalliques. En général il ne suffit pas, pour l'apprécier, d'écraser une parcelle de la substance sur une feuille de papier. Il vaut mieux la frotter contre un disque de porcelaine déglacée, à la surface duquel elle laisse une trace, dont la couleur se reconnaît aisément.

Enfin on range sous la dénomination de caractères *organoleptiques* ceux qui se manifestent par le toucher, le hâlement à la langue, la saveur et l'odeur.

Certains minéraux (talc) sont *onctueux* et *gras*, tandis que d'autres sont simplement *doux au toucher* (amiante). Il y en a d'*âpres au toucher* (pierre ponce).

Les corps très avides d'humidité (magnésite, argiles) happent, c'est-à-dire adhèrent à la langue.

Quant aux saveurs, on les distingue en *acide*, *piquante* (sel ammoniac), *salée* (sel gemme), *fraîche* (nitre), *astringente* ou *styptique* (alun), *amère* (epsomite), *douce* (borax).

Essais au chalumeau. Constitution de la flamme. — Lorsqu'on a tiré des caractères extérieurs tout ce qu'ils sont susceptibles de donner, il importe de soumettre le minéral qu'on veut déterminer à d'autres essais, dont les plus importants sont ceux de la *voie sèche* ou *essais pyrognostiques*. Tous ont pour objet d'étudier la façon dont se comporte, sous l'action de la chaleur, la matière d'essai, soit seule, soit mélangée à quelques réactifs simples¹.

On peut quelquefois se contenter de soumettre le minéral à la chaleur d'une lampe à alcool. Mais le plus souvent il est nécessaire d'activer la combustion à l'aide d'un courant d'air forcé. C'est ce qu'on réalise par le *chalumeau*, instrument trop connu pour qu'il soit besoin de le décrire ici. Nous rappellerons seulement les principes sur lesquels repose son action.

La flamme d'une bougie se compose de quatre parties: une *base* d'un bleu sombre, formée de vapeurs qui brûlent à peine, parce qu'elles n'ont pas atteint une température suffisamment élevée; 2° un *cône intérieur obscur*, formé de vapeurs combustibles, qui ne brûlent pas encore, faute d'oxygène; 3° un second *cône lumineux* éclatant, où la combustion des hydrocarbures n'est que partielle et laisse subsister des particules de charbon, qui donnent à la flamme son pouvoir éclairant; 4° un *cône extérieur* bleuâtre, très peu lumineux, où la combustion est complète, l'oxygène étant en excès, et où la température atteint son maximum. La flamme de ce cône est donc *oxydante*, tandis que celle du cône éclatant est *réductrice*.

Si l'on souffle en introduisant la pointe du chalumeau jusque dans l'intérieur du cône lumineux, on allonge la pointe du cône extérieur, produisant ainsi une *flamme oxydante* ou *feu d'oxydation*; si le chalumeau pénètre à peine dans la flamme, c'est le cône lumineux qui s'allonge et, en y plaçant la matière d'essai, on obtient une *flamme réductrice* ou *feu de réduction*.

1. Voir, pour plus de détails, Terreil, *Traité pratique des essais au chalumeau*.

Lorsqu'on peut avoir à sa disposition du gaz d'éclairage, on emploie avec avantage un bec dit *bec de Bunsen*, où la combustion complète du gaz est obtenue par son mélange avec une quantité d'air suffisante. L'adaptation à ce bec d'un soufflet à pédale dispense l'opérateur de toute fatigue; il est vrai qu'on obtient moins facilement des dards réguliers qu'avec la flamme d'une bougie; mais on réalise des températures beaucoup plus élevées.

La meilleure flamme, pour l'usage du chalumeau, est celle de la lampe à huile de Plattner, avec mèche linéaire. L'alcool donne une flamme moins chaude que celle de la bougie; mais on augmente sa température en y mêlant de la térébenthine.

Étude de la fusibilité. — Le premier des essais pyrognostiques est celui qui a pour but l'étude de la fusibilité. La fusibilité se détermine d'ordinaire, soit avec la flamme d'une bougie, activée par le chalumeau, soit en exposant la matière à l'action du bord bleu de la flamme d'un bec de Bunsen. Le minéral, réduit en une mince esquille, est tenu à l'aide d'une pince de platine ou porté par la boule d'un fil de platine. S'il a l'éclat métallique, il convient d'employer comme support un morceau de charbon.

