

pour la conduite à diamètre variable, on réalise, pour les trois premiers étages, une économie de 7 000 kilogs sur les 23 400 de la conduite à diamètre constant, soit environ 3 %.

D'après la formule (19), on aurait dû avoir 6 %, mais on remarquera que cette formule suppose l'emploi des épaisseurs données par les calculs théoriques, alors que ces épaisseurs sont plus grandes pour les premiers tronçons.

Pour la partie horizontale, l'économie de poids est de 17 800 kilogs sur 81 400, soit 22 %. Or, si l'on calcule la valeur du coefficient η_2 de la formule (24), on trouve :

$$\eta_2 = \frac{1}{5} \times \left(\frac{34}{2}\right)^{2/5} \times S_{29}^{33} \frac{1}{(r)^{2/5}}$$

$$\eta_2 = 0,2 \times 3,101 \times 1,269 = 0,78$$

On voit que pour cette partie de la conduite, la théorie correspond bien à la pratique.

L'économie aurait été encore plus grande avec des épaisseurs de tôles variant par demi-millimètre ; en effet, pour la conduite à diamètre variable, l'épaisseur varie avec la pression et le diamètre, tandis que pour la conduite à diamètre constant elle ne varie qu'avec la pression ; il s'en suit que, dans le premier cas, l'épaisseur varie plus vite que dans le second.

Pour réaliser pratiquement la variation du diamètre, on pourra raccorder entre eux deux tronçons en donnant, à la fin du premier ou au commencement du second, la forme d'un tronc de cône. On pourra encore décomposer chaque tronçon en divers anneaux dont le diamètre ira continuellement en décroissant, comme dans une longue-vue, de telle sorte que le diamètre moyen soit égal au diamètre théorique.

On pourra encore, dans quelques cas, augmenter l'économie en construisant en ciment armé les tronçons du commencement, qui ont un grand diamètre.

Traduit de l'italien par

H. BELLET,
Ingénieur E. C. L.

LA COLORIMÉTRIE

NOTES DE CHIMIE PRATIQUE

Fréquemment, le chimiste industriel, l'ingénieur même, ont à faire des dosages chimiques de composés très divers. Cette nécessité s'impose à peu près à toutes les industries : matières colorantes, teinturerie, matériaux de construction, métallurgie, mines, explosifs, papeterie, doivent appeler à leur aide, peu ou prou, la dosimétrie chimique.

Les dosages ou les titrages industriels, sans demander le plus souvent une exactitude extrême, exigent cependant une précision suffisante pour servir d'appui, tant à des essais rationnels qu'à une marche régulière de fabrication.

Si la méthode de dosage par pesées reste sans conteste le type des méthodes exactes, son application demande des soins méticuleux, un matériel spécial important, souvent compliqué et coûteux, en même temps qu'un courant d'habitude qui ne peut être, que par exception, le fait de l'ingénieur accablé d'ordinaire par une multitude d'occupations diverses.

Devant ces difficultés, le dosage utile, et très souvent indis-

pensable, reste en route, au grand profit de la routine et de l'empirisme

Il serait désirable, pour le plus grand progrès de l'industrie, que des procédés plus simples que la méthode de dosages par pesées, mais cependant suffisamment précis, pussent être utilisés couramment par l'ingénieur dans l'analyse et l'essai des matériaux qu'il doit mettre en œuvre.

De tels procédés existent, mais épars dans les traités et dans les notes des travailleurs ; à notre connaissance, ils n'ont pas encore été codifiés (1). Aussi, nous sommes-nous proposé de signaler, dans cet article, un de ces procédés, trop peu connu peut-être, bien qu'il soit susceptible de recevoir un nombre incalculable d'applications dans la pratique courante de la chimie industrielle : nous voulons parler de la *méthode colorimétrique de dosage*.

MÉTHODE COLORIMÉTRIQUE

Nous aurons fait entrevoir les avantages de cette méthode, quand nous aurons signalé son extrême simplicité et montré qu'elle n'exige ni appareils compliqués, ni laboratoire coûteux, ni grandes connaissances techniques spéciales, ni grande dépense de temps, tout en étant susceptible d'une très honorable précision

Le moindre chimiste, avec un minimum de matériel pourra, avec un peu de jugement et de réflexion, en trouver de précieuses applications dans les cas les plus courants et les plus variés.

