

ne tient pas à avoir une courbure brusque. Si la courbure s'aplatit trop sur sa convexité, ou fait un pli dans la concavité, il faut chauffer les parties défectueuses, et, en soufflant un des orifices, souffler de manière à les corriger, car sans cela la courbure manquerait de solidité.

Les tubes de petit diamètre, tels que les tubes ordinaires à gaz, peuvent être facilement courbés dans la flamme d'une lampe à alcool; il faut un peu plus de temps; mais quand on n'a pas une grande habitude de la lampe d'émailleur, on est bien plus certain de réussir.

Une bonne courbure est d'autant plus difficile que le tube est plus gros et d'une moindre épaisseur. Aussi pour faire, par exemple, un tube en U, vaut-il mieux remplir le tube de sable bien sec, le placer dans un fourneau au milieu de charbons ardents et courber peu à peu, que d'essayer de le faire à la lampe. Cependant on réussit assez bien en opérant comme il suit : il faut chauffer bien également dans une flamme large et bien chaude le tube que l'on veut courber, après avoir fermé une des extrémités avec un bouchon, et ramasser du verre de manière à beaucoup augmenter l'épaisseur du tube au point chauffé. Lorsque la masse plongée dans la flamme est bien fondue, on sort rapidement le tube et on étire un peu, tout en donnant la courbure voulue, en même temps qu'on souffle par l'extrémité ouverte pour rendre à la partie étirée le diamètre du tube.

III

OPÉRATIONS MÉCANIQUES.

43. Ces opérations se rapportent au travail préparatoire qu'il faut faire subir aux corps pour les rendre aptes à l'analyse, ainsi qu'aux moyens à employer pour les séparer suivant leur état physique respectif.

Division mécanique.

44. Dans les recherches analytiques il importe que les réactions soient complètes et atteignent les dernières parcelles de la matière soumise à l'expérience. Cette condition est indispensable pour que le résultat négatif d'un essai permette de conclure à l'absence du corps qu'il était destiné à mettre en évidence. Il faut donc que l'opérateur cherche à favoriser l'action chimique par tous les moyens dont il dispose, et, dans ce but, son premier soin doit être de diviser, de réduire en poudre la matière qu'il s'agit d'examiner: Le succès de l'analyse dépend souvent de cette opération préliminaire.

45. **Cassage.** — Pour réduire une substance en poudre il faut, à moins qu'elle ne soit très-friable, la concasser d'abord en fragments plus ou moins gros. Ordinairement on concasse dans un mortier profond, de fonte ou de bronze, en tenant le pilon verticalement, et en frappant sur le morceau dans cette direction. Cependant, si la substance est dure, il vaut mieux la briser au moyen du marteau sur un

tas d'acier; afin de ne perdre aucun fragment, on place sur ce tas un anneau de fer mobile qui entoure le morceau, ou bien on enveloppe la substance dans du papier, ou dans une feuille de tôle assez mince pour pouvoir être pliée sur elle-même.

46. **Pulvérisation.** — Cette opération se fait de diverses manières, suivant la nature de la substance. Si elle n'est pas d'une dureté très-considérable, on peut la broyer dans un mortier de verre ou de porcelaine; mais dans un grand nombre de cas, il faut avoir recours à des mortiers de fonte, de bronze ou d'acier. Les mouvements que l'on fait faire au pilon dans le mortier doivent varier suivant le degré de finesse que l'on veut donner à la poudre. Pour obtenir une poudre fine, il faut broyer, triturer, et diriger le pilon un peu obliquement en ayant soin de ne pas frapper au centre du mortier. Si la poudre se pelotonne, se tasse et empâte les gros grains, il est utile de la remuer fréquemment avec une spatule; par-là, on accélère beaucoup la pulvérisation. Du reste il faut éviter de pulvériser très-finement les substances dures dans des mortiers de

fonte ou de bronze, car il s'en détache toujours de petites parcelles métalliques qui se mélangent à la poussière.