L'échelle suivante, dressée par M. de Kobell, fait connaître les divers degrés de fusibilité au chalumeau :

1. STIBINE; fond à la flamme simple de la bougie, sans souffler.
2. MÉSOTYPE FIBREUSE; fond facilement en boule sous l'action du chalumeau.
3. GRENAT ALMANDIN; donne au chalumeau une petite sphère.
4. ACTINOTE DU ZILLERTHAL; l'extrémité d'une mince esquille s'arrondit au chalumeau en formant comme une tête d'épingle.
5. ORTHOSE; fond sur les arêtes et à l'extrémité des morceaux taillés en pointe fine.
6. BRONZITE; même en écailles minces, laisse à peine apercevoir des traces de fusion.
7. QUARTZ; complètement infusible.

Bien entendu, les résultats seraient différents si l'on employait une flamme plus énergique; ainsi le chalumeau à gaz oxydrique fond le platine, le quartz et la bronzite. Aussi doit-il être convenu que toutes les indications qui seront données, à l'occasion de la description des espèces, se rapporteront exclusivement à la flamme du chalumeau ordinaire.

Coloration de la flamme. — La flamme du chalumeau et celle du bec de Bunsen fournissent des données très précieuses

par les colorations momentanées qu'elles prennent, quand certains minéraux sont introduits dans le cône extérieur bleu, au voisinage de l'extrémité de la flamme réductrice.

Le tableau suivant fait connaître les couleurs développées par les minéraux les plus importants. Les chiffres de ce tableau, ainsi que ceux dont on fera précéder l'indication des réactions qui vont suivre, sont destinés à faciliter plus tard la description des espèces, en permettant d'indiquer les réactions par un simple numéro d'ordre.

(1) Sels de Lithine.....	Rouge cramoisi.
(2) » de Strontiane.....	» carmin.
(3) » de Chaux.....	» orangé.
(4) » de Potasse.....	Violet pâle.
(5) » de Soude.....	Jaune un peu rougeâtre.
(6) » ammoniacaux.....	Violet bleuâtre.
(7) Protochlorure de Mercure....	» vif.
(8) Sélénium et ses composés....	Bleu d'azur.
(9) Tellure.....	» verdâtre.
(10) Arsenic.....	» livide pâle
(11) Antimoine.....	» »
(12) Plomb.....	» d'azur.
(13) Chlorure de Cuivre.....	» pourpré.
(14) Iodure de Cuivre.....	Vert émeraude.
(15) Composés du Phosphore.....	» jaunâtre un peu livide.
(16) Acide borique et borates.....	» et vert jaunâtre.
(17) Sels de Baryte.....	» jaunâtre livide.
(18) » de Cuivre.....	» émeraude ou vert bleuâtre.

Pour que ces colorations se développent, il faut d'abord que la substance qui les produit soit engagée dans une combinaison volatile, ensuite qu'il n'y ait pas ensemble plusieurs corps dont les couleurs soient susceptibles de se modifier réciproquement ou de s'annuler. Lorsque la première condition n'est pas naturellement réalisée, on peut y satisfaire en traitant le minéral par l'acide chlorhydrique, par certains chlorures ou par l'acide sulfurique.

La coloration en bleu bordé de pourpre, que donne le chlorure de cuivre, est utilisée pour reconnaître la présence du chlore dans un minéral. Pour cela (19), après avoir fait, sur le sel de platine, une perle de sel de phosphore (voir plus loin) et l'avoir saturée de cuivre, on ajoute la matière d'essai et on porte le tout dans la flamme. Dans les mêmes conditions, les iodures (20) donnent une flamme d'un vert émeraude; avec les bromures, la coloration, moins nette, est d'un bleu verdâtre (21).

(22). Souvent plusieurs colorations se superposent et s'annulent réciproquement. Ainsi les minéraux sodifères colorent la flamme en jaune, ceux du potassium en violet blanchâtre. Mais quand les deux substances coexistent, la coloration du sodium efface absolument celle du potassium. Pour isoler cette dernière, on interpose, entre l'œil et la flamme, ou bien une dissolution peu concentrée d'indigo, de permanganate de potasse ou de bleu d'aniline, contenue dans un flacon à parois parallèles, ou, plus simplement, un verre coloré en bleu par le cobalt. Dans ces deux cas, il y a absorption des rayons jaunes et le violet seul, ou plutôt le pourpre, apparaît.

Le verre bleu annule aussi presque complètement la coloration rouge de la lithine (qui au contraire se constate bien à l'œil nu), ainsi que celle de la chaux.