Toutefois, loin de nous l'idée de vouloir faire un traité *ex professo!* Notre but, plus modeste, n'est que, cédant à la prière d'un ami qui a pu apprécier la valeur du procédé, de rassembler, pour en faire part à tous ceux qui peuvent se trouver en pareille occurrence, quelques notions générales sur une méthode de dosage, vraiment précieuse par sa simplicité et sa précision.

Principe de la Méthode Colorimétrique. — *Étant donnée une substance chimique de nature connue (2), colorée, dissoute en proportion inconnue dans un liquide incolore, on peut évaluer la teneur de cette dissolution en comparant son intensité de coloration à celle d'une solution type, titrée, de la même substance, dans le même dissolvant.*

Comme on le voit, la méthode est essentiellement comparative, ce qui est un gage de sa précision. Nous ferons voir, par la suite, qu'elle a d'autres avantages, entre autres une très grande sensibilité.

Conditions de l'emploi de la méthode colorimétrique.

Pour que la *méthode colorimétrique* soit applicable il faut et il suffit :

1° *Que la substance à doser soit naturellement colorée, de telle façon que la coloration de la dissolution puisse être d'intensité proportionnelle à sa teneur,*

2° *Que la substance à doser soit la seule cause de la coloration;*

3° *Que ni le dissolvant, ni les autres matières qu'il peut contenir, ne puissent avoir d'action chimique ou chromatique sur cette substance.*

Il sera en outre indispensable, cela va sans dire, d'opérer toujours sur des liqueurs très limpides.

Or, des substances répondant à ces diverses conditions se

(1) Nous n'avons garde d'oublier, en parlant ainsi, les procédés de dosage volumétrique dont les services ne sont plus à compter, mais dont le champ d'application diffère quelque peu de celui de la méthode que nous nous proposons de vulgariser.

(2) Nous supposons, implicitement, que l'essai qualitatif et la séparation des matières ont précédé l'essai quantitatif colorimétrique. Cependant, dans beaucoup de cas, cette séparation peut être superflue, si les corps étrangers sont incapables d'influer sur la réaction chromatique. C'est à l'opérateur de savoir faire fléchir la règle générale avec opportunité, selon les circonstances où il se trouve, sans compromettre la valeur du résultat.

rencontrent à chaque instant dans le monde chimique. Il est donc on ne peut plus expédient de mettre à profit ces précieuses propriétés

Pratiquement, les cas où la *Colorimétrie* est applicable peuvent se classer comme suit :

1° Dosage d'une substance chimique naturellement colorée;
2° Dosage d'une substance chimique incolore, mais transformée en une autre substance colorée, à l'aide d'un réactif approprié et lui-même incolore;

3° Dosage d'une substance chimique incolore, mais précipitée de sa dissolution par un réactif coloré, en solution titrée, dont l'excès est, après filtration, dosé par la colorimétrie;

4° Dosage d'une substance chimique incolore, mais précipitée par un réactif incolore, employé en solution titrée; l'excès de réactif ajouté est lui-même titré colorimétriquement, soit comme dans le 2°, soit comme dans le 3° cas.

Ce 4° cas est déjà un peu compliqué. Nous pensons qu'il est inutile d'allonger la liste sur la même voie, de crainte de sortir du domaine des applications simples dans lequel nous voulons nous cantonner. Mais le lecteur comprendra qu'avec une marche judicieuse, des dosages difficiles puissent être effectués même à l'aide de cette méthode, par un emploi rationnel des réactifs incolores et colorés, en solutions titrées.

PROCÉDÉS GÉNÉRAUX DE LA COLORIMÉTRIE

Nous nous bornerons à en décrire deux, parmi les plus simples.

I. — Procédé des tubes. — On disposera d'une série suffisante de tubes cylindriques fermés à un bout, de dimensions identiques, d'une longueur de 30 à 40 centimètres et portant tous, à leur partie supérieure, un trait de jauge à la même hauteur au-dessus du fond. Dans de telles conditions, si l'on remplit tous les tubes jusqu'aux traits de jauge, d'un liquide quelconque, on aura dans tous des colonnes de liquide de même hauteur, ce qui est d'importance capitale.

A la rigueur, pour des dosages ne demandant pas une extrême précision, on pourra se servir des plus longs tubes à essais livrés par le commerce, dont la longueur est de 15 à 20 centimètres environ.

Soit à évaluer la teneur $\frac{S}{100}$ d'une solution d'une substance chimique, de nature connue (Solution S).