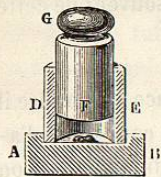


Fig. 51

47. Pour réduire en poudre des substances très-dures et dont on ne possède que de très-petites quantités, on emploie avec avantage le mortier d'Adich. Voici en quoi il consiste : dans un disque d'acier bien trempé AB (fig. 51), se trouve une excavation cylindrique de 4 ou 5 millimètres de profondeur. Sur celle-

ci est ajusté un cylindre creux DE de 25 millimètres de diamètre et de 20 millimètres de hauteur. Un cylindre massif FG glisse à frottement dans le cylindre creux DE, et vient, par sa partie inférieure, parfaitement plane et polie, s'appliquer exactement sur la surface du disque. S'agit-il de pulvériser une substance, on en place un fragment dans l'intérieur du mortier, et on l'écrase en donnant de légers coups de marteau sur le cylindre massif. On obtient ainsi une poudre assez fine, qu'on achève de pulvériser dans le mortier d'agate. (Voyez, pour plus de détails, l'article PULVÉRISATION de l'*Anal. quant.*, n° 32, p. 54.)

48. **Étonnement.** — On peut souvent faciliter la pulvérisation des substances très-dures et inaltérables au feu, en les chauffant au rouge et en les plongeant encore incandescentes dans l'eau. La matière étant, par là, subitement et inégalement dilatée et contractée, se fendille en tous sens, s'étonne, comme on dit, et devient ordinairement assez fragile pour être pulvérisée par simple pression. S'il est nécessaire, on réitère cette opération plusieurs fois.

49. **Porphyrisation.** — Beaucoup de substances naturelles, et notamment la plupart des silicates, ne peuvent pas être amenés par la pulvérisation dans un état de ténuité suffisant pour être immédiatement soumises à l'action des agents chimiques. Dans ce cas, il est nécessaire de broyer la poudre déjà obtenue dans un mortier de porphyre, ou mieux d'agate, jusqu'à ce qu'en la frottant entre les doigts, on ne ressente pas l'impression des grains, et qu'elle paraisse douce au toucher comme de la farine. Lorsque la poudre que l'on porphyrise a atteint un certain degré de

finesse, elle devient souvent si mobile qu'elle échappe à l'action du pilon. On remédie à cet inconvénient en humectant la matière avec une quantité d'eau suffisante pour en faire une pâte molle. Il convient encore, pour obtenir des poudres très-fines, de ne porphyriser que de petites quantités de matière à la fois.

La porphyrisation la plus parfaite ne suffit pas toujours pour amener à un degré de ténuité convenable les substances très-rebelles aux agents chimiques; il faut alors soumettre la poudre obtenue à la lévigation en opérant comme il sera dit plus bas.

50. **Division des métaux; granulation.** — Les métaux et les alliages sont trop ductiles pour être réduits en poudre par la percussion. On les divise avec des instruments tranchants après qu'ils ont été laminés, étirés à la filière, ou aplatis sous le marteau. Souvent aussi on a recours à la lime pour diviser les métaux; mais alors il faut se tenir en garde contre les particules de fer que peut entraîner la lime.

La *granulation* est un moyen commode d'amener les métaux fusibles à un degré de division qui suffit dans un grand nombre de cas. Elle consiste à faire fondre le métal et à le verser peu à peu dans l'eau qu'on agite. On peut aussi granuler l'étain, le plomb et quelques autres métaux qui deviennent cassants à chaud, en les versant fondus dans un mortier de fonte, où on les pulvérise et broie rapidement, sans discontinuer, jusqu'à parfait refroidissement.

Séparation mécanique des corps solides.

51. Ces opérations comprennent le triage, le tamisage et

la lévigation; elles ont pour objet non-seulement de séparer entre elles les poudres de divers degrés de finesse que fournissent la pulvérisation et la porphyrisation, mais aussi d'isoler les différentes espèces minérales, qui existent simultanément dans une roche ou dans une substance quelconque.

52. **Tirage.** — Il arrive fréquemment que des substances de nature différente sont réunies par agrégation entrelacée. Pour les séparer, on commence par concasser l'échantillon, en se servant d'un petit marteau, et en ayant soin de frapper à coups secs et ménagés sur les points où l'on veut faire passer la fracture.