L'étude des colorations de la flamme doit se faire dans un endroit sombre. On peut d'ailleurs lui imprimer un plus grand degré de précision en se servant du spectroscope. Le minéral en poudre est humecté, sur une feuille de platine, avec un peu d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique, ou, s'il est difficilement décomposable, comme c'est le cas des silicates, traité par un mélange de fluorure d'ammonium et d'acide sulfurique. Avec la boucle d'un fil de platine, on enlève une parcelle du mélange et on la porte vivement dans la partie externe de la flamme d'un bec de Bunsen, en mettant l'œil au spectroscope, après s'être préalablement familiarisé avec l'allure des divers corps simples. On peut aisément, par ce procédé, reconnaître la présence du lithium, du sodium, du potassium, du calcium, du strontium, du baryum, éventuellement celle du cæsium, du rubidium et de l'indium.

Essais dans le tube fermé. — Jusqu'ici nous avons supposé que la flamme agissait directement sur la substance à étudier. Mais il est des cas nombreux où il convient d'observer l'allure que prend cette dernière, quand elle est chauffée dans un tube ou un petit matras en verre.

Le tube peut être *fermé* à un bout ou *ouvert* aux deux bouts. Le tube ouvert s'emploie lorsqu'on veut étudier les phénomènes d'oxydation.

Le tube fermé, d'une longueur de 5 à 6 centimètres, avec un diamètre de 2 à 5 millimètres, étant soumis à la chaleur de la

lampe à alcool, avec ou sans intervention du chalumeau, suivant les cas, on observe d'abord si le minéral, réduit à la grosseur d'un grain de millet, *décrépite*, comme font l'aragonite, la cérusite et plusieurs sulfures, s'il *se boursoufle*, s'il *fond*, *se désagrège*, devient *incandescent*, *phosphorescent* (cassitérite, fluorine), enfin s'il change de couleur.

Ainsi les oxydes d'étain et de zinc sont jaunes à chaud et blancs à froid; le peroxyde de fer est noir à chaud et rouge à froid, tandis que les oxydes du plomb passent, quand on les chauffe, du jaune au rouge brun. Un grand nombre de corps se décolorent définitivement: tels sont la tourmaline rouge, la fluorine rose, le zircon hyacinthe et la plupart des pierres bleues, saphir, apatite, fluorine, célestine, lapis, enfin le quartz enfumé et le grenat noir des Pyrénées. Quelques-uns changent de couleur pour toujours, comme la topaze jaune du Brésil, qui prend une teinte rose plus ou moins violacée (topaze brûlée). Les substances d'origine végétale se carbonisent. Enfin il est des corps qui reprennent, après refroidissement, la couleur que l'application d'une haute température leur avait momentanément enlevée. De ce nombre sont le rubis oriental, le rubis spinelle et le grenat pyrope, qui sont rouges à froid et verts à chaud.

A côté de ces phénomènes, il s'en produit d'autres non moins intéressants: ce sont les dégagements de vapeurs ou de gaz.

Tout corps contenant de l'eau à l'état de combinaison la perd à une température suffisamment élevée. Cette eau vient se condenser en gouttelettes près de l'extrémité froide du tube: c'est ce qu'on exprime en disant que le minéral *donne de l'eau dans le tube* (23).

L'eau condensée peut être, dans certains cas, alcaline ou acide, ce dont on s'assure à l'aide du papier de tournesol ou de curcuma.

D'autres corps dégagent des gaz, tantôt inodores et incolores, tantôt colorés ou odorants. Enfin plusieurs substances donnent, par volatilisation, des produits qui viennent se condenser, dans la partie froide du tube, sous la forme d'anneaux de *sublimés*, dont la couleur est généralement caractéristique. Ainsi (24) le sublimé du soufre est jaune à froid; celui de l'arsenic (25) est noir ou grisâtre et possède l'éclat métallique, tandis que le sublimé de l'acide arsénieux (26) est blanc ou peu coloré et celui du sulfure

d'arsenic orangé (27); enfin le sélénium et le sulfure de mercure donnent des sublimés rouges à froid (28).

Les azotates se reconnaissent au dégagement de vapeurs rutilantes qui se produit, quand on les chauffe avec du bisulfate de potasse (29).