1° Faire une *solution type* de la même substance, dans le même dissolvant, et dont le titre $\frac{n}{100}$ soit tel que sa coloration soit d'intensité très faible (Solution T).

La pratique montre, en effet, qu'il est toujours très avantageux d'opérer sur des colorations de très faible intensité, et cela d'autant plus qu'on dispose de tubes plus longs.

[Notons ici, pour être précis, que nous entendons par *titre d'une solution*: le rapport du poids S, de la matière exprimée en grammes, à 100 unités en volume de la dissolution. Cette définition est indispensable pour rendre le procédé que nous décrivons applicable aux dissolvants de toutes densités].

2° Faire ensuite des dilutions séparées de la solution S, en suivant une progression choisie selon les circonstances, de manière qu'elle soit par rapport à sa teneur primitive diluée par exemple à : 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, etc., et de telle sorte que l'intensité de coloration de la solution type T soit sûrement intercalable dans la gamme de ces colorations.

Pratiquement, on doit s'efforcer d'obtenir au plus vite, dans ces dilutions, des teintes d'intensités voisines de celle de la solution type. Par conséquent, si l'on avait affaire à une solution S très colorée, on devrait débiter en étendant grandement cette solution primitive. C'est de cette première dilution, considérée comme la *fondamentale*, qu'il conviendrait de partir pour échelonner la gamme des dilutions.

On gagne ainsi du temps et l'on évite l'encombrement de sa table de travail.

3° Ayant rempli un des tubes (jusqu'au trait de jauge) de la solution type T (fig. 2), on loge dans les autres tubes la série des dilutions choisies de la solution S : soit, par exemple, les dilutions au 1/4, au 1/5, au 1/6, au 1/7, au 1/8 et au 1/9. Ce choix aura été fait comme il a été dit précédemment.

Les titres de ces diverses dilutions sont évidemment :

$$\frac{S}{400} \quad \frac{S}{500} \quad \frac{S}{600} \quad \frac{S}{700} \quad \frac{S}{800} \quad \frac{S}{900}$$

4° Disposer ces derniers tubes sur un support ordinaire de tubes à essais, garni, à la face supérieure de sa base, d'une feuille de papier blanc (fig. 1).

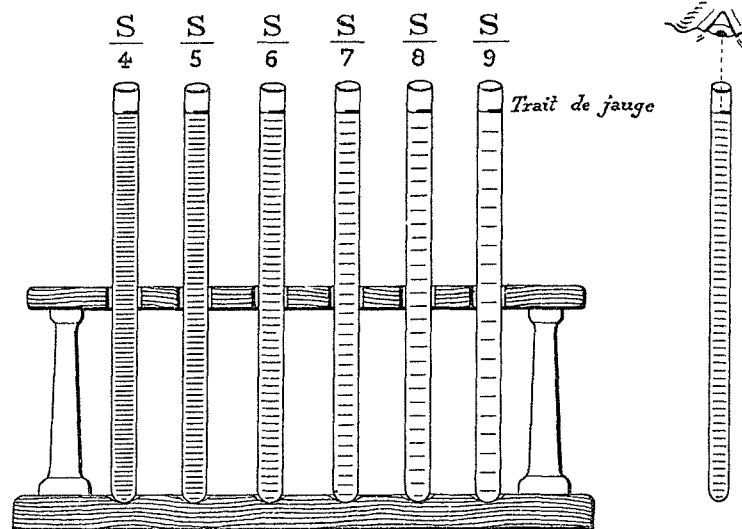


Fig. 1

Fig. 2

5° Approcher le tube de solution type, successivement à côté de chacun des tubes contenant les dilutions; et, l'œil étant placé comme l'indique la figure 2, comparer chaque fois les colorations des deux tubes rapprochés, en regardant de haut en bas, selon la plus grande épaisseur du liquide.

— Il est rare que l'on trouve dans la gamme un tube offrant une coloration exactement semblable à celle de la solution type.

Généralement ce tube de solution type se trouve intercalé entre deux des tubes de la série des dilutions.