On isole ensuite chacune des substances, en les saisissant avec des pinces élastiques à bouts de platine,

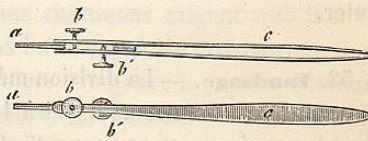


Fig. 52.

dites *bruxelles* (fig. 52), ou bien avec celles dont se servent les horlogers (fig. 53). Quand les grains qui composent un mélange sont très-petits, il faut armer l'œil d'une forte loupe, et faire le tirage avec des pinces très-



Fig. 53.

déliées. A l'aide d'un canif ou d'un grattoir, on parvient quelquefois à enlever une substance répandue en couche mince à la surface d'une autre, ou qui y adhère fortement.

Si l'une des substances est magnétique, ou peut facilement l'enlever à l'aide d'un petit *barreau aimanté* (fig. 54). On sépare parfaitement ainsi l'oxyde de fer magnétique

d'avec ses gangues, ainsi que les lamelles ou grenailles de fer, de nickel et de cobalt, disséminées dans les aérolithes, dans les scories vitreuses, etc.

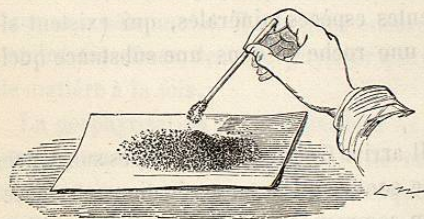


Fig. 54.

Lorsque le triage ne peut pas se faire grain à grain, ou par le barreau aimanté, il y a des cas où les moyens décrits ci-dessous permettent encore de l'exécuter.

53. Tamisage. — La division mécanique, effectuée dans des mortiers ou autrement (11 à 13), fournit une poudre dont les grains sont toujours d'inégale grosseur. Pour séparer les parties les plus ténues, on agite la poudre sur un tamis de soie, dont les mailles sont d'autant plus étroites qu'on se propose d'obtenir une poussière plus fine. Ce qui reste sur le tamis est remis dans le mortier, pulvérisé de nouveau, puis tamisé, et ainsi de suite. Si l'on veut éviter la production d'une poussière fine et obtenir des grains aussi uniformes que possible, il faut tamiser fréquemment, afin de soustraire au choc du pilon les particules assez ténues pour passer à travers le tamis.

54. Une pulvérisation partielle, suivie de tamisages fréquemment réitérés, permet souvent de séparer assez exactement des substances de dureté très-inégale; la substance la plus fragile étant la première réduite en poudre, il ne

reste sur le tamis que celle qui résiste davantage à l'action du pilon. Par ce moyen, on arrive aisément à débarrasser les minerais métalliques de la plus grande partie du quartz qui les accompagne et à diminuer d'autant la perte qu'ils éprouvent ensuite au lavage.

55. Lévigation. — La pulvérisation ordinaire, ainsi que la porphyrisation, ne donne pas toujours une poudre d'une ténuité suffisante. D'ailleurs les grains ne sont pas d'égale grosseur, alors même que la poussière a été tamisée; seulement, dans ce dernier cas, il n'y en a pas au-dessus d'un certain diamètre déterminé, qui dépend de la finesse du tissu. Plusieurs opérations chimiques exigent que la matière soit amenée au plus haut degré de division que l'on puisse atteindre; il faut alors soumettre la poudre obtenue à la *lévigation* pour en retirer les particules réellement impalpables et les séparer des grains plus grossiers.

Dans ce but, on délaye la poudre dans l'eau, en ayant soin de la bien diviser au moyen d'une spatule ou d'un agitateur, et, après avoir laissé le tout en repos pendant un certain temps, on décante le liquide avec précaution de manière à ne pas agiter le dépôt. Le liquide décanté ne retient ainsi que les particules les plus ténues, qu'on peut laisser déposer à leur tour ou recueillir sur un filtre. Quant au dépôt, on le délaye de nouveau, puis on décante encore, et l'on réitère cette opération jusqu'à ce qu'il ne contienne plus rien qui soit susceptible d'être tenu en suspension dans l'eau. Ordinairement la matière entraînée par l'eau contient encore une petite quantité de poussière grossière, dont on la débarrasse par de nouvelles lévignations. Finalement, on obtient ainsi une poussière qui est d'autant plus fine qu'elle

reste plus longtemps en suspension dans l'eau; celle qui ne se dépose qu'au bout de quelques heures doit être recueillie à part, car les particules qui la composent ont une ténuité qu'il est impossible de dépasser.

