

Section de l'Ingénieur

D. SIDERSKY

CONSTANTES

PHYSICO-CHIMIQUES

GAUTHIER-VILLARS ET FILS

MASSON ET C^o

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section de l'Ingénieur

MM.	MM.	MM.
Alain-Abadie.	Garnier.	Margerie.
Alheilig.	Gassaud.	Meyer (Ernest).
Ariès (Comm ^t).	Gastine.	Michel-Lévy.
Armengaud jeune.	Gautier (Henri).	Minel (P.).
Arnaud.	Godard.	Minet (Ad.).
Barillot.	Gouilly.	Miron.
Bassot (C ^l).	Grimaux.	Moëssard (C ^l).
Baume-Pluvinel(dela).	Grouvelle (Jules).	Moissan.
Bérard (A.).	Guenez.	Moissenet.
Bergeron (J.).	Guye (C. Eug.).	Monnier.
Berthelot.	Guye (Ph.-A.).	Moreau (Aug.).
Bertin.	Guillaume (Ch.-Ed.).	Müller.
Bertrand (L.)	Guyou (Comm ^t).	Niewenglowski (E. II.).
Biglia.	Hatt.	Naudin (Laurent).
Billy (Ed. de).	Hébert.	Ocagne (d').
Bloch (Fr.).	Hennebert (C ^l).	Ouvrard.
Blondel.	Henriet.	Perrin.
Boire (Em.).	Hérisson.	Perrotin.
Bordet.	Hospitalier (E.).	Picou (R.-V.).
Bornecque.	Hubert (H.).	Poulet (J.).
Boucheron (H.).	Hutin.	Prud'homme.
Bourlet.	Jacométy.	Rateau.
Boursault (H.)	Jacquet (Louis).	Resal (J.).
Boussac (A.)	Jaubert.	Ricaud.
Candlot.	Jean (Ferdinand).	Rocques (X.).
Caspari.	Launay (de).	Rocques-Desvallées.
Charpy (G.).	Laurent (H.).	Rouché.
Clugnet.	Laurent (P.).	Sarrau.
Croneau.	Laurent (Th.).	Sauvage.
Damour.	Lavergne (Gérard).	Schloësing fils (Th.).
Dariès.	Léauté (H.).	Schützenberger.
Deforges.	Le Chatelier (H.).	Seguela.
Delafond.	Lecornu.	Seyrig (T.).
Drzewiecki.	Lecomte.	Sidersky.
Dudebout.	Lefèvre (J.).	Sinigaglia.
Dufour.	Leloutre.	Sorel (E.).
Dumont.	Lenicque.	Trillat.
Duquesnay.	Le Verrier.	Urbain.
Durin.	Lindet (L.).	Vallier (Comm ^t).
Dwelshauvers-Dery.	Lippmann (G.).	Vermard.
Fabre (Ch.).	Loppé.	Viaris (de).
Fabry.	Lumière (A.).	Vignerón.
Fourment.	Lumière (L.).	Vivet (L.).
Fribourg (C ^l).	Madamet (A.).	Wallon (E.).
Frouin.	Magnier de la Source.	Widmann.
Gages (Cap.)	Marchena (de).	Witz (Aimé).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉ

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

SIDERSKY — Les Constantes Physico-Chimiques 1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire; F. Lafargue, ancien
élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général,
169, boulevard Malesherbes, Paris.*

N° 203 B.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

LES CONSTANTES
PHYSICO-CIMIQUES

PAR

D. SIDERSKY

Ingénieur-Chimiste



PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

IMPRIMEURS ÉDITEURS

Quai des Grands-Augustins, 55

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS,

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

Tous droits réservés)

*OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE*

- I. Polarisation et Saccharimétrie.**
- II. Les Constantes physico-chimiques.**

PRÉFACE

L'accueil favorable qui fut réservé à mon livre *Polarisation et Saccharimétrie* m'encourage à traiter d'une façon identique les autres constantes physico-chimiques dont l'application pratique aux essais techniques tend à se généraliser. Il s'agit de la *Densité*, du *Change-ment d'état physique*, de la *Viscosité*, de la *Capillarité*, des *Indices de réfraction*, de la *Calorimétrie*, et de la *Photométrie*. Pour chacune de ces constantes, j'ai décrit sommairement les procédés les plus exacts et les plus convenables à employer pour effectuer ces mesures, et j'ai réuni dans des tableaux numériques les résultats d'observations faites sur les substances les plus variées.

Dans la description des méthodes d'expérimentation, j'ai choisi de préférence celles qui ont quitté le cabinet du physicien pour pénétrer dans les laboratoires de recherches industrielles et dont quelques-unes sont inédites, et j'y ai ajouté quelques renseignements sur l'application

de ces méthodes à la mesure des poids moléculaires, question présentant toujours le double intérêt théorique et pratique.

Dans la rédaction des tableaux numériques, je me suis efforcé de puiser aux sources les plus autorisées, et de rendre ces documents aussi complets que le permettent nos connaissances actuelles et le cadre restreint d'un aide-mémoire. Chacun de ces tableaux porte le nom du savant qui l'a rédigé et, autant que possible, les noms des divers observateurs y sont mentionnés. J'ai rédigé moi-même quelques-uns de ces tableaux, notamment ceux relatifs aux indices de réfraction des huiles essentielles et des matières grasses, aux combustibles, etc.

J'estime que la connaissance de ces documents numériques facilitera dans une certaine mesure les recherches basées sur les mesures physico-chimiques, tels que les indices de réfraction, la puissance calorifique, les coefficients de viscosité, etc., dont l'application aux essais industriels, bien que de date récente, est appelée à prendre une grande extension.

D. SIDERSKY.

CHAPITRE PREMIER

—

DENSITÉ

Définition. — La *densité* et le *poids spécifique* d'un corps sont, *théoriquement*, deux choses différentes. La *densité* d'un corps, désignant la *masse* dans l'unité de volume, est partout la même. Le *poids spécifique* d'un corps indique le *poids* de l'unité de volume qui diffère avec la latitude et l'altitude de l'endroit.

Dans la pratique, cependant, on regarde ces deux termes comme équivalents l'un à l'autre. L'unité de volume étant le centimètre cube, l'unité de poids le gramme (celui d'un centimètre cube d'eau à 4° C.), la densité et le poids spécifique sont exprimés par la formule $P = VD$; P étant le poids, V le volume et D la densité.

Il s'ensuit que les densités des corps solides ou liquides sont tous rapportés à l'eau distillée, à 4° C, prise comme unité.

Densité de l'eau. — La table de la p. 8 donne la densité et le volume de l'eau à différentes

TABLEAU DE LA DENSITÉ ET DU VOLUME DE L'EAU
D'APRÈS M. ROSSETTI

Tempé- ratures	Densité	Volume	Tempé- ratures	Densité	Volume
- 10°	0,998145	1,001858	26°	0,996866	1,003144
9	0,998127	1,001575	27	0,996603	1,003408
8	0,998085	1,001317	28	0,996331	1,003682
7	0,998011	1,001089	29	0,996051	1,003965
6	0,999118	1,000883	30	0,995765	1,004253
5	0,999298	1,006702	31	0,99547	1,00455
4	0,999455	1,000545	32	0,99517	1,00486
3	0,999590	1,000410	33	0,99485	1,00518
2	0,999703	1,000297	34	0,99452	1,00551
- 1	0,999797	1,000203	35	0,99418	1,00586
0	0,999871	1,000129	36	0,99383	1,00621
+ 1	0,999928	1,000072	37	0,99347	1,00657
2	0,999969	1,000031	38	0,99310	1,00694
3	0,999991	1,000009	39	0,99273	1,00732
4	1,000000	1,000000	40	0,99235	1,00770
5	0,999990	1,000010	41	0,99197	1,00809
6	0,999970	1,000030	42	0,99158	1,00849
7	0,999933	1,000067	43	0,99118	1,00889
8	0,999886	1,000114	44	0,99078	1,00929
9	0,999824	1,000176	45	0,99037	1,00971
10	0,999747	1,000253	46	0,98996	1,01014
11	0,999655	1,000345	47	0,98954	1,01057
12	0,999549	1,000451	48	0,98910	1,01101
13	0,999430	1,000570	49	0,98865	1,01148
14	0,999299	1,000701	50	0,98820	1,01195
15	0,999160	1,000841			
16	0,999002	1,000999	55	0,98782	1,01439
17	0,998841	1,001160	60	0,98738	1,01691
18	0,998674	1,001348	65	0,98697	1,01964
19	0,998496	1,001542	70	0,98659	1,02256
20	0,998299	1,001744	75	0,98624	1,02566
21	0,998097	1,001957	80	0,98591	1,02887
22	0,997820	1,002177	85	0,98560	1,03221
23	0,997601	1,002405	90	0,98536	1,03567
24	0,997367	1,002641	95	0,98519	1,03931
25	0,997120	1,002888	100	0,98505	1,04312

températures, la densité et le volume de l'eau à 4° C. étant prise comme unité. Elle est dressée avec les résultats déduits par Rossetti, de toutes les valeurs trouvées par les meilleurs expérimentateurs.

Suivant les observations de Kupffer, réduites par Miller, la densité absolue (en grammes par centimètre cube) de l'eau à 4° C. n'est pas = 1 ; mais = 1,000013. En multipliant par ce facteur

T° C	Densités de l'eau	T° C	Densités de l'eau
0°	0,999884	19°	0,998473
1	0,999941	20	0,998272
2	0,999982	22	0,997839
3	1,000004	24	0,997380
4	1,000013	26	0,996879
5	1,000003	28	0,996344
6	0,999983	30	0,995778
7	0,999946	35	0,99469
8	0,999899	40	0,99236
9	0,999837	45	0,99038
10	0,999860	50	0,98821
11	0,999668	55	0,98583
12	0,999562	60	0,98339
13	0,999443	65	0,98075
14	0,999312	70	0,97795
15	0,999173	75	0,97499
16	0,999015	80	0,97195
17	0,998854	85	0,96880
18	0,998667	90	0,96557
		100	0,95866

les nombres de Rossetti, nous obtiendrons la table de la p. 9 qui donne les densités absolues.

Densité de l'air atmosphérique. — La densité absolue de l'air sec, c'est-à-dire le poids en grammes d'un centimètre cube d'air à 0° C., et à la pression barométrique de 760 millimètres de mercure, est égal à 0^{gr},0012932. La densité de l'air sec à la température t et à la pression B est donnée par la formule :

$$D = \frac{0,0012932}{1 + 0,003665 t} \times \frac{B}{760}.$$

Pour calculer exactement la densité de l'air humide, il faut établir d'abord, au moyen d'un hygromètre, l'humidité de l'air (E), la tension T de la vapeur d'eau à la température de t sera

$$T = 0,943 \times (1 + 0,003665 t).$$

La densité de la vapeur d'eau représente les $\frac{5}{8}$ de celle de l'air sec à la même température et à une pression identique. On obtient donc la densité de l'air humide dont la teneur en eau est connue en retranchant $\frac{3}{8} T$ de la pression barométrique observée et en introduisant cette valeur dans la formule ci-dessus, laquelle deviendra

$$D = \frac{0,0012932}{1 + 0,003635 t} \times \frac{B - 3/8 T}{760}.$$

A. DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ
D'UN LIQUIDE

Les diverses méthodes employées pour la détermination des densités, si nombreuses qu'elles soient, peuvent être classées en trois groupes :

- 1° Le pycnomètre, ou méthode du flacon ;
- 2° La balance hydrostatique ;
- 3° L'aréomètre.

Pour les recherches scientifiques, on ne fait usage que des méthodes *pycnométriques*, la balance hydrostatique et les aréomètres n'étant usités que pour les besoins industriels.

Pycnomètres. — La méthode du petit flacon a pour principe la pesée directe d'un volume déterminé du liquide à essayer.

On emploie dans ce but un petit flacon bouché à l'émeri, à col très étroit et portant un trait de jauge (*fig. 1*). Pour faire un essai, on détermine, une fois pour toutes, le volume exact du flacon. Dans ce but, on pèse d'abord le flacon vide, ensuite, on le

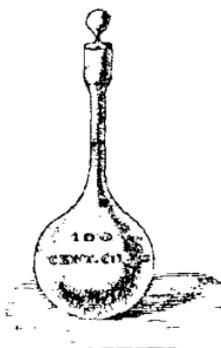


Fig. 1

remplit exactement jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée à la température ambiante,

et l'on pèse de nouveau, en observant exactement la température. En retranchant la tare du flacon, on a le poids de l'eau, pesée dans l'air avec des poids de laiton. Il faut maintenant en déduire le poids absolu du liquide, c'est-à-dire, dans le vide ; en y appliquant la formule

$$P = p - \left(1 + \frac{\lambda}{S} - \frac{\lambda}{\delta} \right),$$

dans laquelle $P =$ poids absolu, $p =$ poids apparent, $\lambda =$ densité de l'air (en moyenne $\lambda = 0,0012$), $S =$ densité du corps pesé, et $\delta =$ densité du laiton ($\delta = 8,4$). Cette formule donne approximativement $P = 1,00106 p$.