Soit, par exemple, $\frac{S}{6}$ et $\frac{S}{7}$ les deux dilutions qui encadrent ce tube. Leurs titres sont évidemment :

$$\frac{S}{600} \quad \text{et} \quad \frac{S}{700}$$

et l'on écrit :

$$\frac{S}{700} < \frac{n}{100} < \frac{S}{600}$$

Si donc on admet que le tube type soit de titre rigoureusement égal au titre de la solution non réalisée et qui serait moyenne entre les deux solutions extrêmes, on pourra écrire :

$$\frac{S}{\left(\frac{600 + 700}{2}\right)} = \frac{n}{100}$$

d'où on tirera :

$$\frac{S}{100} = 6,5 \frac{n}{100}$$

et ce résultat sera acquis avec une approximation moindre que

$$\frac{1}{2} \left(\frac{S}{600} - \frac{S}{700} \right) = \frac{S}{2} \left(\frac{100}{600 \times 700} \right) = \frac{1}{84} \cdot \frac{S}{100}$$

or $\frac{I}{84} = \frac{I, I}{100}$, donc l'approximation du procédé nous donne le titre à environ $\frac{I}{100}$ de sa valeur (1).

Il est clair que si on employait une gamme de tubes contenant des dilutions moins différentes entre elles que celles-ci, on pourrait pousser l'approximation encore plus loin.

— Dans le cas où le tube de solution type se trouve exactement pareil à un tube de dilution, la mesure est faite immédiatement. Si la parité existe avec le tube 6, par exemple, on a :

$$\frac{S}{600} = \frac{n}{100}$$

— L'opérateur se trouve, dès lors, dans la possibilité d'effectuer un dosage rationnel et dont le résultat offrira l'approximation exigée.

— Si, à l'aide du procédé qui vient d'être décrit, l'opérateur avait à effectuer un dosage ne demandant pas une très grande précision, et s'il ne disposait que de deux tubes, il pourrait se contenter d'amener, par tâtonnements successifs, la solution S à une dilution dont la coloration serait très voisine de celle de la solution type, l'évaluation étant faite par comparaison, à l'aide des 2 tubes.

Si $\frac{I}{m}$ est l'indice de la dilution offrant cette égalité de coloration, on aurait dans ce cas comme plus haut :

$$\frac{S}{100 m} = \frac{n}{100} \quad \text{d'où :} \quad \frac{S}{100} = \frac{m n}{100}$$

II. — Colorimètre simplifié. — Le petit appareil que nous allons décrire est dû à M. Labattut, professeur à l'École de Pharmacie de Grenoble, à qui on est redevable de très ingénieux procédés colorimétriques.

Deux longs tubes, t et t' , semblables à ceux dont nous avons parlé plus haut, sont rendus solidaires à l'aide d'un lien quelconque (un gros bouchon, percé de 2 trous, convient très bien), et ils font entre eux un angle de faible ouverture (fig. 3).

Le tube t' porte à sa partie supérieure un trait de jauge, dont la distance d au fond du tube est connue et notée une fois pour toutes. Ce tube recevra, comme il est expliqué plus loin, une dilution convenablement étendue de la solution S dont la teneur est à rechercher.

Une éprouvette à pied E suffisamment haute porte, à partir du niveau de son fond intérieur, une graduation verticale en centimètres et en millimètres (facilement réalisée par une bandelette de papier divisée et collée sur la surface extérieure de l'éprouvette).

Cette éprouvette recevra la solution type de titre $\frac{n}{100}$

Ceci posé, pour évaluer la teneur de la solution S, on procédera de la façon suivante :

Diluer d'un coup cette solution, de telle sorte que son intensité de coloration soit sûrement moindre que celle de la solution type T.

Puis verser dans l'éprouvette la solution T, et dans le tube t' une quantité de la solution S diluée, le remplissant jusqu'au trait de jauge.

Introduire ensuite le tube t , resté vide, dans le liquide de l'éprouvette et l'y enfoncer jusqu'à ce que les colorations paraissent identiques dans l'un et l'autre tube, l'œil étant placé à la partie supérieure de l'appareil, comme le montre la figure 3.

(1) N. D. L. R. — Un moyen très simple d'avoir le titre exact de la solution consiste à ajouter à la plus foncée des deux solutions étalon un certain nombre de gouttes du liquide incolore dissolvant jusqu'à ce qu'on ait obtenu la coloration exacte du tube dont on cherche le titre. Connaissant, ce qui est facile, le volume des gouttes ajoutées, on en déduit le titre exact de la solution étalon ainsi modifiée, et par conséquent celui du tube à titrer.

A ce moment (si l'on appelle l la distance du fond du tube t au fond de l'éprouvette (1), et $\frac{s}{100}$ le titre de la dilution de S versée dans le tube t'), les titres des deux liquides mis en comparaison $\frac{s}{100}$ et $\frac{n}{100}$ sont inversement proportionnels aux épaisseurs de liquide (d et l) qui ont été traversées par le rayon visuel (2).