Suivant la quantité de matière, on effectue la lévigation dans un vase à précipités ou dans un verre à pied; l'eau trouble se décante, soit au moyen d'un siphon, soit en inclinant avec précaution le vase qui la renferme. Quelquefois la décantation se fait directement du mortier dans lequel on broie la substance avec de l'eau.

56. La lévigation n'a pas seulement pour objet de retirer les particules les plus ténues de la poudre d'une substance homogène, mais souvent aussi elle permet d'effectuer de véritables séparations mécaniques. Cela a lieu lorsque l'une des substances est beaucoup plus légère que les autres, ou bien qu'elle fait pâte avec l'eau et peut être alors amenée par ce liquide dans un état de division extrême. Ainsi, quand on délaye dans l'eau, après les avoir pulvérisés, les culots provenant d'un essai au chalumeau, le métal et les scories se déposent rapidement, tandis que le charbon qui les accompagne reste suspendu pendant quelque temps, et peut être séparé par décantation. La propriété dont jouissent les argiles de faire pâte avec l'eau et de s'y délayer est souvent mise à profit pour les éliminer des minerais et des autres substances qu'elles accompagnent fréquemment¹.

1. La lévigation ne peut être employée, comme moyen de séparation, qu'autant que l'on a affaire à un mélange composé de substances dont les unes peuvent rester longtemps en suspension dans l'eau, tandis que les autres s'y précipitent très-promptement. Il est d'ailleurs facile d'établir les cas pour lesquels on peut y avoir recours, si l'on examine les principes qui servent de base à cette opération.

On sait que les corps abandonnés à l'action de la pesanteur dans

On voit par-là que si l'on peut, sans inconvénient, recueillir et analyser les premières portions fournies par la lévigation, quand la substance est homogène, il n'en est plus ainsi quand elle est composée de matières hétérogènes, de dureté ou de densité inégales. Dans ce cas il est indispensable de soumettre à la lévigation toute la masse porphyrisée et d'en réunir ensuite toutes les portions.

Séparation mécanique des liquides d'avec les corps solides.

57. Ces opérations sont la base de l'analyse par voie humide. En effet, toutes les fois qu'il s'agit de déterminer divers principes constituants d'une matière complexe, les efforts du chimiste tendent à provoquer une métamorphose ou *réaction* qui soit susceptible d'engager l'un d'eux seulement dans une combinaison insoluble et de maintenir tous les autres en dissolution. Le problème se trouve alors ra-

un liquide tranquille, éprouvent, à leur chute, une résistance qui est proportionnelle à leur surface, quels que soient leur volume et leur densité. Il s'ensuit :

1° Qu'à volumes égaux, les plus lourds tombent le plus promptement;

2° Qu'à densités égales, ce sont les plus gros qui se meuvent avec le plus de vitesse; car dans les grains de grosseur inégale et de forme semblable, les poids sont proportionnels aux cubes des dimensions, et les surfaces sont proportionnelles seulement aux carrés de ces dimensions; d'où il résulte que dans les petits grains, la surface est beaucoup plus grande, par rapport aux poids, que dans les gros grains;

3° Qu'à densité et à volumes égaux, les particules qui offrent le plus de surface, celles qui sont écailleuses et lamelleuses, par exemple, éprouvent plus de résistance dans leur mouvement que celles qui, approchant de la forme sphérique, ont une surface moindre.

(M. BERTHIER, *Traité des essais par la voie sèche.*)

mené à isoler mécaniquement, mais avec exactitude, le liquide et le corps solide qui y est précipité ou en suspension. Ces sortes de séparations peuvent s'effectuer de deux manières, à savoir, par décantation ou par filtration.

58. **Décantation.** — La séparation d'un liquide par décantation directe n'est avantageuse qu'autant qu'il est en présence d'une substance solide, assez dense pour s'y déposer promptement; mais elle ne convient pas lorsqu'on a



Fig. 55.

affaire à des précipités floconneux qui restent longtemps en suspension et occupent un volume considérable. Dans ce

dernier cas, il vaut toujours mieux avoir recours au filtre, qui abrège l'opération et la rend plus exacte.