En divisant le poids de l'eau par sa densité respective pour la température observée, on a le volume du centimètre cube. La table de la p. 13, dressée par M. Less, permet de calculer non seulement le volume du flacon à la température t° de l'observation, par la formule $V = pR$, mais aussi de calculer le volume respectif du flacon à 15° C., 20° C., 25° C. et 30° C., en tenant compte de la dilatation cubique du verre. Dans ce cas, on aura $V = pR'$, R et R' étant les coefficients appliqués au poids apparent p de l'eau.

Le volume du flacon une fois établi, on rince d'abord le flacon avec un peu de liquide à essayer, et on le remplit ensuite jusqu'au trait de jauge environ. On plonge le flacon dans un bain

d'eau froide pour le ramener à la température normale de 15° C. et on l'essuie avec soin. On ramène le niveau du liquide au trait de jauge très exactement, et l'on pèse avec soin. En divisant le poids du liquide par celui de l'eau distillée à 4° C, on obtient la densité, ou le poids réel en kilogrammes d'un litre de liquide essayé.

JAUGEAGE DES VASES AVEC DE L'EAU (LESS)

t°	R	R' à 15°C	R' à 20°C	R' à 25°C	R' à 30°C
0	1,00127	1,00164	1,00174	1,00189	1,00203
5	1,00113	1,00138	1,00150	1,00163	1,00175
10	1,00136	1,00149	1,00162	1,00174	1,00187
15	1,00194	1,00194	1,00206	1,00219	1,00202
16	1,00209	1,00207	1,00219	1,00232	1,00244
17	1,00226	1,00221	1,00233	1,00246	1,00258
18	1,00243	1,00236	1,00248	1,00261	1,00273
19	1,00262	1,00252	1,00264	1,00277	1,00289
20	1,00282	1,00269	1,00282	1,00294	1,00307
21	1,00302	1,00287	1,00300	1,00312	1,00325
22	1,00324	1,00307	1,00319	1,00332	1,00344
23	1,00347	1,00327	1,00340	1,00352	1,00365
24	1,00371	1,00349	1,00361	1,00374	1,00386
25	1,00396	1,00371	1,00384	1,00396	1,00409
26	1,00422	1,00394	1,00407	1,00419	1,00432
27	1,00449	1,00419	1,00431	1,00444	1,00456
28	1,00477	1,00444	1,00457	1,00469	1,00482
29	1,00505	1,00470	1,00483	1,00495	1,00508
30	1,00535	1,00497	1,00510	1,00522	1,00535

Pour obtenir des résultats exacts, il faut que le col du flacon jaugé soit très étroit, pas plus

de 2 à 3 millimètres de diamètre intérieur ; le remplissage du flacon se fait alors à l'aide d'une

Fig. 2



pipette à boule munie d'une poire à presser. La *fig. 2* représente un pycnomètre muni d'un thermomètre, le remplissage se fait par une tubulure latérale dont le bouchon creux laisse passer l'excès de liquide par son orifice capillaire.

Pycnomètre de Sprengel.

— Pour obtenir des résultats de haute précision, on fait usage d'un pycnomètre proposé par M. Sprengel, représenté par la *fig. 3*. Il consiste en un tube ayant la forme d'un U, en verre mince, dont les extrémités sont recourbées en angle droit. Le diamètre intérieur de ces deux tubes capillaires est

Fig. 3

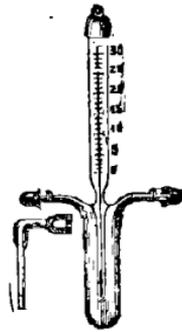


inégal ; l'un, qui porte un trait indicateur, est le plus gros ; il a un diamètre d'environ $\frac{1}{2}$ millimètre, alors que l'autre n'a qu'un diamètre de $\frac{1}{4}$ de millimètre. Le remplissage de ce pycnomètre se fait en plongeant l'extrémité du tube étroit dans le liquide, et en aspirant par un tube à boule adapté à l'extrémité du tube opposé.

Lorsque le liquide sort par ce dernier, on enlève le tube à boule et on plonge l'instrument dans un bain maintenu à la température normale. On retire ensuite le pycnomètre qu'on essuie avec soin, et l'on observe le vide qui s'est formé dans le gros tube, le tube capillaire restant toujours plein. Si le liquide dépasse le trait indicateur, on touche avec un bout de papier à filtrer l'extrémité du tube opposé afin d'enlever une goutte ou deux de liquide. Dans le

cas contraire, on touche l'extrémité du tube avec une baguette portant une goutte de liquide à essayer, que la capillarité de l'autre tube fait absorber; le mouvement se produit à travers tout le liquide contenu dans l'appareil, de sorte qu'on parvient très facilement à régler

Fig. 4



ainsi l'arrière du liquide jusqu'au trait. On suspend alors l'appareil par le fil qui le porte au crochet de l'étrier d'une balance de précision, et l'on pèse très exactement. En retranchant la tare du pycnomètre on a le poids, qu'on divise par le poids d'eau distillée préalablement déterminé, et l'on a la densité cherchée. La *fig. 4* représente le même instrument muni d'un thermomètre et les extrémités y sont bouchées.

Pycnomètre de Boot. — Tous les pycno-

mètres connus présentent l'inconvénient d'être influencés par les variations de la température ambiante. Un chimiste américain, M. Boot, a réussi à remédier à cet inconvénient par un procédé ingénieux, ayant précisément le mérite de rendre aux essais industriels la précision des recherches scientifiques. L'appareil de

Fig. 5



M. Boot représenté par la *fig. 5*, se compose d'une capacité en verre soufflé A, en forme de petit ballon, fermé par un bouchon C en verre rodé; sur le col du petit ballon est soudé un second ballon B enveloppant le premier. On a fait le vide dans l'espace intermédiaire en aspirant par la

petite tubulure *d* que l'on a ensuite soudé à la lampe. La fermeture est celle adoptée depuis quelque temps pour la plupart des pycnomètres : c'est-à-dire que le bouchon C est traversé par un petit canal capillaire permettant l'écoulement de l'excès de liquide lorsqu'on l'introduit dans le goulot rempli. Le vide fait dans l'enveloppe B empêche l'influence de la température ambiante, de sorte que l'on peut très bien déterminer la densité à 15° C. dans un laboratoire dont la température est 20° C. et même au-dessus. Ce prin-

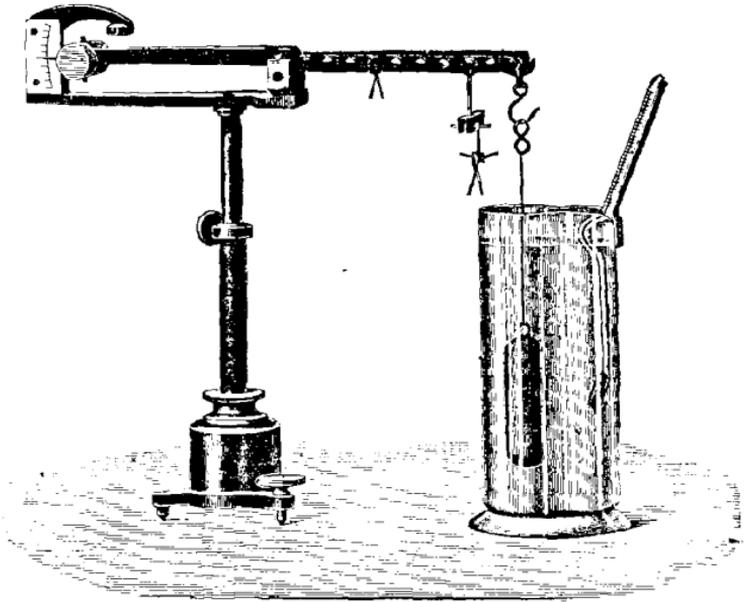
cipe a été appliqué par M. d'Arsonval dans la construction d'un thermomètre.

Balance hydrostatique. — Le principe de cette méthode repose sur la loi d'Archimède que tout corps plongé dans un liquide perd une partie de son poids égale au poids du volume du liquide déplacé. Dans la balance hydrostatique, le corps solide est un flotteur d'un volume déterminé et mis en équilibre par un contre-poids. En plongeant le flotteur dans le liquide à essayer, il perd une partie de son poids, le volume du flotteur étant pris comme unité.

Dans les essais industriels, on emploie la balance hydrostatique de Mohr modifiée par Westphal et Reimann (*fig. 6*). Elle se compose d'un support et d'une tige métallique creuse dans laquelle peut se mouvoir une tige pleine supportant le fléau et se fixant à la hauteur voulue au moyen d'une vis. Le fléau est muni à l'une de ses extrémités d'un contre-poids et d'une aiguille. Celle-ci, dans l'état d'équilibre, est de niveau avec le zéro d'une petite échelle graduée. Le fléau repose en son point d'appui sur un couteau qui permet la libre oscillation, le bras droit du fléau est divisé en dix parties égales, chaque division est marquée par une échancrure numérotée, destinée à recevoir des petits poids en forme de cavaliers ; au point dix se trouve un crochet auquel est attaché un fil de platine sup-

portant un flotteur muni d'un thermomètre. Ce flotteur plonge dans une éprouvette contenant le liquide à essayer. Le support de la balance est muni d'une vis servant à régler l'horizontalité de l'appareil.

Fig. 6



lité de l'appareil. Le fil de platine est garni un peu au-dessus de l'anse du flotteur d'un nœud qui indique jusqu'où ce fil doit descendre dans le liquide.

Les poids ou cavaliers sont au nombre de quatre. Le plus gros pèse autant que le poids accroché en 10°, destiné à compenser la perte de poids du flotteur dans l'eau. Les trois autres poids

pèsent respectivement $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ et $\frac{1}{1000}$ du premier. Le poids accroché en 10^0 étant reconnu insuffisant, on placera sur les échancrures d'autres poids, en commençant par le plus lourd qu'on mettra d'abord sur l'échancrure portant le numéro 1, puis 2, 3, 4, etc., jusqu'au moment où l'aiguille du fléau se relève au-dessus du zéro. On prendra ensuite le cavalier suivant, et l'on déterminera sa place de la même façon, puis le troisième et le quatrième, s'il est nécessaire, pour rétablir l'équilibre. Les extrémités des poids sont recourbées en crochets, ce qui permet de les suspendre les uns aux autres.

Pour prendre la densité d'un liquide moins lourd que l'eau, par exemple l'alcool, on enlève le poids accroché en 10^0 faisant l'équilibre du flotteur plongé dans l'eau distillée, et l'on opère avec les autres poids tout à fait comme avec les liquides lourds. Avec un peu d'habitude, on parvient à lire la densité directement sur le fléau de la balance, les chiffres décimaux se suivent dans l'ordre des poids accrochés, dont la valeur de chacun est donnée par le numéro de l'échancrure.

Flotteur normal de Reimann. — Dans la balance de Westphal, le flotteur n'a pas un poids déterminé, et les poids en forme de crochets sont ajustés au flotteur, de sorte que si ce dernier

vient à être cassé, les poids ne servent plus à rien. Cet inconvénient est évité dans la balance de Reimann, dont l'aspect extérieur ne diffère en rien de celui de la balance de Westphal, mais son flotteur est construit de façon à déplacer un poids déterminé d'eau distillée correspondant à un poids décimal, soit 10 grammes par exemple, alors que son poids est ramené, au moyen d'un petit crochet suspendu au point 10 du fléau, à un poids également déterminé (15 grammes). De cette façon, les poids en crochets sont déterminés d'avance et peuvent servir pour tout flotteur construit dans les mêmes conditions; Dans l'exemple cité, le poids le plus lourd est égal à 10 grammes, le suivant, à 1 gramme, le troisième à $0^{\text{sr}},10$ et le quatrième à $0^{\text{sr}},01$. M. Reimann a séparé le thermomètre du flotteur qui est formé d'une tige pleine, en verre.

Quelle que soit la balance employée, il ne faut pas oublier qu'elle ne peut donner que la densité relative rapportée de l'eau de 15° C. prise comme unité. En multipliant la densité observée par la densité de l'eau à 15° C. ($0,999173$ d'après Kuppfer-Miller ou $0,999160$ d'après Rossetti), on aura la densité absolue.

Aréomètres. — L'aréomètre est un instrument en verre creux (*fig. 7*), fermé à ses deux extrémités, dont la partie supérieure est terminée par une tige, portant une certaine gradua-

tion. Par suite de la forme et du poids de ses parties, l'instrument possède la propriété de flotter perpendiculairement dans les liquides soumis à l'essai. Suivant le principe d'Archimède, le poids de l'instrument, lors de l'équilibre acquis dans la position du flotteur, est égal au poids du volume du liquide expérimenté, déplacé par l'instrument; il s'ensuit que plus la densité du liquide est élevée, moins sera grand le volume pesant autant que l'instrument aréométrique. C'est-à-dire que l'instrument devra plonger d'autant moins dans le liquide que celui-ci est plus dense.