Essais dans le tube ouvert. — Lorsqu'on traite un minéral dans le tube ouvert, on a soin, en général, que ce dernier soit légèrement coudé, de manière à ce que le corps à essayer ne soit pas exposé à tomber, et on dirige le dard du chalumeau sur l'ouverture de la branche la plus courte du tube. Alors, sous l'influence de l'air introduit, il s'opère un grillage et les sulfures donnent lieu à un dégagement d'acide sulfureux, reconnaissable à son odeur (30), tandis que les séléniures dégagent de l'acide sélénieux, à odeur de raifort (31). L'arsenic et les arséniures produisent des sublimés, très volatils, d'acide arsénieux, à odeur d'ail (32), tandis que l'antimoine et les antimonieures donnent des sublimés blancs d'acide antimonieux plus fixes, quoique susceptibles de cheminer dans le tube sous l'action du chalumeau (33). Enfin le tellure développe un sublimé fixe d'acide tellureux, fusible en gouttelettes, propriété qui appartient aussi à l'oxyde de bismuth (34).

Les tubes ouverts doivent être un peu plus longs que les tubes fermés; leur usage est devenu moins fréquent, depuis qu'on a découvert des réactions simples, qui permettent de reconnaître certains corps volatils, dont ces tubes servaient autrefois à déceler la présence.

Essais sur le charbon. — Au lieu de placer le minéral à essayer dans un tube de verre, on se sert très souvent d'un support de charbon. Le charbon a l'avantage d'être absolument infusible et de ne se combiner qu'avec l'oxygène. A ce titre, il pourrait agir comme réducteur; mais cet effet se produit dans une si faible mesure, qu'on peut la plupart du temps étudier sur le charbon l'action de la flamme oxydante aussi bien que celle de la flamme réductrice.

Le meilleur charbon est celui de pin; il doit être bien cuit et sans gerçures. On le découpe d'ordinaire sous la forme d'un prisme carré, dont les faces bien dressées ont 2 ou 3 centimètres de largeur, et on creuse à sa surface, avec un canif ou mieux encore avec une fraise d'acier, une petite cavité large de 5 à

10 millimètres, profonde de 5 à 4, pour recevoir la matière à essayer. Si cette dernière est pulvérulente, il est bon de l'humecter avant de souffler avec le chalumeau.

On observe si la substance est fusible, avec ou sans bouillonnement; si elle décrépète, fuse ou déflagre; si elle est entièrement absorbée par le charbon; si elle dégage de la vapeur d'eau ou des vapeurs odorantes, comme les acides du soufre, de l'azote et du chlore, si elle se volatilise; si elle change de couleur, si elle donne naissance à des *culots métalliques* et si ces derniers sont *malléables* (35) (plomb), *cassants* (36) (bismuth, antimoine); s'il se produit des globules *magnétiques* (37) (oxydes de fer et certains composés de nickel et de cobalt); si la matière dégage des *fumées* épaisses et colorées ou non; enfin si elle donne lieu à des *enduits* ou *auréoles*, situées plus ou moins près de la matière d'essai et quelle est la couleur de ces auréoles, à chaud ou à froid.

La production des auréoles accompagne en général celle d'un bouton métallique, dont elles représentent les produits d'oxydation. Elles sont *jaunes à chaud et à froid* (38) avec le plomb; le bismuth, le molybdène; *jaunes à chaud et phosphorescentes*, mais *blanches à froid* (39), avec le zinc et l'étain; *rouges* ou d'un *brun rouge* (40) avec le cadmium, le sélénium, l'argent.

Les auréoles ou *enduits* de couleur blanche, dus à une oxydation, sont tantôt *fixes* (41), comme ceux du zinc et de l'étain, tantôt *volatilisables* (42), comme ceux de l'antimoine, de l'arsenic, qu'on peut ainsi promener à la surface du charbon ou faire disparaître en employant la flamme réductrice.

Emploi du carbonate de soude. Réaction du soufre. — Dans ce qui précède, nous avons toujours supposé que la matière à essayer était employée seule. Mais il est souvent utile de faire intervenir des *réactifs*; les plus employés sont la *soude* ou *carbonate de soude*, le *borax* et le *sel de phosphore*.

Le carbonate de soude est un *fondant réducteur*. On l'emploie anhydre ou hydraté; mais il importe qu'il soit pur et entièrement privé d'acide sulfurique. On admet que la propriété réductrice du carbonate de soude est surtout mécanique, parce que cette substance, employée sur le charbon, y détermine un contact intime entre celui-ci et la matière d'essai, avec laquelle la soude a été soigneusement mélangée après pulvérisation. Mais l'action réciproque

du carbone, du sodium et de l'azote peut aussi donner lieu à la production de cyanure de sodium, corps réducteur par lui-même.