Lorsqu'on s'est assuré que le liquide à décanter est parfaitement limpide, et ne tient en suspension aucun corpuscule solide, on incline avec précaution le vase et l'on verse doucement le liquide en ayant soin d'en diriger le jet au moyen d'une baguette de verre préalablement mouillée (fig. 55). Il faut cesser de verser aussitôt qu'on s'aperçoit que le précipité tend à se soulever dans le liquide.

Il arrive quelquefois que les précipités sont si mobiles que le moindre mouvement imprimé au vase expose à en entraîner une partie. Quand il en est ainsi, on le laisse en repos et on décanse le liquide avec une pipette ou avec un siphon.

La plupart des travaux analytiques exigent que le précipité soit débarrassé des dernières traces de matière dissoute. Pour atteindre ce résultat, il faut, après avoir décanse la solution, verser de l'eau distillée sur le précipité, agiter, laisser déposer, puis décanse de nouveau. On réitère cette opération jusqu'à ce qu'une goutte du liquide, étant évaporée sur une lame de platine, n'y laisse plus de résidu. (V. *Anal. quant.*, n° 63, p. 99.)

59. **Filtration.** — Cette opération, qui se présente à chaque instant, est fondée sur la propriété que possède le papier non collé, dit papier Joseph, d'être perméable à l'eau, à l'alcool, aux dissolutions salines, aux acides, etc., et de retenir les substances solides, même quand elles sont dans un grand état de division. Le filtre fait donc l'office d'un véritable tamis, en ce sens que les pores du papier peuvent être facilement traversés par les liquides, tandis

qu'ils s'opposent au passage des matières solides qui s'y trouvent en suspension.

D'après cela on conçoit l'importance qu'il faut attacher au choix du papier destiné aux filtrations. Examiné par transparence, il ne doit présenter ni solution de continuité, ni inégalités d'épaisseur; il est également indispensable de s'assurer, par des essais directs, qu'il ne fournit rien aux diverses liqueurs qu'on veut y faire passer, qu'il n'est ni attaqué ni corrodé par elles, et que ses pores sont assez petits pour retenir les particules les plus ténues qui se trouvent en suspension dans un liquide. Tout papier qui filtre lentement doit être rejeté, car non-seulement il occasionne une perte de temps, mais il peut quelquefois compromettre le succès d'une opération. Le seul papier qui remplit à la fois toutes ces conditions, est celui que l'on fabrique en Suède d'après les indications de Berzelius. Le papier pour analyse fabriqué en France est également fort bon, mais il filtre sensiblement moins vite que le papier suédois. Le commerce livre également un papier gris, coupé en cercles de différentes grandeurs, qui filtre avec une extrême rapidité; il est d'un excellent usage pour la plupart des opérations chimiques; il peut même être employé en analyse quantitative, si l'on a soin de le laver préalablement à l'acide chlorhydrique. (V. *Anal. quant.*, n° 64, p. 104.)

60. Les filtres sont de deux espèces, suivant l'objet qu'ils doivent remplir. Toutes les fois que la substance tenue en suspension dans le liquide doit être conservée et débarrassée des matières dissoutes, il faut la recueillir sur un *filtre uni*, afin de pouvoir sans difficulté l'épuiser par des lavages. Mais si l'on a seulement en vue d'éliminer d'un

liquide les substances étrangères qui s'y trouvent en suspension et qui sont à rejeter, il est avantageux de se servir d'un *filtre à plis*, parce que la filtration est bien plus rapide. (V. *Anal. quant.*, n° 66, p. 107.)

Le filtre uni à la forme d'un cône régulier; pour le faire, on prend un carré de papier qu'on plie deux fois sur lui-même, parallèlement aux côtés, de manière à obtenir un carré quatre fois plus petit; les quatre coins ainsi superposés étant abattus suivant le quart d'une circonférence, on sépare une des trois épaisseurs du papier des trois autres, et l'on a ainsi une cavité en forme de cône régulier d'un angle de 60 degrés (fig. 56). Si les parois de l'entonnoir qui doit recevoir le filtre n'avaient pas cette inclinaison, il faudrait faire un nouveau pli partant du centre de manière à donner au filtre ouvert un angle égal à celui de l'entonnoir. Pour qu'un filtre uni s'applique exactement dans un entonnoir, il faut que l'angle de celui-ci soit les $\frac{2}{3}$ de l'angle du filtre fermé.