On voit que le point jusqu'où l'instrument s'enfonce dans le liquide pour y flotter en équilibre, correspond exactement au poids d'un volume donné de la solution et que, par conséquent, il en indique le poids spécifique qui, en fin de compte, peut être pratiquement exprimé de différentes manières. Tous les instruments aréométriques présentent le même caractère, mais on désigne par différentes dénominations, suivant le but qu'on se propose, les mêmes densités ou les mêmes points d'indication.

Ces dénominations se rapportent soit au poids spécifique (densimètre), soit à la teneur en matière spéciale dissoute (alcoomètre, saccharomètre,

Fig. 7



ÉCHELLES DES PRINCIPAUX ARÉOMÈTRES

Aréomètres	Température en degrés C	pour liquides	
		plus denses que l'eau	moins denses que l'eau
<p>1. <i>Gay-Lussac</i> (volumétrique)</p> <p>L'instrument marque 100° dans l'eau distillée et chaque degré représente $\frac{1}{100}$ du volume de l'instrument (réduction faite de la partie de la tige au-dessus de 100°).</p>		$d = \frac{100}{100 - n}$	$d = \frac{100}{100 + n}$
<p>2. <i>Balling</i></p> <p>Le principe de Gay-Lussac. 2° Balling = 1° Gay-Lussac.</p>	Indiqués sur l'instrument	$d = \frac{200}{200 - n}$	$d = \frac{200}{200 + n}$
<p>3. <i>Brix</i></p> <p>Même principe. 4° Brix = 1° Gay-Lussac.</p>	—	$d = \frac{400}{400 - n}$	$d = \frac{400}{400 + n}$
<p>4. <i>Baumé</i> (ancienne construction)</p> <p>a) Pour liquides plus denses que l'eau. L'instrument marque 0° dans l'eau distillée et 10° dans une dissolution de sel marin de 10 0/10 ($d \frac{15}{15} = 1,073350$).</p>	12,5	$d = \frac{145,88}{145,88 - n}$	$d = \frac{145,88}{145,88 + n}$

b) Pour les liquides moins denses que l'eau. L'instrument marqué 0° dans la solution de sel marin et 10° dans l'eau.	15 17,5	$d = \frac{146,3}{146,3 - n}$ $d = \frac{146,78}{146,78 - n}$	$d = \frac{146,3}{146,3 + n}$ $d = \frac{146,78}{146,78 + n}$
5. <i>Baumé</i> (nouvelle construction) Cet instrument est le plus employé dans l'industrie (pour liquides plus denses que l'eau). Il marque 0° dans l'eau et 68° dans l'acide sulfurique de 1,842 (d_{15}^{15}).	15	$d = \frac{144,3}{144,3 - n}$	
6. <i>Aréomètre hollandais</i> C'est l'aréomètre de Baumé dont 10° indiquent la densité de la solution saline de 10 g/l, à 12° C, soit $= 1,074627 \left(d_{12,5}^{12,5} \right)$.	12,5	$d = \frac{144}{144 - n}$	$d = \frac{144}{144 + n}$
7. <i>Beck</i> Il marque 0° dans l'eau et 30° dans des liquides ayant une densité $\left(d_{12,5}^{12,5} \right)$ de 0,850.	12,5	$d = \frac{170}{170 - n}$	$d = \frac{170}{170 + n}$
8. <i>Taradde</i> Il marque 0° dans l'eau et chaque degré indique une augmentation constante de 0,005 de densité.	indiquée sur l'instrument	$d = 1,000 + n (0,005)$	

tre), soit à un nombre fictif sans aucune signification (aréomètre Baumé, Gay-Lussac, etc.) et qu'on peut traduire les uns des autres, au moyen de tables de concordances.

L'aréomètre le plus ancien est celui de Baumé; son usage dans l'industrie devrait être entièrement aboli, mais il est loin de l'être. Cet aréomètre ne fournit que des degrés sans signification pour la richesse qu'on veut trouver. Nous donnons, p. 22 et 23, un tableau résumant les principes de graduation des principaux types d'aréomètres et volumètres.

Aréomètres à poids variables. — Citons pour mémoire l'aréomètre de Fahrenheit à volume constant et à poids variables, l'hydromètre de Sykes à volume et à poids variables, qui sont peu usités en France. Pas plus que l'aréomètre à poids constant et à volume variable, ces instruments ne peuvent prétendre à une précision scientifique.

Le *densimètre de Rousseau* permet de prendre la densité d'une quantité de liquide très restreinte; ce dernier (un centimètre cube) est placé dans une petite capsule adaptée sur la tige de l'instrument qui flotte dans l'eau distillée. M. Courtonne a modifié cet instrument en lui donnant de plus grandes dimensions et en y adaptant un plateau à poids imitant celui de l'aréomètre Fahrenheit, etc.

Enfin, M. Vandevyver a eu la curieuse idée de transformer la partie inférieure de l'aréomètre en une petite bouteille bouchée à l'émeri, que l'on remplit avec le liquide à essayer et l'on plonge ensuite l'instrument dans l'eau distillée.

Observations particulières relatives aux aréomètres. — En dehors des phénomènes de capillarité qui influencent fortement la précision des aréomètres, il faut avoir soin de bien nettoyer la tige de l'instrument, afin d'éviter parfois des écarts considérables. M. Maly a observé bien des fois que des aréomètres bien concordants entre eux lorsqu'on les essaie dans l'alcool, l'huile, etc., donnent par moment des écarts considérables dans des solutions aqueuses. Cela tient à ce que la tige de l'instrument est souvent recouverte d'une mince couche de matière grasse qui se dissout dans l'alcool, l'huile, etc., mais résiste dans l'eau. Le nettoyage de la tige se fait le mieux, en la frottant avec un chiffon légèrement mouillé et en le laissant sécher à l'air, ou par l'immersion dans l'alcool absolu. D'après M. Maly (1), le frottement de la tige avec le linge sec, même très propre, conduirait à des obser-

(1) Une observation de même genre a été faite autrefois par M. Regnault pour des ballons destinés à déterminer la densité des gaz, phénomène qu'il a attribué à l'électricité produite par le frottement.

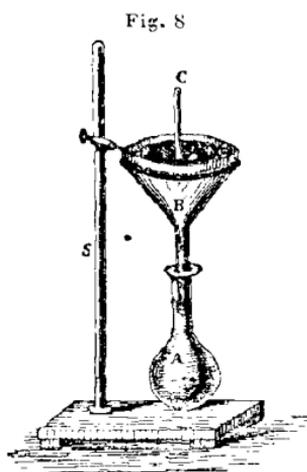
vations erronées, même quand l'instrument était très propre avant le frottement.

Détermination de la densité d'un liquide visqueux. Procédé Sidersky. — Bien des procédés ont été proposés pour prendre la densité des liquides visqueux dont il est impossible de mesurer un volume déterminé. Nous n'en décrivons qu'un seul, celui que nous avons proposé en 1881 pour l'essai des mélasses de sucrerie et de raffinerie, non parce qu'il nous est personnel, mais parce qu'il est d'une grande précision, tout en étant d'une exécution facile. Il a pour principe de mesurer d'une manière particulière le volume occupé par un poids donné de la matière.

On commence d'abord par débarrasser la matière de l'air qu'elle renferme, en la chauffant et en l'écumant; on la verse ensuite toute chaude dans un flacon jaugé de 50 centimètres cubes, taré d'avance, qu'on remplit jusqu'à un ou deux centimètres au-dessous du trait de jauge, en ayant soin de ne pas couler sur les parois intérieures du col, au-dessus du trait de jauge. Ce remplissage se fait d'une manière très simple; on prend un entonnoir B (*fig.* 8), à douille longue, et coupé obliquement, on le place dans l'anneau d'un support disposé au-dessus du flacon jaugé A et l'on fait descendre la douille de l'entonnoir B dans le col du flacon A de façon

que son orifice se trouve un peu au-dessous du trait de jauge marquant 50 centimètres cubes. On verse la matière dans l'entonnoir B d'où elle descend dans le flacon A. Lorsque le niveau de la matière commence à monter dans le col du flacon, la partie sphérique étant remplie, on introduit dans l'entonnoir B, une petite baguette C, munie d'un bout de

tube de caoutchouc, que l'on fait descendre dans l'orifice supérieur de la douille afin d'arrêter le passage de la matière. On enlève l'entonnoir avec précaution et on place le flacon A dans un bain d'eau fraîche, afin de ramener son contenu à la température voulue.

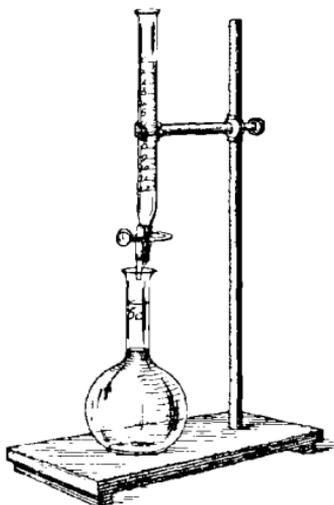


Après refroidissement complet, on retire le flacon qu'on essuie soigneusement et qu'on pèse. En retranchant du poids brut la tare du flacon on a le poids de la matière. Dans le cas où l'on se servirait toujours du même flacon, il serait plus pratique de lui faire une tare fixe en plomb qu'on vérifiera de temps à autre, quoique le poids du flacon vide ne se modifie guère.

On place alors le flacon A sous une burette de

Mohr graduée en centimètres cubes et dixièmes de centimètres cubes, préalablement remplie avec de l'eau de la température ambiante, ou avec tout autre liquide transparent de même température, et l'on introduit dans le flacon le bout effilé de la burette mise au zéro (fig. 9). On ouvre

Fig. 9



légèrement la pince Mohr et l'on fait couler l'eau dans le flacon très lentement, vers la fin goutte à goutte jusqu'à ce que le niveau de l'eau vienne affleurer de son ménisque inférieur le trait circulaire marquant 50 centimètres cubes.

On lit sur la burette le volume d'eau usé qu'on retranche de 50 pour avoir le volume occupé par la matière. En divisant le poids P de la matière par son volume V on obtient la densité $D = \frac{P}{V}$.

Plusieurs modifications de ce procédé ont été proposées par divers auteurs, mais le cadre d'un aide-mémoire étant limité, nous n'y insisterons pas davantage.

B. DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ
D'UN CORPS SOLIDE

Évaluation directe du volume. — Lorsque le corps à essayer affecte certaines formes simples, on peut calculer son volume à l'aide de la géométrie. Il suffit alors d'exprimer la masse du corps en grammes, et son volume en centimètres cubes, et d'effectuer le quotient des nombres qui mesurent cette masse et ce volume.

Voici par exemple un prisme droit à base carrée, en verre, qui a pour côté de base 2 centimètres et pour hauteur 5 centimètres; il pèse 52^{gr},46 (sa masse est de 52^{gr},46). La densité de ce verre est donc :

$$\frac{52,46}{2^2 \times 5} = 2,623.$$

Il faut observer ici que l'on ne peut obtenir exactement la densité par cette méthode, que si les poids marqués et la règle divisée qui ont servi à effectuer les mesures ont été comparés aux étalons. Ces comparaisons sont, au contraire, inutiles dans les méthodes suivantes.

Méthode du flacon. — Le poids du corps P se détermine directement; son volume s'obtient en évaluant le poids P' de l'eau expulsée d'un flacon à contenance invariable par l'immersion du solide.

Ce procédé est le plus précis de tous, parce que, d'une part, les pesées peuvent être effectuées au demi-milligramme, et que d'autre part, la méthode se prête facilement à toutes les corrections. Regnault a simplifié l'opération en l'exécutant à zéro. Cette température a le double avantage d'être connue avec certitude et de pouvoir être maintenue pendant un temps aussi long qu'il est nécessaire; l'influence de la poussée de l'air reste donc seule à éliminer.

On a alors :

$$D = \frac{P}{P'} 0,999878 - \frac{P - P'}{P'} (1 + \delta t) a$$

t étant la température du corps au moment de la pesée, δ son coefficient de dilatation cubique et a la densité de l'air. Mais il est évident qu'en connaissant le coefficient de dilatation cubique du corps essayé, on peut opérer à la température ambiante. La table de Rossetti permet de calculer le volume de l'eau déplacée d'après son poids.

Le flacon à densité pour l'essai des solides (*fig. 10*) est fermé par un bouchon rodé, creux, capillaire sur une partie de sa longueur, terminé à sa partie supérieure par une petite coupe; un trait de jauge est tracé au milieu de la partie capillaire. Sa contenance est d'environ 60 centimètres cubes. Pour opérer sur de plus gros

fragments, il est préférable de faire usage d'un vase de Boudréaux (*fig. 11*), légèrement conique, à tubulure latérale de déversement.