Le carbonate de soude, sur le charbon, facilite beaucoup la production des globules métalliques. Avec les composés du fer, du nickel et du cobalt, il donne une masse attirable au barreau aimanté (43); mais son principal emploi est dans la recherche des sulfures et des sulfates, même à l'état de traces (44) :

La matière à essayer est fondue sur le charbon avec 2 à 5 parties de carbonate de soude, sous l'action du feu réducteur. Souvent toute la masse, ou à peu près, passe dans le charbon; on gratte ce dernier avec un couteau et on écrase la poussière sur une lame d'argent imbibée d'eau ou sur un papier à filtre mouillé d'acétate de plomb; immédiatement des taches noires ou brunes montrent que le sulfure de sodium a été décomposé par l'eau, en dégagant de l'hydrogène sulfuré, qui a noirci le métal ou le papier.

Quand la masse fondue ne passe pas dans le charbon, elle prend une teinte brune qui rappelle celle du foie et reçoit, pour cette raison, le nom d'*hépar*. On dit alors que la substance *donne un hépar avec la soude*, ce qui décèle la présence du soufre.

La soude peut aussi s'employer seule ou avec du charbon, dans le tube fermé; mélangée avec un composé du mercure, elle détermine la volatilisation de ce dernier sous forme de gouttelettes métalliques, qui viennent se condenser près de l'orifice (45). Dans les mêmes conditions, les arséniates donnent un anneau noir d'arsenic métallique (46).

Souvent on emploie comme réducteur le cyanure de potassium; mais ce corps est fusible, déliquescent et d'un maniement dangereux.

Essais au borax. — Le borax ou borate de soude hydraté doit ses propriétés comme fondant à l'existence d'un excès d'acide borique, dans lequel les oxydes métalliques se dissolvent en produisant des perles diversement colorées. On l'emploie de la manière suivante :

Après avoir replié sur elle-même l'extrémité d'un fil de platine en forme de boucle, de 2 à 3 millimètres de diamètre, on mouille cette boucle, ou encore on la porte au rouge, pour la plonger ensuite dans un flacon de borax bien pur. Le borax qui adhère au fil est d'abord simplement exposé à la flamme de l'alcool, où

il fond avec boursoufflement, en perdant son eau de cristallisation. Quand le bouillonnement a cessé, on souffle au chalumeau pour rendre la perle régulière et limpide, et on l'applique, encore très chaude, sur la poudre à essayer, dont elle ne doit emporter qu'une très petite quantité. On recommence alors à souffler et, quand la dissolution est complète, on peut, d'un coup sec, faire tomber la perle vitreuse dans une capsule de porcelaine, pour examiner sa coloration. Si cette dernière est trop intense, il suffit généralement, pour en apprécier la nuance, d'écraser la perle au marteau.

L'essai au borax ne doit être fait que sur des substances oxydées; les minerais sulfurés, arséniés, etc., donneraient avec le platine des alliages qui feraient fondre le fil. Aussi ces minerais doivent-ils être préalablement grillés sur le charbon. On peut aussi se servir, comme support, de coupelles, dites *coupelles de Le Bailif*, petites capsules en argile réfractaire, sur lesquelles le fondant s'étale bien, mais en donnant une teinte ordinairement moins vive que celle des perles. Voici l'indication des couleurs que donne le borax :

OXYDES.	FEU D'OXYDATION		FEU DE RÉDUCTION	
	A CHAUD.	A FROID.	A CHAUD.	A FROID.
(47) MANGANÈSE...	Violet foncé (améthyste).	Violet foncé (améthyste).	Rose ou incolore.	Rose ou incolore.
(48) FER	Jaune rouille ou rouge brun.	Jaune clair ou incolore.	Vert sale.	Vert bouteille ou vert noir.
(49) CHROME	Jaune verdâtre.	Vert jaunâtre.	Vert sale.	Vert émeraude.
(50) NICKEL	Rouge acajou ou jaune brun.	Jaune brun clair ou incolore.	Jaune gris.	Grise.
(51) COBALT	Bleu intense.	Bleu de cobalt.	Bleu intense.	Bleu de cobalt.
(52) URANIUM ...	Jaune orangé.	Jaune d'or.	Vert sale.	Verte.
(53) TITANE	Jaunâtre.	Jaunâtre.	Brun clair.	Brun violacé.
(54) VANADIUM ...	Jaune ou jaune brun.	Jaune clair.	Vert sale.	Vert émeraude.
(55) MOLYBDÈNE ..	Jaunâtre.	Incolore.	Brun clair, transparente.	Brun foncé, opaque.
(56) TUNGSTÈNE ..	Jaune clair.	Incolore.	Incolore ou jaunâtre.	Jaune gris.