On peut donc écrire :
$$\frac{s}{100} = \frac{n}{d}$$

d'où nous tirons :
$$\frac{s}{100} = \frac{l}{d} \frac{n}{100}$$

Et si la dilution employée était, par exemple, au $1/20^e$ on aurait :

$$\left(\frac{S}{20}\right) = \frac{l}{d} \frac{n}{100} \quad \text{ou} \quad \frac{S}{100} = 20 \times \frac{l}{d} \frac{n}{100}$$

équation qui résoud le problème.

Il serait aisé de voir que, toutes choses égales d'ailleurs, la précision de ce procédé est d'autant plus grande que d est plus grand et que la solution S a été plus fortement diluée dès le début.

APPLICATIONS DE LA MÉTHODE

Il nous reste à donner quelques exemples pratiques de la méthode colorimétrique. Nous nous bornerons à un seul exemple de chacune des catégories, entre lesquelles nous avons classé les dosages chimiques, à ce point de vue spécial.

I. — Dosage d'une substance chimique naturellement colorée.

— Exemple : Dosage de l'indigo. —

Soit un liquide contenant de l'indigo. Le traiter par le chloroforme, à plusieurs reprises, agitant fortement et laissant déposer chaque fois le chloroforme coloré en bleu par l'indigo. A chaque reprise, et après repos, recueillir à l'aide d'une pipette le liquide coloré. S'arrêter lorsqu'une nouvelle quantité de chloroforme ajoutée n'est plus colorée après agitation.

Rassembler toutes les liqueurs colorées, ce qui formera la solution S, à titrer.

Nous formerons la solution type en dissolvant dans le chloroforme, une quantité déterminée d'indigotine pure, soit par exemple 0 gr. 001 par litre.

Une marche semblable permettra de titrer toutes les matières colorantes, naturelles ou artificielles, préalablement dégagées par un procédé approprié, et mises en solution dans un dissolvant convenable.

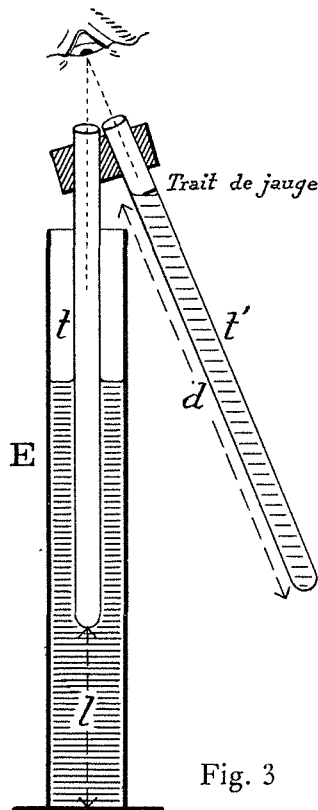


Fig. 3

(1) Cette distance l sera lue sur la bandelette divisée de l'éprouvette.

(2) La démonstration de cette proposition, que nous omettons ici pour éviter les longueurs, serait facile à établir rigoureusement, en s'appuyant sur les deux postulata suivants presque évidents par eux-mêmes :

a) Les intensités de coloration de diverses dilutions d'un corps coloré sont proportionnelles aux titres ou teneurs de ces dilutions.
b) Les intensités de coloration sont proportionnelles aux épaisseurs sous lesquelles sont vus les liquides colorés.

II. — Dosage d'une substance chimique incolore (ou très peu colorée) mais colorée par un réactif incolore. —

Dans ce cas, le réactif employé devra être très sensible, de sorte qu'à une très faible teneur en substance à doser corresponde encore une notable coloration.

Il faudra vérifier avec soin qu'on a mis un léger excès de réactif et que, par conséquent, toute la substance dissoute aura été transformée.

Il est d'ailleurs, de la plus grande importance que le réactif choisi soit tel qu'un excès ne puisse modifier la coloration tout d'abord obtenue.

Exemple : Dosage du Fer. — Soit, par exemple, à titrer le fer dans un ciment.

Traiter 5 grammes de ciment par un léger excès d'acide nitrique. Evaporer à sec (pour insolubiliser la silice) et reprendre par de l'eau distillée. Au liquide filtré, ajouter un peu d'acétate d'ammoniaque (pour empêcher la précipitation de la magnésie), puis verser un très léger excès d'ammoniaque qui précipite tout le fer, et l'alumine. (La présence de cette dernière ne gênera en rien dans les opérations suivantes).