L'opération est conduite de telle façon que l'on pèse d'abord le flacon rempli d'eau, puis avec le

Fig. 10



Fig. 11



corps solide plongé dans l'eau. Il faut naturellement avoir soin que l'immersion soit parfaite et qu'il n'y ait aucune bulle d'air.

Emploi du principe d'Archimède. — Plusieurs procédés et instruments ayant pour base le principe d'Archimède ont été proposés pour l'essai des solides ; tels que l'aréomètre de Nicholson, etc. ; ils ne donnent cependant qu'une densité approximative.

M. Damour a décrit un mode opératoire permettant d'obtenir la densité d'un corps solide avec une grande précision. Il n'est applicable qu'aux matières pouvant supporter l'ébullition dans l'eau : Les minerais par exemple.

On concasse le minerai, on le fait passer successivement à travers deux tamis. Le premier ne doit laisser écouler que des fragments de la grosseur d'une graine de pavot, mêlés d'une poudre plus ou moins fine. Le second, à mailles plus serrées, sépare cette poudre. On lave les fragments, on les fait bouillir dans de l'eau distillée, puis on les introduit, encore humides, dans un creuset de platine portant une anse de même métal. Ce creuset a été préalablement taré dans l'air et aussi dans l'eau. Le tout est suspendu à une balance de précision par un fil de platine très fin et plongé dans un vase contenant de l'eau distillée. On note la température de l'air ambiant et l'on établit l'équilibre entre les deux plateaux. On retire alors de l'eau le creuset avec son contenu ; on le remplace par des poids qui donnent ainsi le poids total de la matière et du creuset dans l'eau. Retranchant la tare du creuset pesé dans l'eau, on a le poids exact de la matière dans l'eau.

Laissant la matière dans le creuset, on fait sécher le tout dans une étuve dont la température n'excède pas $+ 70$ à $+ 80^{\circ}$ C. Après complète dessiccation, on porte le creuset avec son contenu sur le plateau de la balance et, après avoir rétabli l'équilibre, on retire le tout, puis on le remplace par des poids. Retranchant la tare du creuset, on a le poids de la matière pesée dans l'air.

Quant aux pierres précieuses et aux objets qu'on ne veut pas briser, la recherche de la densité s'effectue rapidement par le procédé qui suit :

Le creuset destiné à les contenir reste plongé dans l'eau distillée où il doit osciller librement, étant suspendu par un fil de platine rattaché au plateau de la balance.

On place la pierre sur le plateau. On équilibre le tout, on enlève la pierre, puis on la remplace par des poids que l'on retire ensuite, après en avoir pris note. On plonge alors la pierre dans le creuset immergé. Le poids qu'il faut ajouter pour rétablir l'équilibre fait connaître le volume d'eau déplacée. Divisant le poids de la pierre par le poids de ce volume d'eau, le quotient exprime la densité.

Voluménomètre de Regnault. — Lorsque les corps solides dont on a à prendre la densité ne peuvent supporter l'immersion dans aucun liquide, lorsqu'il s'agit par exemple de corps organisés, de semences, de fécules, de poudres organiques, on ne peut opérer par aucun des procédés décrits précédemment.

Le capitaine Say a proposé, dans ce cas, de déterminer le volume des corps en mesurant celui de l'air qu'ils déplacent. Une capacité V étant remplie d'air sous une pression H , on y introduit une substance dont nous représentons le volume

par x , l'air occupe donc un volume $V - x$. Qu'on augmente ou qu'on diminue ce volume de v , sa pression devient alors $H \pm h$ et l'on a dans le premier cas :

$$x = V - v \frac{H - h}{h}$$

et dans le second

$$x = V - v \frac{H}{h}.$$

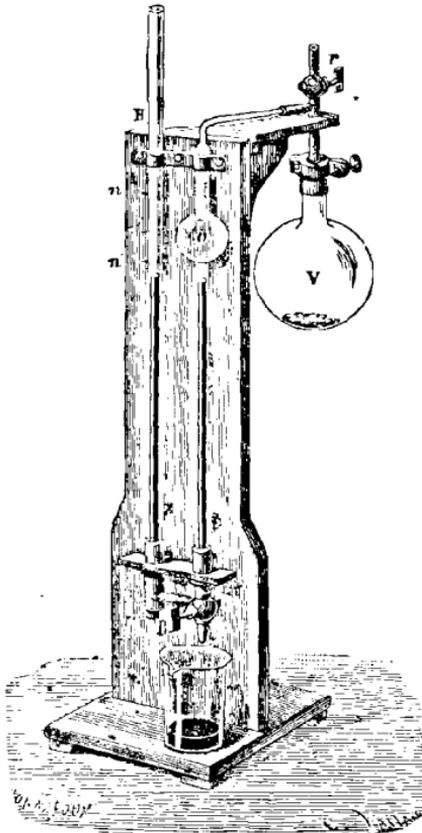
Ces deux procédés, par dilatation ou par compression peuvent être employés concurremment. Les résultats se vérifieront l'un l'autre.

M. Regnault a composé un voluménomètre très simple, en adaptant un ballon de verre à son manomètre bien connu, à l'aide d'un collier à gorge (*fig. 12*). Le robinet à trois voies B permet, suivant sa position, de faire communiquer les deux branches du manomètre ; de laisser le mercure s'écouler des deux branches simultanément ou de l'une d'elles seulement.

Le renflement de la branche fermée a un volume v entre les deux traits de repère tracés sur le verre ; le volume V est celui du ballon augmenté de celui du tube jusqu'au premier trait de repère. Regnault jaugeait v et V en pesant très exactement le mercure renfermé dans ces capacités : pour v l'opération s'exécute faci-

lement, en plaçant le robinet dans une certaine position ; pour V elle est plus compliquée, mais

Fig. 12



n'est à faire qu'une fois. Les valeurs trouvées doivent être gravées sur l'instrument au centième de centimètre cube près.

L'observation des niveaux des colonnes mer-

curielles se fait au cathétomètre. Voici le mode opératoire : La substance est introduite dans le ballon, qu'elle doit remplir à moitié ; il en faut donc au moins 100 à 150 centimètres cubes. En pesant le ballon avant et après on aura le poids de la matière soumise à l'expérience. On adapte le ballon à l'appareil en veillant à ce que la rondelle de cuir qui forme joint soit bien grasse, et l'on serre le collier jusqu'à refus. Le robinet supérieur du volumétre r reste ouvert. On verse du mercure dans le manomètre par la branche ouverte jusqu'à ce que les deux colonnes soient bien de niveau à la hauteur du trait supérieur ; après avoir attendu un instant pour que l'équilibre de température et de pression s'établisse dans l'appareil, on ferme le robinet r . L'opérateur fait couler le mercure en plaçant le robinet B en communication jusqu'à ce que le niveau dans la branche fermée soit à la hauteur du second trait de repère ; puis il suffit de mesurer la différence de niveau h entre les deux colonnes, et prendre la hauteur H du baromètre : on possède donc toutes les données de l'expérience.

On peut obtenir immédiatement une nouvelle valeur de x en ouvrant le robinet r qui communique avec l'atmosphère, et en versant du mercure dans le manomètre, jusqu'à ce que la hauteur du mercure s'établisse au niveau du trait infé-

rieur de repère. On ferme alors le robinet *r* et l'on ajoute du mercure, de manière à atteindre de nouveau le premier trait. La pression est alors devenue supérieure à l'atmosphère, d'une quantité qu'on mesure comme ci-dessus.

Il faut toujours opérer sur une substance parfaitement sèche : elle peut être desséchée dans le ballon lui-même. Quand la matière est hygrométrique, il convient de remplir entièrement le manomètre de mercure avant d'adapter le ballon, et de mettre le robinet *r* en communication avec un appareil rempli de chlorure de calcium, d'acide sulfurique ou de potasse.

C. DENSITÉS DES GAZ ET DES VAPEURS

Définition. — Les densités des gaz et des vapeurs sont généralement rapportées à celle de l'air atmosphérique à la même température et sous la même pression barométrique. La masse d'un litre d'air dépouillé de l'humidité et de l'acide carbonique, pris à 0° C., sous la pression normale de 760 millimètres de mercure, à Paris, est égale à 1^{gr},293187. Le tableau XII donne le poids d'un litre d'air à diverses températures et pressions.

On peut rapporter la densité d'un gaz ou d'une vapeur à un gaz quelconque, convenablement choisi à la place de l'air, ce qui est très

facile, en divisant la première par la densité du gaz choisi.

Quelquefois on rapporte les densités des gaz à l'hydrogène; ce rapport jouant un rôle particulier en chimie. En vertu de ce que le poids moléculaire de ce corps est pris conventionnellement égal à 2, ces densités expriment approximativement la moitié du poids moléculaire des corps gazeux. Par exemple, la densité de la vapeur du sulfure de carbone par rapport à l'air est 2,644; sa densité par rapport à l'hydrogène (dont la densité est 0,0695 par rapport à l'air) est donc $\frac{2.644}{0,0695} = 38,05$ et son poids moléculaire = 761 environ.

Relation de la densité avec la température et la pression. — Rappelons d'abord la relation qui existe entre la masse m d'un certain volume d'une vapeur, sa densité d par rapport à l'air, la pression et la température.

Représentons par a_0 , la masse de l'unité de volume d'air à 0° et à la pression normale.

A t° et sous la pression de H centimètres de mercure (hauteur réduite à 0°), un litre d'air pèse donc :

$$a = \frac{a_0}{1 + \alpha t} \times \frac{H}{76}$$

α étant le coefficient de dilatation de l'air = 0,00367. V litres pèsent $\frac{Va_0H}{(1 + \alpha t) 76}$ et la

masse de V litres de vapeur dans les mêmes conditions est

$$m = \frac{Va_0Hd}{(1 + at) \times 76}.$$

Eu principe, il faut donc pour déterminer d , mesurer m , V , H et t . Les méthodes les plus usitées font de m ou de V l'objet d'une détermination à part : l'expérience consiste à déterminer le volume occupé à H centimètres et t° par une masse m de vapeur préalablement connue, ou bien, au contraire, à déterminer la masse m de vapeur qui occupe à t° et H centimètres un volume V donné à l'avance.

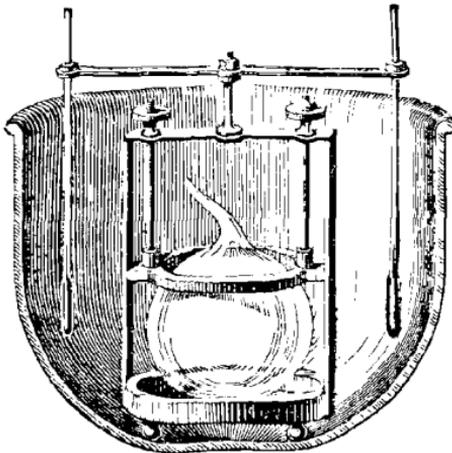
L'expérience prouve que cette formule s'applique à tous les gaz et à toutes les vapeurs, *pourvu que ces gaz et vapeurs aient été amenés à un état tel qu'ils suivent les lois de Mariotte et de Gay-Lussac* ; conditions que les composés chimiques finissent, en général, par remplir, lorsqu'ils résistent à une température suffisamment élevée. Dans les limites où ils ne suivent pas ces lois, leur poids spécifique et leur densité ne sauraient être exprimés par un chiffre absolu, indépendant de la température et de la pression (*Berthelot*).

Corps gazeux à la température ordinaire. — Nous ne nous étendrons pas sur les méthodes suivies par les divers savants qui ont déterminé la densité des corps gazeux à la tem-

pérature ordinaire, les essais de ce genre ne se présentent pas souvent dans la pratique des laboratoires. On trouvera, du reste, la description de ces méthodes dans la plupart des traités de physique. La plus intéressante de ces méthodes est assurément celle de M. Regnault; supprimant presque toutes les corrections par l'usage de tares compensatrices, en équilibrant le ballon de verre jaugé, rempli de gaz par un ballon identique rempli d'air. Il en est autrement des densités des vapeurs dont l'étude est fréquente, parce qu'elle conduit à la détermination des poids moléculaires.

Procédé Dumas. — On prend un ballon B de 300 centi-

Fig. 13



mètres cubes environ dont le col a été courbé et effilé comme l'indique la *fig.* 13. Cette pointe a été fermée au moment de la prépa-

ration du ballon afin d'éviter l'introduction des pous-

sières. On la brise, et on porte le ballon sur la balance pour en faire la tare.

On chauffe légèrement celui-ci, en le passant au-dessus d'une lampe à alcool ; puis on introduit la pointe dans un verre où l'on a versé le liquide à étudier, exactement comme pour le remplissage d'un thermomètre. Par suite du refroidissement, l'air se contracte et le liquide monte dans le ballon. On laisse ainsi rentrer de 5 à 10 centimètres cubes de ce dernier.

On introduit alors le ballon dans un support spécial représenté par la *fig.* 13, et on le plonge dans un bain dont la température est donnée par un thermomètre fixé au support.