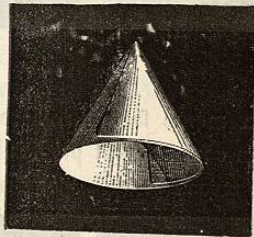


Fig. 56.

Les filtres à plis se font de la manière suivante: on choisit un carré de papier de grandeur convenable qu'on plie de façon à obtenir un carré quatre fois plus petit; ce filtre uni à demi déployé donne un rectangle dont un bord, formé par le premier pli, est divisé en deux parties égales, *oa* et *ob*, par le second. Il faut alors plier le papier appuyé sur une table, en amenant *oa* et *ob* d'abord sur *oc*; puis, *oa* sur *od*, et *ob* sur *oe*; enfin, *oa* sur *oe*, et *ob* sur *od*; de cette ma-

nière, le rectangle sera divisé en huit angles égaux par sept plis rayonnants du milieu du premier pli et tous saillants sur

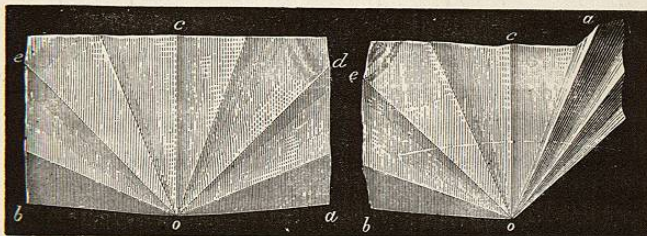


Fig. 57.

la même face du filtre (fig. 57)¹. Cela fait, on partage, en commençant par les bords, chacun des angles par un nouveau pli qui doit être saillant sur la face opposée; on

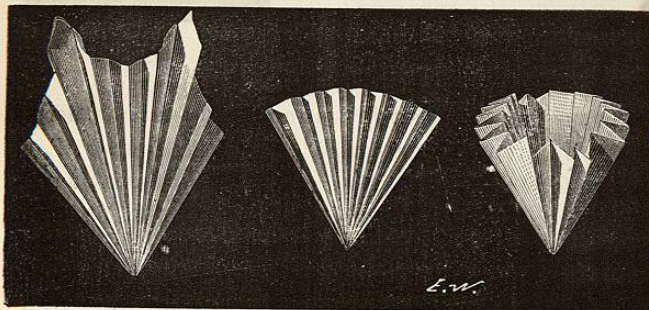


Fig. 58.

obtient ainsi une sorte d'éventail à bord anguleux (fig. 58) que l'on ferme pour pouvoir le régulariser d'un seul coup de ciseaux donné à une hauteur convenable. En séparant

1. Quand on veut faire un filtre à très-petits plis, on divise le rectangle en 16 angles saillants sur la même face.

les deux feuilles qui le composent, on voit que les plis sont alternativement saillants vers les deux faces du papier, sauf aux deux points opposés où sont les bords *oa* et *bb*; il suffit de partager chacun des deux angles correspondants par un nouveau pli, saillant en sens inverse de ceux qui les limitent, pour que le filtre soit terminé et reste ouvert comme l'indique la figure.

61. Les règles à observer dans les filtrations sont exposées avec détail dans le second volume de cet ouvrage (p. 106 et suiv.); on y trouvera également la description et l'usage des pipettes, des fioles, etc., employées pour laver les précipités. (V. *Anal. quant.*, n° 68, p. 113.)

IV

OPÉRATIONS PHYSIQUES.

62. Ces opérations comprennent la fusion, la dissolution, l'ébullition, la cristallisation, l'évaporation, la distillation et la sublimation : elles sont fondées sur le changement d'état des corps par l'intermédiaire de la chaleur. En analyse, elles ont essentiellement pour but de fournir le moyen de séparer exactement les substances fixes d'avec celles qui sont volatiles.

63. **Fusion.** — On fait souvent fondre une substance, soit pour la combiner avec une autre, et la rendre, par-là, attaquable par les dissolvants (voy. *DÉSAGRÉGATION*, n° 86, p. 86), soit pour en extraire un métal, ou pour séparer une combinaison métallique d'avec une matière pierreuse. On peut encore avoir pour but de rechercher si par la fusion une substance perd quelque chose de son poids, soit par sa volatilité propre, soit parce qu'il s'en sépare quel-