Le précipité, recueilli sur un filtre, est redissous par Q. S. d'acide nitrique dilué, sans grand excès.

Laver le filtre avec environ 500 à 600 cc. d'eau distillée et neutraliser exactement la liqueur à l'aide de quelques gouttes de soude faible.

Cela fait, ajouter à la liqueur du *sulfocyanure de potassium*, en léger excès, ce qui transforme tout le fer de la solution en sulfocyanure ferrique d'une magnifique coloration rouge sang. On pourra employer la solution de sulfocyanure de potassium à 5 % et en verser environ 10 à 12 centimètres cubes.

— Pour s'assurer qu'on a bien mis un excès de réactif, voici le procédé général que l'on peut adopter :

Prélever, dans deux tubes à essai de mêmes dimensions, une certaine quantité de la liqueur colorée, étendue suffisamment pour qu'elle ne présente plus qu'une assez faible coloration. Verser dans l'un des tubes une petite quantité de réactif. Si après cette addition la coloration de ce tube est plus intense que celle de l'autre tube, c'est qu'on avait versé dans la liqueur primitive une quantité insuffisante de réactif. Dans ce cas, en ajouter une nouvelle portion et recommencer cette petite vérification jusqu'à ce que le résultat soit atteint. Toutes ces opérations, très simples d'ailleurs, sont plus longues à expliquer qu'à exécuter.

— Dans beaucoup de cas, on pourra se servir, pour déceler un excès de réactif colorant, d'une réaction limite convenablement choisie. On ne peut évidemment donner en ce sens, de règle générale, car le réactif indicateur opportun variera avec l'espèce de réaction qui sera mise en jeu. Remarquons seulement que pour apprécier l'effet de l'indicateur il vaudra toujours mieux prélever quelques gouttes de la liqueur que de le faire agir en le mêlant à la totalité de cette liqueur : cette dernière façon de procéder pourrait fréquemment présenter des inconvénients, parmi lesquels une dénaturation de la limpidité ou de la coloration de la liqueur à titrer.

— Après s'être ainsi assuré que tout le fer a été converti en sulfocyanure ferrique, amener le volume de la solution à 1 litre, en ajoutant Q. S. d'eau distillée. Puis titrer, comme il a été dit, la solution ainsi obtenue en la comparant à une solution type qu'on pourra préparer, par exemple, de la façon suivante :

Faire dissoudre 0 gr. 10 de fer limé pur dans Q. S. d'acide nitrique dilué. Porter à l'ébullition pour avoir le sel sûrement à l'état ferrique. Etendre d'un peu d'eau, neutraliser avec la soude faible. Verser un excès de sulfocyanure de potassium et compléter le volume d'un litre.

Nous aurons, dès lors, tous les éléments nécessaires pour doser le fer de la solution primitive, par l'un ou l'autre des deux procédés que nous avons précédemment décrits.

Dans ce deuxième cas, entrent aussi les dosages ci-dessous :
CUIVRE. — Traité par l'ammoniaque. — Coloration bleue.
OR. — Traité par le ferrocyanure de K. — Coloration vert-émeraude.

AMMONIAQUE. — Traité par le réactif de Nessler. — Coloration rouge.

NICKEL. — Traité par l'ammoniaque ou le carbonate d'ammoniaque en excès. — Coloration verte.

COBALT. — Traité par l'ammoniaque en excès. — Coloration acajou.

ACIDE PHÉNIQUE. — Traité par les persels de fer. — Coloration violette.

ACIDE SALICYLIQUE. — Traité par les persels de fer. — Coloration violette.

ACIDE NITRIQUE. — Traité par l'acide sulfophénique, puis par l'ammoniaque. — Coloration jaune de picrate d'ammoniaque.

ACIDE ACÉTYLACÉTIQUE (dans les urines). — Traité par le perchlorure de fer. — Coloration rouge.

INDICAN (dans les urines). — Traité par le réactif d'Obermayer ($\text{Fe}^2 \text{Cl}^6 \text{ ds/HCl}$). — Coloration bleue par formation d'indigo.

Etc., etc.