Le liquide porté à une température supérieure à son point d'ébullition se vaporise rapidement. Un jet de vapeur s'échappe avec bruit, entraînant tout l'air contenu dans le ballon ; quand il s'est ralenti, on approche une bougie ou une allumette, de manière à saisir le moment où il cesse complètement, et l'on ferme la pointe au chalumeau à gaz. On note à ce moment la pression atmosphérique : soit H sa valeur réduite à 0° .

On retire du bain le support ; on en dégage le ballon, et après refroidissement on le reporte sur la balance. Soit π le poids du gaz.

Enfin pour connaître le volume intérieur du ballon, on brise la pointe au fond d'un vase contenant un litre environ d'eau distillée, que

l'on fait bouillir préalablement dans le vide, afin qu'elle ne contienne pas de gaz en dissolution. L'eau remplit complètement le ballon, si l'air en a été parfaitement expulsé par la vapeur. On pèse maintenant le ballon ainsi rempli d'eau à la température θ , que l'on détermine. Il est commode de faire cette pesée sur une balance ordinaire; car il suffit que l'erreur ne dépasse pas le décigramme. Soit P , le poids de cette eau. Si l'on désigne par $e\theta$, la masse de l'unité d'eau à cette température θ et par α , celle de l'unité de volume d'air que l'on pourra prendre égale à 0,0012, le volume $V\theta$ du ballon à θ° est $\frac{P}{e\theta - \alpha}$; à 0° , il est donc :

$$V_0 = \frac{P}{(e\theta - \alpha)(1 + k\theta)}$$

k étant la dilatation cubique du verre (0,000026).

De même à t°

$$V_t = V_0(1 + kt)$$

et à T°

$$V_T = V_0(1 + kT).$$

Nous avons maintenant toutes les données nécessaires pour calculer la densité d . On a, d'une part

$$m = \frac{V_T \times \alpha \times d \times H}{(1 + \alpha T) \times 76}$$

et, d'autre part

$$\pi = m - \frac{V_T \times \alpha \times H'}{(1 + \alpha T) \times 76}.$$

H' et t désignant la pression et la température atmosphérique au moment de la pesée.

Procédé Gay-Lussac modifié par M. A. W. Hofmann. — Une quantité pesée de matière volatile est vaporisée dans le vide barométrique d'un

tube rempli de mercure, maintenu à une température élevée et constante. La mesure du volume gazeux et de la hauteur de la colonne mercurielle conduisent facilement au calcul de la densité cherchée. Les

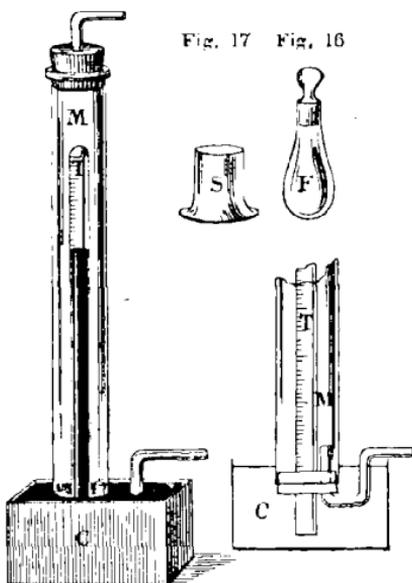


Fig. 14

Fig. 15

fig. 14 et 15 représentent l'appareil Hofmann avec ses derniers perfectionnements. T est un tube gradué, fermé, d'un mètre de longueur et de deux centimètres de diamètre ; il est rempli de mercure et plonge par son orifice dans une cuve C également remplie de mercure ; un manteau M en verre enveloppe le tube gradué

qui y est fixé avec des bouchons ; ce gros tube M plonge également dans la cuve C et l'on y fait arriver par une tubulure latérale de la vapeur qui remplit l'espace annulaire entre M et T pour sortir par une tubulure supérieure. De cette façon, le tube T et son contenu possèdent une température constante que l'on choisit de façon à être supérieure à celle nécessaire pour la gazéification de la substance à étudier.

Cette dernière, contenue dans le petit flacon F bouchée à l'émeri (*fig.* 16) est d'abord portée sur la balance dans un support S (*fig.* 17) approprié, puis, introduite dans l'orifice du tube T où elle monte toute seule. Par le contact avec le mercure chaud, le petit flacon se débouche et son contenu est vaporisé immédiatement, grâce au vide barométrique. On observe alors exactement le volume gazeux, la hauteur de la colonne mercurielle, et la température du manchon, et l'on a tout ce qu'il faut pour réduire le volume gazeux à 0° et à 760 millimètres de pression.

M. Hofmann a imaginé un système ingénieux pour viser facilement, avec une haute précision, le sommet de la colonne mercurielle ; mais il est évident qu'on peut le faire au moyen d'un cathétomètre ou tout autre viseur.

Suivant la nature de la substance essayée, on emploie de la vapeur d'eau (à 100° C) ; celle de

l'alcool (80°C.), celle de l'alcool amylique (132°C.) ou celle d'aniline (180°C.).

La densité cherchée est calculée à l'aide de la formule générale

$$D = \frac{P}{0,00129349V_0} = \frac{P \times 76 (1 + 0,00367t)}{VH \times 0,00129349}$$

dans laquelle P = poids de la matière essayée, V_0 = volume du gaz réduit à 0° et à 76 centimètres cubes de pression barométrique, V = volume gazeux observé dans l'appareil en T à la température t , et à la pression H .

La pression H est égale à la pression barométrique B au moment de l'essai, réduite à 0°, diminuée de la colonne mercurielle observée (réduite également à 0°), soit

$$H = \frac{B}{1 + 0,000181t_1} - \frac{h}{1 + 0,000181t} - f,$$

en désignant par B la pression barométrique et par t_1 la température extérieure, h étant la colonne mercurielle dans l'éprouvette graduée, dont la température est t et f étant la tension de la vapeur de mercure à t .

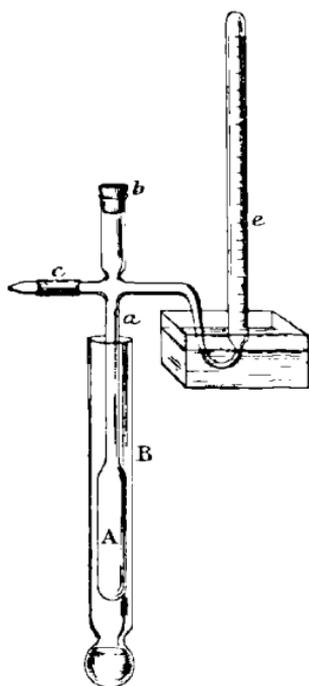
Pour plus de précision, il faut tenir compte de la dilatation cubique de l'éprouvette graduée, donnée par la formule :

$$V_t = V_{15} [1 + 0,00026 (t - 15)],$$

et d'introduire la valeur V_t à la place de V dans l'équation de D .

Procédé Victor Meyer. — Il se distingue par sa grande simplicité des procédés précédemment décrits. Il repose sur le principe de la mesure de l'air déplacé

Fig. 18



par les vapeurs produites d'un poids donné de la matière essayée.

La *fig. 18* représente l'appareil employé. A est une poire en verre, se terminant en un tube allongé *a*. La poire A est placée dans un manteau B contenant un liquide approprié, assurant par son ébullition une température constante en A. Le tube allongé *a* porte une partie légèrement évasée et fermée par un bouchon

b en caoutchouc; en dessous de cette partie, un tube recourbé communique avec une éprouvette graduée *e* plongée dans un bain d'eau bouillante.

La matière essayée, pesée dans une petite ampoule, est introduite par *b* dans la partie supérieure du tube *a* et y est arrêtée par une ba-

guette maintenue par un tube de caoutchouc dans une tubulure latérale *c*. Dès que le liquide en B est en pleine ébullition, et qu'il ne monte plus de bulle de vapeur dans *e*, on tire légèrement le tube élastique *c* et l'ampoule tombe dans A, où l'on a disposé une petite couche de verre ou d'amiante. L'ampoule s'ouvre, la matière s'évapore rapidement, et la vapeur produite chasse l'air de *a* vers l'éprouvette *e* où il est mesuré en égalisant les niveaux d'eau dans l'éprouvette et dans la cuve. On calcule la densité de la vapeur au moyen de la formule :

$$D = \frac{P \times 760 (1 + 0,00367t)}{(H - h)V \times 0,00129349}$$

dans laquelle P est le poids de la substance ; *t*, la température ambiante ; H, la pression barométrique ; *h*, la tension de la vapeur d'eau à *t*° C et V, le volume d'air déplacé.

Le procédé V. Meyer peut être employé à des températures très élevées, et l'appareil est alors construit en conséquent. Mais il ne peut être employé dans le cas de substances qui se décomposent (dissociation) aux températures de vaporisation. Dans ce dernier cas, le procédé Gay-Lussac-Hofmann est seul applicable, l'évaporation étant produite dans le vide.

Tout récemment, MM. Lunge et Nauberg ont modifié le procédé V. Meyer, en remplaçant l'eau par le mercure, et en y ajoutant un dispositif permettant de diminuer la pression au moment de l'essai.

TABLEAU I

DENSITÉS DE QUELQUES LIQUIDES (A 0° C)
(D'APRÈS MM. J. PIERRE ET H. KOPP)

Liquides	Densité à 0°	Liquides	Densité à 0°
Alcool éthylique	0,815	Nercaptan éthyli-	
" méthylique.	0,820	que	0,842
" amylique	0,827	Liqueur des Hol-	
Phénol	1,0597	landais	1,280
	à 33°	Aldéhyde.	0,805
Acide acétique an-		Acétone	0,814
hydre	1,0969	Valéraldéhyde	0,8224
Acide formique	1,222	Propionate d'é-	
Acide butyrique	0,981	thyle	0,923
Éther	0,735	" de Butyle.	0,713
Formiate de méth-		Benzine	0,899
thyle	0,998	Térébène.	0,878
Formiate d'éthyle.	0,935	Essence de citron.	0,847
" de butyle	0,866	" d'amandes	
Acétate d'éthyle	0,935	amères.	1,050
" de butyle.	0,8837	Essence de mou-	
Butyrate de mé-		tarde	1,0282
thyle	1,029	Sulfure decarbone.	1,263
Butyrate d'éthyle.	0,902	Brome	2,966
Valérate de mé-		Mercure	1,3596
thyle	0,901	Aniline	1,0361
Oxalate de méthyle }	1,1566	Protochlorure	
	à 50°	d'antimoine	2,675
Cinamate d'éthyle.	1,0656		à 73°
Nitrate d'éthyle	1,1322	Protobromure	
Carbonate d'éthyle	0,9998	d'antimoine	3,641
Succinate d'éthyle.	1,0718		à 90°
Chlorure d'amyle.	0,8859	Protochlorure de	
" d'acétyle.	1,1305	soufre	1,7055
" benzoyle.	1,232	Naphtaline	0,9778
Iodure d'amyle.	1,4676		à 79°
Chlorure de buty-		Acide sulfurique	
lène	1,0953	monohydraté.	1,848
Chloral	1,5183	AzO ³ HO	1,52
Nercaptan amyli-		AzO ³ 4HO.	1,42
que	0,8548	Acide hypoazoti-	
		que	1,451
		Acide cyanhydri-	
		que	0,697

TABLEAU II
DENSITÉS DE SOLUTIONS SALINES
A DIVERSES CONCENTRATIONS (15°C)

°/o	KOH	KCL	KBr	KJ	KNO ³	K ² SO ⁴	K ² CO ³	°/o
0	0,999	0,9991	0,9991	0,999	0,999	0,999	0,999	0
5	1,045	1,0316	1,034	1,037	1,031	1,040	1,045	5
10	1,092	1,0649	1,0711	1,077	1,064	1,083	1,092	10
15	1,141	1,0994	1,112	1,119	1,099	"	1,141	15
20	1,191	1,1351	1,155	1,165	1,125	"	1,192	20
25	1,242	(1,172)	1,203	1,217	"	"	1,245	25
30	1,295	"	1,353	1,270	"	"	1,300	30
35	1,349	"	1,308	1,330	"	"	1,358	35
40	1,406	"	1,367	1,395	"	"	1,417	40
45	1,466	"	1,431	1,468	"	"	1,479	45
50	1,528	"	1,499	1,545	"	"	1,543	50

°/o	AzH ³	AzH ⁴ Cl	NaOH	NaCl	NaNO ³	Acétate de soude	Na ² SO ⁴	°/o
0	0,999	0,9991	0,999	0,9991	0,999	0,999	0,999	0
5	0,978	1,0149	1,056	1,0354	1,032	1,026	1,045	5
10	0,958	1,0299	1,111	1,0724	1,067	1,052	1,092	10
15	0,941	1,0443	1,166	1,1105	1,103	1,078	1,143	15
20	0,924	1,0534	1,222	1,1501	1,141	1,105	"	20
25	0,910	1,0721	1,277	1,1913	1,181	1,133	"	25
30	0,897	"	1,333	"	1,223	1,161	"	30
35	0,885	"	1,387	"	1,267	"	"	35
40	"	"	1,442	"	1,314	"	"	40
45	"	"	1,496	"	1,365	"	"	45
50	"	"	1,548	"	1,417	"	"	50