III. — Dosage d'une substance chimique incolore précipitée de sa dissolution par un réactif coloré. —

Dans ce cas la fin de la réaction est suffisamment indiquée, généralement, par la coloration de la liqueur surnageant le précipité. Toutefois, dans les cas douteux, il sera toujours loisible de prélever une petite quantité de liqueur surnageante, et de vérifier si elle ne précipite plus par une petite quantité de réactif.

Exemple : Dosage de l'Argent. — L'argent étant à l'état de sel soluble, le précipiter de sa dissolution par une solution titrée (selon le cas : normale ou décinormale) de chromate jaune de potasse et verser un excès de réactif.

Filtrer, pour séparer le précipité. Laver ce dernier sur le filtre. Recueillir toutes les liqueurs et les amener à un volume déterminé.

Titrer colorimétriquement, dans cette solution, le chromate de potasse versé en excès, en comparant sa coloration à celle d'une solution type du même sel. Retrancher cette quantité trouvée de chromate de potasse, de la quantité totale introduite dans la liqueur argentique. La différence correspond au chromate d'argent précipité, dont on peut ainsi évaluer le poids et, par lui, le poids d'argent cherché.

Un pareil procédé est applicable aux dosages suivants :

PLOMB. — Traité par le chromate de potasse.

BISMUTH. — Traité par le chromate de potasse.

BARYUM. — Traité par le bichromate de potasse ou par le bromate de potassium et ammonium.

ACIDE ARSÉNIEUX. — Traité par le sulfate de cuivre (l'excès de sulfate de Cu versé est, après filtration, traité par l'ammoniaque, ce qui exagère sa coloration).

SUCRE RÉDUCTEUR. — Traité par la liqueur cupro-potassique.

NOTA. — Dans un certain nombre de cas de cette catégorie, le réactif employé ne produit pas forcément un précipité avec le corps à doser, mais ce dernier détruit la coloration du réactif, dans la proportion même où il se trouve dans la solution. Cela ne change évidemment rien au procédé.

Telle est, généralement, l'action des corps réducteurs sur le permanganate de potasse. Lorsque l'action réductrice est opérée, on titre colorimétriquement le permanganate de potasse non décomposé.

De même seront dosés :

LES NITRATES, par leur action décolorante sur l'indigo.

Etc., etc.

IV. — Substance chimique précipitée par un réactif incolore, dosé lui-même à l'aide d'un second réactif coloré. — Exemple : Dosage d'un Chlorure. — Soit à titrer une

solution de chlorure de sodium. Verser un excès de solution d'azotate d'argent titrée. Filtrer et laver le précipité sur le filtre.

Les liqueurs réunies, contenant l'excès d'azotate d'argent, sont titrées colorimétriquement, comme il a été indiqué au 3^e cas.

De la quantité totale d'azotate d'argent versée, on retranche cet excès : la différence correspond au chlorure d'argent précipité.

Un simple calcul chimique déterminera la quantité de chlorure de sodium qui existait dans la solution.

On pourra titrer par un procédé semblable les sulfates, à l'aide du chlorure de baryum, en liqueur neutre (1). L'excès de réactif versé sera titré en le précipitant par un réactif coloré (Bromate de potassium et d'ammonium ou bichromate de potasse), comme ci-dessus.

NOTA. — Il peut arriver que, pour titrer l'excès de réactif versé dans la solution primitive, il soit possible d'utiliser un réactif auxiliaire qui, au lieu de précipiter l'excès du premier, le transforme en un produit coloré. On retombe alors dans le deuxième cas, et la manipulation en est simplifiée d'autant.

CONCLUSION

Il est facile de concevoir, par ce simple aperçu, quels services peut rendre la *méthode colorimétrique* dans la chimie industrielle.

De très remarquables travaux ont été faits sur la question par plusieurs savants. Mais il reste à mettre cette précieuse méthode à la portée des essais journaliers de l'ingénieur.

Il serait certainement possible d'en obtenir une application raisonnée à presque tous les dosages qui sont à effectuer dans les laboratoires industriels. Le nombre des réactions colorées des divers corps chimiques ne manque certainement pas pour cela. Il suffirait d'en rassembler un choix convenable pour les cas variés qui se présentent dans la pratique.

Nous osons espérer qu'un pareil travail sera entrepris dans un avenir prochain et nous serions heureux d'avoir contribué, si peu que ce soit, à préparer ce progrès de demain.