TABLEAU II (suite)

DENSITÉS DE SOLUTIONS SALINES
DE DIVERSES CONCENTRATIONS (15°C)

0/0	BaCl ²	SrCl ²	CaCl ²	MgCl ²	MgSO ⁴	ZnSO ⁴	CuSO ⁴	0/0
0	0,999	0,999	0,999	0,999	0,9991	0,999	0,999	0
5	1,045	1,044	1,042	1,041	1,0507	1,052	1,050	5
10	1,094	1,092	1,086	1,085	1,1044	1,108	1,103	10
15	1,148	1,143	1,133	1,130	1,1612	1,168	1,161	15
20	1,205	1,198	1,181	1,177	1,2211	1,236	(1,225)	20
25	1,269	1,257	1,232	1,226	1,2837	1,307	„	25
30	„	1,321	1,286	1,278	„	1,382	„	30
35	„	„	1,343	1,333	„	„	„	35
40	„	„	1,402	„	„	„	„	40
45	„	„	„	„	„	„	„	45
50	„	„	„	„	„	„	„	50

0/0	AgAzO ³	Pb (C ² H ³ O ²) ²	HCl	HAzO ³	H ² SO ⁴	H ³ PO ⁴	Sucres	0/0
0	0,999	0,999	0,9991	0,999	0,9991	0,999	0,9991	0
5	1,043	1,037	1,024	1,029	1,034	1,027	1,0188	5
10	1,090	1,076	1,0490	1,058	1,0687	1,055	1,0394	10
15	1,141	1,119	1,0744	1,089	1,1048	1,094	1,0606	15
20	1,197	1,164	1,1001	1,121	1,1430	1,115	1,0826	20
25	1,257	1,213	1,1262	1,154	1,1816	1,147	1,1054	25
30	1,323	1,266	1,1524	1,187	1,223	1,181	1,1290	30
35	1,390	1,324	1,1775	1,220	1,264	1,216	1,1535	35
40	1,479	1,388	1,2007	1,253	1,307	1,253	1,1789	40
45	1,572	„	„	1,287	1,352	1,292	1,2051	45
50	1,677	„	„	1,320	1,399	1,333	1,2322	50

TABLEAU III

DENSITÉ DE QUELQUES SOLUTIONS SALINES
SATURÉES A 15°C

Acétate de plomb	1,236	Cyanoferrure de potassium	1,444
Borax	1,0199	Azotate de baryte	1,064
Carbonate de soude	1,167	Azotate de potasse	1,134
Chlorure d'ammonium	1,075	" de plomb	1,390
Chlorure de baryum	1,282	Phosphate de soude	1,046
Chlorure d'étain	1,827	Alun	1,048
" de potassium	1,181	Sulfate d'ammoniac	1,248
Chlorure de sodium	1,207	Sulfate de cuivre	1,285
Chromate de potasse	1,303	" de magnésie	1,275
Bichromate de potasse	1,061	Sulfate de potasse	1,077
		" de soude	1,108
		" de zinc	1,444
		Sucre candi	1,345

TABLEAU IV

DENSITÉS DE LA GLACE A DIVERSES TEMPÉRATURES
(BRUNNER)

0°	0,91800	11°	0,91924
1	0,91812	12	0,91935
2	0,91823	13	0,91946
3	0,91834	14	0,91957
4	0,91845	15	0,91968
5	0,91856	16	0,91980
6	0,91868	17	0,91991
7	0,91879	18	0,92002
8	0,91890	19	0,92013
9	0,91901	20	0,92025
10	0,91912		

TABLEAU V
DENSITÉS DES LIQUEURS NORMALES TITRÉES
(F. KOHLRAUSCH)

Solution normale de	Équivalent	g/100 grammes de solution	Densité à 18° C	Correction de densité par degré C
KOH	56,14	5,357	1,0479	0,00020
KCl	74,59	7,138	1,0450	0,00028
KBr.	119,1	11,01	1,0814	
KJ	166,04	14,845	1,1185	
KAzO ³	101,18	9,543	1,0602	
KC ² H ³ O ³	98,14	9,375	1,0463	
K ² SO ⁴	87,17	8,177	1,0160	0,00026
K ² CO ³	69,14	6,537	1,0577	0,00027
AzH ⁴ Cl	53,49	5,268	1,0153	0,00024
NaOH	40,06	3,844	1,0422	0,00022
NaCl	58,51	5,630	1,0392	0,00028
NAzO ³	85,10	8,071	1,0544	
NaC ² H ³ O ²	81,06	7,898	1,040	0,00022
Na ² SO ⁴	71,09	6,704	1,0504	0,00031
Na ² CO ³	53,06	5,045	1,0517	0,00029
LiOH	24,03	2,343	1,0258	
LiCl	42,48	4,157	1,0228	0,00022
Li ² SO ⁴	55,06	5,271	1,0446	
BaCl ²	104,0	9,550	1,0890	0,00031
SrCl ²	79,20	7,420	1,0674	0,00028
CaCl ²	55,45	5,313	1,0436	0,00025
MgCl ²	47,63	4,589	1,0379	0,00023
MgSO ⁴	60,22	5,695	1,0574	0,00027
ZnCl ²	68,1	6,435	1,0583	
ZnSO ⁴	80,7	7,480	1,0789	
CuSO ⁴	79,7	7,397	1,0775	
AgAzO ³	170,0	14,91	1,140	
HCl	36,45	3,587	1,0162	
HNAO ³	63,04	6,109	1,0319	
H ² SO ⁴	49,06	4,762	1,0302	0,00024

TABLEAU VI

DENSITÉS DE CORPS SOLIDES A 0°C

Aluminium fondu.	2,56	Nickel forgé.	8,67
" laminé.	2,67	Or fondu.	19,26
Antimoine . . .	6,72	" laminé . . .	19,36
Argent fondu . .	10,47	Osmium à 11°,5	22,477
Arsenic	5,67	Palladium . . .	12,05
Bismuth	9,82	Phosphore . . .	1,77
Bore cristallisé.	2,69	Platine fondu, à	
Cadmium fondu .	8,60	17°	21,504
" laminé	8,69	Plomb	11,35
Calcium	1,58	Potassium . . .	0,86
Carbone autara-	1,34	Rhodium	12,41
cite	à 1,46	Rubidium	1,52
Carbone, diamant.	3,50	Ruthénium . . .	12,261
"	à 3,53	Sélénium	4,30
" graphite . . .	2,09	Silicium cristallisé	2,65
	à 2,24	Sodium	0,97
Chrome	5,90	Soufre octaédrique	2,07
Cobalt fondu . .	7,81	" prismati-	1,96
Cuivre fondu . .	8,85	que	à 1,99
" laminé	8,95	Strontium	2,54
Étain	7,29	Tellure	6,24
Fer fondu	7,20	Thallium	11,86
" forgé	7,79	Titane	5,30
Glucinium	2,10	Tungstène	17,60
Indium	7,40	Zinc	7,19
Iode	4,95	Zirconium	4,14
Iridium pur à 17°	22,421	Fers météoriques .	7,30
Lithium	0,59		à 7,80
Magnésium . . .	1,74	Osmiure d'iridium.	21,12
Manganèse . . .	8,01	Corindon	4,00
Mercure à — 40°	14,39	Anatase	3,88
Molybdène . . .	8,60	Brookite	4,14
Nickel fondu . .	8,28	Rutile	4,28

TABLEAU VI (suite)

DENSITÉS DE CORPS SOLIDES A 0°C

Magnésie cristallisée	3,67	Zircon	4,04 à 4,67
Litharge	7,90	Acide iodique	4,250
Minium	8,94	" arsénieux	3,884
Quartz	2,65	" arsénique	4,250
Calcaire	2,70 à 2,73	Baryte	5,456
Aragonite	2,93	Strontiane	4,611
Dolomie	2,83 à 2,94	Chaux	3,180
Apatite	3,23	Alumine	4,154
Wagnérite	2,98 à 3,07	Oxyde de zinc	5,612
Amplugène	2,48	" de cuivre	6,332
Gypse	2,33	Chlorure de potassium	1,994
Blende	4,09	Chlorure de sodium	2,240
Cinabre	8,12 à 8,20	Chlorure de baryum	3,750
Galène	7,26 à 7,60	Chlorure de strontium	2,960
Orpiment	3,48	Chlorure de calcium	2,940
Réalgar	3,64	Protochlorure de fer	2,528
Pyrite martiale	5,02	Sulfure de potassium	2,130
Emeraude	2,69 à 2,74	Sulfure de sodium	2,471
Rubis oriental (corindon)	4,00	Carbonate de soude	2,509
Améthyste orientale (corindon)	4,00	Carbonate de potasse	2,267
Saphir oriental (corindon)	4,00	Carbonate de baryte	4,565
Topaze	3,51 à 3,55	Sulfate de potasse	2,625
		" de soude	2,629

TABLEAU VI (suite et fin)

DENSITÉS DE CORPS SOLIDES A 0°C

Sulfate de strontiane.	3,770	Sulfates cristallisés de zinc	2,036
Sulfate de chaux	3,102	Sulfates cristallisés de cuivre.	2,286
" de magnésie	2,628	Chlorures cristallisés de baryum.	2,664
Sulfate de zinc.	3,400	Chlorures cristallisés de strontium.	1,603
" de cuivre	3,530	Chlorures cristallisés de calcium.	1,435
" de fer	2,841	Chlorures cristallisés de magnésium.	1,558
" d'argent	5,410	Protochlorure de fer hydraté	1,926
" de plomb	6,300	Azotate cristallisé de strontium.	2,113
Azotate de potasse	1,940	Azotate cristallisé de calcium	1,780
" de soude	2,260	Na ² O, 2BcO ³ , 10H ² O	1,720
" de baryte	3,200	Borax fondu.	2,367
" de strontiane.	2,857	Cristal.	3,330
Azotate de chaux	2,240	Crown	2,447
" de plomb	4,581	Flint lourd	4,056
KOH	2,044	Verre à glaces	2,463
NaOH	2,130	" à vitres	2,527
BaO.	4,495	Porcelaine	2,23
SrO.	3,625		à 2,49
CaO.	2,078	Amidon	1,53
ZnO.	3,053	Caoutchouc	0,99
BaO + 9H ² O	1,656	Gutta-percha	0,97
SrO + 9H ² O	1,396	Coton	1,90
Sulfates cristallisés de soude	1,520	Lin	1,79
Sulfates cristallisés de chaux	2,331	Laine	1,61
Sulfates cristallisés de magnésie.	1,751		
Sulfates cristallisés d'alumine	1,569		
Sulfates cristallisés de protoxyde de fer	1,904		

TABLEAU VII

DENSITÉS DE QUELQUES ALLIAGES

Acier fondu	7,717
" trempé	7,816
Bronze des canons	8,43 à 9,24
Cuivre 10. Argent 90	10,121
Aluminium 10. Cuivre 90.	7,500
Laiton	7,30 à 8,65
Mallechort.	8,615
Fonte blanche.	7,44 à 7,84
" grise.	6,79 à 7,05
Platine 90. Iridium 10, à 17°	21,615
" 85. Iridium 15, à 17°	21,618
" 66,67. Iridium 33,33, à 17°	21,874
" 5. Iridium 95, à 17°	22,384
PbSn	9,42
Pb ² Sn.	10,07
Pb ³ Sn.	10,38
Pb ⁴ Sn.	10,55
Sn ² Pb.	8,74
Sn ³ Pb.	8,39
Sn ⁴ Pb.	8,17
Sn ⁵ Pb.	7,92
HgSn	10,34
Hg ² Sn	11,37
Sn ² Hg	9,31
Sn ³ Hg	8,82
Pb ² Hg	11,06
Na ² Hg	10,959

TABLEAU VIII

DENSITÉS DE QUELQUES COMPOSÉS NOUVEAUX
OBTENUS PAR M. MOISSAN

Borure de carbone (Bo^6C)	2,51
Borure de fer (BoFe)	7,15
Carbure d'aluminium cristallisé (C^3AL^6)	2,36
" de baryum (C^2Ba)	3,75
" " calcium (C^2Ca)	2,22
" " cérium	5,23
" " chrome (C^2Cr^3)	6,45
" " " (C^2Cr^4)	6,75
" " lanthane	5,02
" " lithium	1,65
" " manganèse	6,89
" " molybdène (CMo^2)	8,90
" " strontium (C^2Str)	3,19
" " thorium	8,96
" " titane (CTi)	4,25
" " tungstène	16,06
" " uranium	11,28
" " vanadium	5,36
" " yttrium	4,13
Chaux cristallisée (CaO)	3,29
Iodure de bore (BoI^3)	3,30
Magnésie fondue (MgO^2)	3,65
Pentasulfure de bore (Bo^2S^3)	1,85
Proto-iodure de carbone (C^2I^4)	4,38
Siliciure de carbone (SiC)	3,12
Trisulfure de bore (Bo^2S^3)	1,55