P. MOUNIER,
Chimiste.

Sur l'étude graphique des Moteurs à courant continu

Nous interrompons, pour ce numéro, la publication en cours du travail de notre collaborateur M. BETHENOD, afin de donner sans plus de retard, l'intéressante étude suivante du même auteur, de toute actualité, et dont il a d'ailleurs fait des applications qu'on retrouvera dans la suite de ses articles sur le freinage électrique.

Lorsque l'on a déterminé, à une certaine vitesse constante n_0 , la courbe d'excitation OM (fig. 1) d'un moteur en série, l'on peut par une construction graphique bien connue, que nous rappellerons brièvement, connaître les courbes de fonctionnement du moteur.

Prenons une ordonnée OE égale à la tension U d'alimentation supposée constante, et portons sur l'axe des I une longueur $OB = \frac{U}{R} = I_0$, R étant la résistance totale du circuit ; I_0 est le courant de démarrage correspondant à la résistance R. Pour chaque valeur OH du courant I, la longueur $HK = U - RI$ pourra représenter la force contre-électromotrice

du moteur correspondant à ce régime ; par suite, les forces électromotrices étant proportionnelles aux vitesses, pour un flux inducteur donné, la vitesse n sera donnée par le rapport :

$$\frac{n}{n_0} = \frac{HK}{HM} \quad \text{d'où :} \quad n = n_0 \times \frac{HK}{HM} \quad (1)$$

Quant au couple brut, il est proportionnel au produit du courant I par le flux inducteur, c'est-à-dire à la surface du triangle rectangle OMH.

La représentation précédente de la vitesse par le rapport de deux lignes HK et HM a l'inconvénient de ne pas permettre l'emploi commode de cette vitesse même comme variable ; de plus, on n'obtient pas ainsi une lecture directe sur l'épure des quantités cherchées.

Dans ce qui suit, nous nous proposons de montrer com-

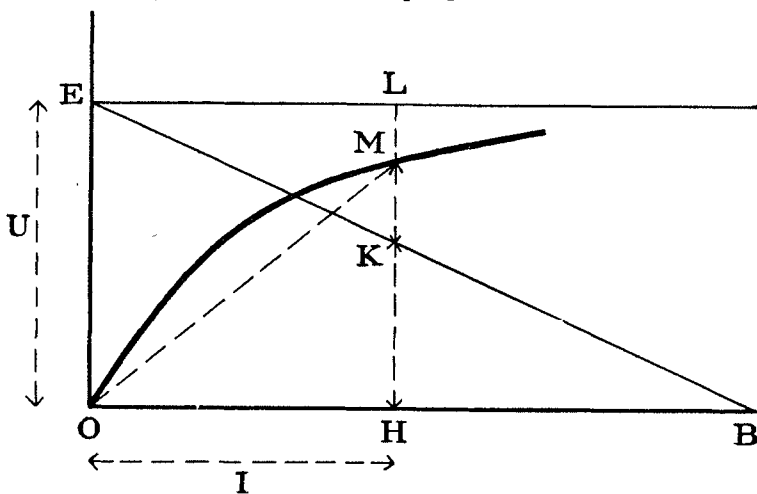


Fig. 1.

ment les représentations de la vitesse et du couple peuvent être mises très facilement sous forme linéaire, comme pour les épures circulaires de moteurs à courants alternatifs par exemple.

Représentation linéaire de la vitesse. — Remarquons que les triangles semblables OBE, HBK donnent la proportion :

$$\frac{HK}{OE} = \frac{HB}{OB}$$

d'où : $HK = \frac{OE}{OB} \times HB = \frac{U}{I_0} \times HB = R \times HB$

Si l'on remplace HK par cette valeur dans l'égalité (1), il vient :

$$n = n_0 \times \frac{R \times HB}{HM} \quad (2)$$

$$= \frac{HB}{HM} \times \text{constante} \quad (3)$$

Si l'on mène alors une droite AV (fig. 2), parallèle à l'axe OB à une distance quelconque AB, le segment AS, déterminé en prenant le point S d'intersection de BM avec AV, sera proportionnel à la vitesse n et pourra servir à la représenter. L'on a, en effet, la proportion :

$$\frac{SA}{HB} = \frac{AB}{HM} \quad \text{d'où :} \quad SA = AB \times \frac{HB}{HM}$$

et en comparant avec l'égalité (2), l'on obtient finalement :

$$SA = \frac{AB}{n_0 R} \times n = \text{constante} \times n \quad (4)$$

(1) La présence d'un acide fort empêchant la précipitation du bichromate de baryum.