TABLEAU IX
DENSITÉS DES DIVERS BOIS (DÜRRE)

Désignation des bois	Bois verts		Bois secs	
	Minimum et maximum	Moyenne	Minimum et maximum	Moyenne
Acajou	//	//	0,563 — 1,063	0,813
Aune	0,809 — 0,994	0,901	0,423 — 0,680	0,551
Bouleau	0,841 — 0,987	0,919	0,591 — 0,738	0,664
Buis	//	1,030	0,912 — 1,031	0,971
Cedre	//	//	0,561 — 0,575	0,568
Cerisier	//	0,928	0,577 — 0,715	0,646
Chêne	0,885 — 1,062	0,973	0,650 — 0,920	0,785
Ébène	//	//	1,187 — 1,331	1,259
Épine blanche	//	//	//	0,871
Érable	0,843 — 0,944	0,893	0,612 — 0,750	0,681
Frêne	0,778 — 0,927	0,852	0,540 — 0,845	0,692
Galie	//	//	1,263 — 1,342	1,302
Hêtre rouge	0,852 — 1,109	0,980	0,596 — 0,852	0,721
" blanc	0,939 — 1,137	1,038	0,728 — 0,790	0,759
Liège	//	//	//	0,240
Maronnier	//	//	0,551 — 0,610	0,580
Mélèze	0,694 — 0,924	0,809	0,473 — 0,565	0,519
Noyer	//	0,880	0,660 — 0,811	0,735
Orme	0,878 — 0,941	0,909	0,568 — 0,671	0,619
Osier	0,715 — 0,855	0,785	0,392 — 0,530	0,461
Pin	0,794 — 0,993	0,893	0,376 — 0,481	0,428
Pin rouge	0,811 — 1,005	0,908	0,463 — 0,763	0,613
Peuplier	0,758 — 0,956	0,827	0,353 — 0,591	0,472
Pommier	0,910 — 1,137	1,048	0,674 — 0,793	0,733
Poirier	//	//	0,646 — 0,732	0,689
Prunier	//	//	0,734 — 0,872	0,813
Sapin	//	0,894	0,455 — 0,746	0,600
Tilleul	0,710 — 0,878	0,794	0,439 — 0,604	0,522

TABLEAU X
DENSITÉ APPARENTE DE QUELQUES MATIÈRES
EMPLOYÉES DANS L'INDUSTRIE

Terre végétale	1,234	Pierre de Volvic	2,320
Terre forte	1,397	// de liais	2,350
Argile et glaise	1,706	// meulière	2,483
Marne	1,600	// fine de Meudon	2,435
Sable fin et sec	1,419	// ponce	0,914
// humide	1,900	Grès dur	2,600
// fossile et argileux	1,743	Granit	2,700
// de rivière humide	1,811	Marbre de Fély	2,750
Gravier caillouté	1,410	// noir	2,823
Ciment de terre cuite	1,191	// blanc	2,726
Chaux vive sortant du four	0,830	// du Languedoc	2,720
Chaux éteinte en pâte ferme	1,378	// de Jemmapes	2,690
Mortier de chaux et de sable	1,800	// des Ardennes	2,690
// ciment	1,686	// du Pas-de-Calais	2,690
// mâchefer	1,120	Plâtre cuit battu	1,210
Brique de Bourgogne	1,550	// tunisé	1,250
// Sarcelles	1,460	// gaché humide	1,590
Crâie	1,244	// gaché sec	1,400
Pierre de Saint-Leu	1,620	Maçonnerie fraîche en	
// de Vergèlé	1,700	pierre de taille	2,550
// dite Lambourde	1,800	Maçonnerie en moellons	2,240
// de Tracy	1,900	// en briques	2,270
// de Tonnerre	2,000	// en cailloux	2,350
// à plâtre crue	2,223	Silex meulière	2,480
// de Montrouge	2,300	Cailloux	2,600
// de Vaugirard	2,300	Béton de cailloux	2,485
// de Passy (roche)	2,400	// de meulière	2,700
// de Saillancourt	2,400		

TABLEAU XI

DENSITÉ APPARENTE DE QUELQUES SUBSTANCES TASSÉES

Avoine	0,45
Blé	0,75
Chanvre	0,45
Charbon de bois	0,15 à 0,25
Chicorée.	0,35
Cendres de bois	0,45
Coke en morceau	0,35 à 0,60
" en poudre	0,77
Colza d'été	0,64
" d'hiver	0,68
Craie en poudre	0,85 à 0,92
Cumin	0,45
Farine	0,75
Fécule	0,71
Haricots blancs	0,86
Houille	0,75 à 0,95
Lentilles.	0,80
Lignite allemand.	0,60 à 0,75
Lin.	0,65
Maïs	0,73
Malt sec.	0,52
" vert	0,45
Millet.	0,64
Navette d'été	0,60
" d'hiver	0,65
Orge	0,64
Paille.	0,65 à 0,75
Plâtre battu	1,19 à 1,22
" tamisé	1,25
" moulu	1,25
Pois	0,80
Sable fin humide	1,90 à 2,05
Sable fin sec	1,40 à 1,64
" gros	1,37 à 1,49
Sarrasin.	0,64
Seigle.	0,78
Terre végétale	1,21 à 1,28
Tourbe	0,30 à 0,40

TABLEAU XII
 DENSITÉ ABSOLUE DE L'AIR ATMOSPHÉRIQUE SEC
 (A LA TEMPÉRATURE t
 ET A LA PRESSION BAROMÉTRIQUE b)

t	$b = 720\text{mm}$	730mm	740mm	750mm	760mm	770mm
0°	0,001225	0,001242	0,001259	0,001276	0,001293	0,001310
1	0,001221	0,001238	0,001255	0,001272	0,001289	0,001306
2	0,001216	0,001233	0,001250	0,001267	0,001284	0,001301
3	0,001212	0,001229	0,001246	0,001262	0,001279	0,001296
4	0,001208	0,001224	0,001241	0,001258	0,001275	0,001291
5	0,001203	0,001220	0,001237	0,001253	0,001270	0,001287
6	0,001199	0,001216	0,001232	0,001249	0,001266	0,001282
7	0,001195	0,001211	0,001228	0,001244	0,001261	0,001278
8	0,001190	0,001207	0,001223	0,001240	0,001257	0,001273
9	0,001185	0,001203	0,001219	0,001236	0,001252	0,001269
10	0,001182	0,001198	0,001215	0,001231	0,001248	0,001264
11	0,001178	0,001194	0,001211	0,001227	0,001243	0,001260
12	0,001174	0,001190	0,001206	0,001223	0,001239	0,001255
13	0,001170	0,001186	0,001202	0,001218	0,001235	0,001251
14	0,001165	0,001182	0,001198	0,001214	0,001230	0,001246
15	0,001161	0,001178	0,001194	0,001210	0,001226	0,001242
16	0,001157	0,001174	0,001190	0,001206	0,001222	0,001238
17	0,001153	0,001169	0,001185	0,001201	0,001218	0,001234
18	0,001149	0,001165	0,001181	0,001197	0,001213	0,001229
19	0,001146	0,001161	0,001177	0,001193	0,001209	0,001225
20	0,001142	0,001157	0,001173	0,001189	0,001205	0,001221
21	0,001138	0,001154	0,001169	0,001185	0,001201	0,001217
22	0,001134	0,001150	0,001165	0,001181	0,001197	0,001213
23	0,001130	0,001146	0,001161	0,001177	0,001193	0,001209
24	0,001126	0,001142	0,001158	0,001173	0,001189	0,001204
25	0,001122	0,001138	0,001154	0,001169	0,001185	0,001200
26	0,001119	0,001134	0,001150	0,001165	0,001181	0,001196
27	0,001115	0,001130	0,001146	0,001161	0,001177	0,001192
28	0,001111	0,001127	0,001142	0,001158	0,001173	0,001188
29	0,001108	0,001123	0,001138	0,001154	0,001169	0,001184
30	0,001104	0,001119	0,001135	0,001150	0,001165	0,001181

CHAPITRE II

—

CHANGEMENT D'ÉTAT PHYSIQUE

Définition. — Sous une pression déterminée, celle de 760 millimètres de mercure par exemple, les composés chimiques bien définis sont caractérisés par les températures auxquelles s'opèrent leur passage de l'état solide à l'état liquide, de ce dernier à l'état gazeux et *vice versa*. Il suffit souvent de déterminer le point de fusion d'un corps solide, le point d'ébullition ou de congélation d'un liquide pour en tirer des conclusions sur la nature et la pureté du composé chimique considéré.

La détermination du point d'ébullition et de fusion occupe une place très large dans l'analyse chimique et industrielle. L'étude du point d'ébullition ou de l'abaissement du point de congélation de certaines solutions conduisent à la détermination des poids moléculaires.

Point d'ébullition. — Les appareils employés pour la détermination du point d'ébullition des liquides, désignés sous le nom d'*ébullioscopes* ou *ébulliomètres*, bien que très variés, sont tous basés sur le même principe.

Un réservoir à liquide est fermé d'un bouchon donnant passage à des tubes condenseurs, d'une part, et à un thermomètre sensible, d'autre part. On porte le liquide à l'ébullition pendant quelques minutes ; ses vapeurs étant condensées par le réfrigérant, la concentration reste la même et le thermomètre indique la température d'ébullition à la pression extérieure.

Ces appareils, employés particulièrement en œnologie, sont décrits en détail dans l'excellent livre de M. le D^r Magnier de la Source, paru dans l'*Encyclopédie Scientifique des Aide-Mémoire* ; nous y renvoyons le lecteur pour plus amples renseignements.

Quant aux corrections qu'il convient d'apporter aux observations faites à une pression différente de la normale, elles sont les mêmes pour les corps appartenant à la même famille ayant des points d'ébullition rapprochés. Le tableau suivant indique les corrections de pression, pour un grand nombre de corps, déduites des essais faits au thermomètre à air par MM. Regnault, Ramsay, Young et Crafts.

CORRECTIONS DES POINTS D'ÉBULLITION POUR DIVERSES PRESSIONS

Pression en	Fau	Alcool éthylique	Alcool propylique	Alcool amylique	Oxalate de méthyle	Saliolate de méthyle	Anhydride Malique	Phénol	Aniline	Bromobenzène	Essence de térébenthine	Naphtalène	Dihé- myméthane
727	+ 2,0	+ 1,96	+ 1,52	+ 1,52	+ 1,8	+ 2,3	+ 2,7	+ 2,00	+ 2,09	+ 2,12	+ 2,28	+ 2,38	+ 2,69
725	+ 3,1	+ 1,81	+ 1,33	+ 1,44	+ 1,63	+ 2,01	+ 2,35	+ 1,75	+ 1,82	+ 1,85	+ 1,99	+ 2,07	+ 2,34
722	+ 4,0	+ 1,01	+ 1,13	+ 1,23	+ 1,39	+ 1,72	+ 1,99	+ 1,49	+ 1,55	+ 1,58	+ 1,70	+ 1,77	+ 2,00
720	+ 6,0	+ 0,80	+ 0,61	+ 1,02	+ 1,16	+ 1,43	+ 1,67	+ 1,23	+ 1,29	+ 1,31	+ 1,42	+ 1,47	+ 1,66
717	+ 7,1	+ 0,60	+ 0,55	+ 0,41	+ 0,92	+ 1,14	+ 1,31	+ 0,66	+ 1,03	+ 1,05	+ 1,13	+ 1,18	+ 1,33
715	+ 9,0	+ 0,50	+ 0,56	+ 0,31	+ 0,66	+ 0,86	+ 0,88	+ 0,24	+ 0,78	+ 0,79	+ 0,85	+ 0,88	+ 0,99
712	+ 10,3	+ 0,33	+ 0,37	+ 0,40	+ 0,46	+ 0,57	+ 0,55	+ 0,49	+ 0,52	+ 0,52	+ 0,56	+ 0,59	+ 0,66
710	+ 11,8	+ 0,19	+ 0,10	+ 0,20	+ 0,23	+ 0,28	+ 0,32	+ 0,25	+ 0,26	+ 0,26	+ 0,28	+ 0,29	+ 0,33
707	+ 13,0	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00
705	+ 14,8	+ 0,16	+ 0,18	+ 0,20	+ 0,23	+ 0,28	+ 0,30	+ 0,25	+ 0,25	+ 0,26	+ 0,28	+ 0,29	+ 0,33
702	+ 16,3	+ 0,32	+ 0,39	+ 0,39	+ 0,45	+ 0,56	+ 0,60	+ 0,49	+ 0,50	+ 0,51	+ 0,56	+ 0,58	+ 0,66
Pt. Eb	100	78	97	130	167	223	286	183	187	156	159	218	265
H=760													

La température d'ébullition d'une solution saline augmente avec la concentration. Le tableau XIII, dressé par M. Legrand, indique cette température suivant la concentration.

Nous parlerons plus loin de l'application de ce phénomène aux mesures des poids moléculaires (d'après Beckmann).

Point de fusion. — La détermination du point de fusion joue un rôle important dans l'analyse des matières grasses. De toutes les méthodes proposées à cet effet, nous n'en décrivons que deux, qui sont d'une exécution facile et donnent

des résultats certains.

a) *Procédé classique.* —

On prend un tube V de verre mince (fig. 19) ayant 8 à 9 millimètres de diamètre intérieur effilé à la lampe, et l'on bouche l'extrémité en l'introduisant un instant dans la flamme.



Après le refroidissement, on engage le tube V, ainsi qu'un thermomètre sensible T, dans un bouchon que l'on adapte au col d'un grand ballon B rempli d'eau distillée.

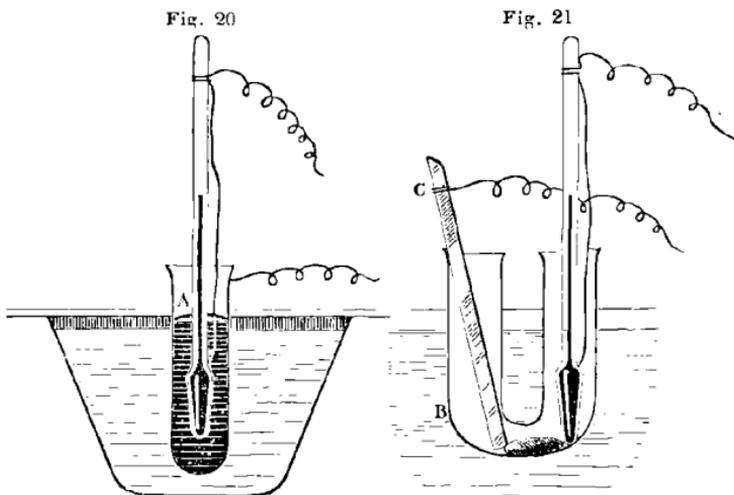
On laisse alors tomber dans le tube un petit morceau du corps dont on veut déterminer le

point de fusion, et qui s'arrête en m du tube V; puis on chauffe lentement le ballon et dès que la température est atteinte, on en est averti par le mouvement de descente du corps en m et par l'aspect qu'il prend en s'étalant sur la paroi du tube V. On observe alors le thermomètre.

b) *Procédé Himly*. — Il consiste à intercaler, dans un circuit traversé par un courant électrique, un thermomètre que l'on rend conducteur en recouvrant son réservoir d'une mince couche d'argent. Cette argenture du réservoir est une opération un peu délicate qui a détourné quelques physiciens du procédé Himly. M. Vandevyver, chef des travaux pratiques à l'Université de Gand, a cherché à supprimer cette difficulté et il y a heureusement bien réussi en enveloppant le réservoir cylindrique du thermomètre par les spires serrées d'un fil de cuivre ou de platine, préparé pour servir de conducteur électrique; cet enroulement étant achevé, on dénude le fil, de manière que la partie externe de l'hélice soit entièrement métallique et on laisse pendre environ 0^m,50 du fil non dépouillé de son isolant. En somme, il faut un thermomètre dont le réservoir soit métallique. Un seul et même thermomètre peut être employé pour les corps conducteurs ou non conducteurs de l'électricité, mais la disposition de l'expérience diffère suivant le cas.

Le corps non conducteur recouvre le thermomètre comme un vernis et l'isole du mercure A dans lequel il est plongé (*fig. 20*); au moment où la fusion commence, le contact s'établit et la sonnerie appelle l'attention de l'observateur sur le thermomètre.

Pour les corps conducteurs, l'opération s'exécute dans un tube B de porcelaine recourbé en U



(*fig. 21*) dans l'une des branches duquel se trouve un thermomètre et dans l'autre une baguette du métal à essayer C. Le thermomètre et la baguette appartiennent au circuit : il sera fermé par les premières gouttes du métal fondu qui s'amasseront au fond du tube. Le tube est chauffé au bain-marie dans l'eau ou dans une solution

saline, ou encore dans la glycérine saturée de chlorure de calcium ; pour fondre les métaux, on peut recourir à un alliage, ou bien au mercure.

Le circuit comprend le fil du thermomètre, une pile Leclanché et une sonnerie, et il se termine au mercure du tube A ou bien à la baguette fusible.

Mesure des poids moléculaires par l'abaissement du point de congélation de dissolutions. — L'intérêt que présente l'observation de l'abaissement du point de congélation d'une solution, se rattache à la loi générale que M. F. M. Raoult a déduit de ses nombreux essais et d'après laquelle, *différentes matières abaissent de la même quantité le point de congélation d'un même dissolvant, si elles sont dissoutes en quantités proportionnelles à leurs équivalents.* Pour chaque dissolvant, il existe une constante caractéristique C que l'on obtient d'après Raoult par la formule

$$C = \frac{ME}{P}.$$

Dans laquelle M = poids moléculaire de la matière dissoute, E = l'abaissement de la température de congélation, P = son poids en grammes, pour 100 grammes de dissolvant.

M. Van't Hoff a indiqué la formule

$$\frac{ME}{p} = 0,02 \frac{T^2}{W}$$

dans laquelle M et E ont la même signification que dans la formule précédente, p = poids de la matière, en grammes, pour 100 grammes de la dissolution, T = température de fusion du dissolvant et W = sa chaleur latente de fusion.

L'expérience a prouvé que les expressions C et $\frac{0,02 T^2}{W}$ ont des valeurs presque identiques, comme l'indique le tableau suivant :

Dissolvants	C	$\frac{0,02 T^2}{W}$
Eau	18,5	18,9
Acide acétique.	38,6	38,8
Benzine	50	53
Phénol	74	76
Naphtaline	69	69,4
Acide formique	27,7	28,4
Nitrobenzine	70,7	69,5

Appareil de Beckmann pour l'essai de congélation. — C'est celui qui convient le mieux aux mesures de ce genre (*fig. 22*).

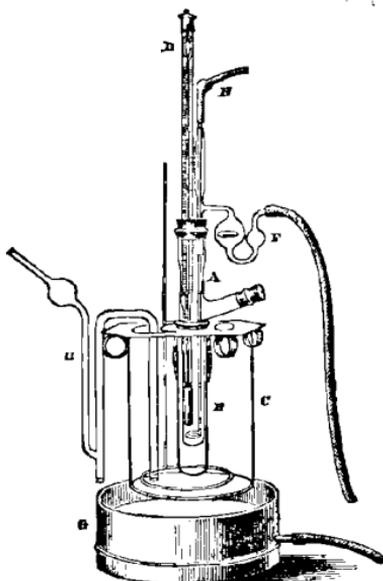
Le tube A contient un thermomètre D gradué en centièmes de degré et un agitateur recourbé E en platine. On y introduit une quantité déterminée du dissolvant, puis on le place dans une éprouvette un peu large B; on fixe le tout dans le couvercle d'un vase épais C qui

contient de l'eau ou un mélange réfrigérant dont la température est inférieure de 2 à 3 degrés au point de congélation du liquide.

On observe la marche du thermomètre en agitant constamment (on facilite encore l'agitation en introduisant dans A quelques rognures de platine). Au commencement, le thermomètre descend au-dessous du point de congélation par suite de la surfu-

sion ; il remonte à cette température, au moment où une partie de la substance se solidifie. Lorsqu'on a ainsi déterminé exactement le point de congélation du dissolvant, on introduit par le tube latéral une quantité donnée de la matière en question, on mélange et l'on recommence l'expérience. La congélation se produit à une température plus basse et la différence entre les deux tempéra-

Fig. 22



tures est la valeur E que nous avons employée dans nos équations. Avec des solutions fortement concentrées, il peut arriver que l'on ait refroidi notablement au-dessous du point de congélation; au moment de la solidification, on obtient alors une grande masse de glace.

Mais la dissolution restante se trouve ainsi concentrée et la température observée est trop basse. On fait alors fondre de nouveau la majeure partie de la glace en chauffant, et on n'introduit l'appareil dans le récipient à refroidissement, que lorsqu'il n'en reste qu'une petite quantité.

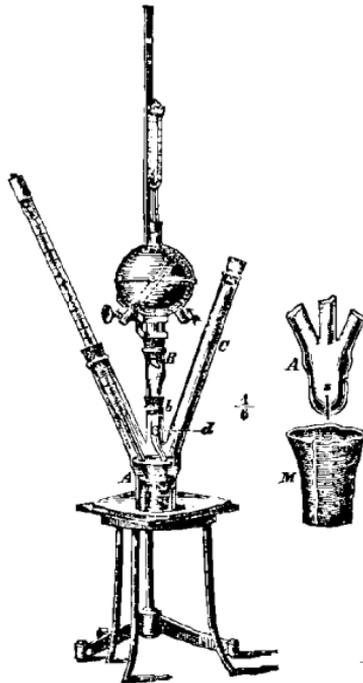
Dans la nouvelle construction de l'appareil Beckmann (*fig. 22*) l'agitateur E est placé dans un tube creux où l'on fait passer un courant d'air desséché par l'acide sulfurique contenu en F , ce qui est nécessaire surtout aux essais de substances hygroscopiques. Un siphon H plongé dans C permet de soutirer le liquide réfrigérant qui s'écoule directement dans le support creux G . Le thermomètre de Beckmann possède, dans sa partie supérieure, une ingénieuse disposition permettant de déplacer une partie du mercure du réservoir, afin de pouvoir employer le thermomètre par les températures les plus diverses. C'est donc un thermomètre différentiel, dans le genre des thermomètres métastatiques de Valfredin.

Appareils de Beckmann pour mesurer l'élevation du point d'ébullition. — M. Beckmann a proposé deux appareils différents, l'un (*fig. 23*), pour les dissolvants dont le point d'ébullition ne dépasse pas 130° C, l'autre (*fig. 24*), pour les dissolvants ayant un point d'ébullition plus élevé.

a) Dans l'appareil représenté par la *fig. 23*, la pièce principale A est un matras à trois goulots dont l'un reçoit le thermomètre différentiel décrit plus haut, dans l'autre, est fixé, B, un réfrigérant métallique de Soxhlet

portant un tube de chlorure de calcium dans son orifice supérieur; le goulot C fermé par un bouchon de liège fin sert pour l'introduction de la substance dans le dissolvant bouillant. Le matras A est placé dans un manchon appro-

Fig. 23

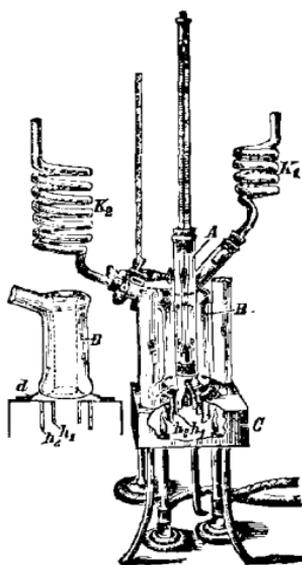


prié M, en amiante, que l'on met dans un support formé de deux plaques d'amiante accouplées, dont l'une possède une ouverture correspondant au manchon M. Afin d'éviter toute secousse pendant l'ébullition, on a soudé au fond du matras A, un gros fil de platine de sorte que les bulles de vapeur ne partent que de ce point. On place un peu de soie de verre sur le fil de platine et l'on remplit la moitié du matras avec des perles en verre bien nettoyées. On pèse le matras A ainsi préparé, on introduit le dissolvant jusqu'au niveau indiqué sur la figure et l'on pèse de nouveau. On a ainsi le poids du dissolvant. On commence à chauffer doucement, la cuvette du thermomètre étant placée dans le liquide sans toutefois toucher les perles. On règle le chauffage par la rapidité de la condensation dans le réfrigérant, une goutte toutes les 2 à 5 secondes pour l'éther et le sulfure de carbone, toutes les 5 à 10 secondes pour l'alcool, la benzine ou l'acide acétique. Dès que l'on a atteint le point d'ébullition du dissolvant, et que ce dernier reste stationnaire pendant quelques minutes, on introduit la substance par C, en y employant certains artifices, suivant la nature de cette substance. La longueur du tube C et la rapidité de l'opération empêchent toute évaporation du dissolvant. On observe alors la marche du thermomètre, qui descend d'abord,

remonte ensuite par la dissolution complète de la substance pour rester finalement stationnaire. C'est le point d'ébullition de la dissolution, que l'on observe soigneusement, en même temps que la température ambiante et la pression barométrique. Si l'on opère rapidement, par un temps régulier, on peut négliger ces dernières observations, puisque le point d'ébullition observé n'est que différentiel.

b) Dans l'appareil représenté par la *fig.* 24 le matras A a une tubulure latérale fermée par un bouchon portant un serpentin K, tandis que la tubulure supérieure reçoit le thermomètre. Ce matras A est fixé moyennant un étui *a*, en amiante, dans le manchon à vapeur B, en verre ou en cuivre, portant dans une tubulure latérale un réfrigérant K_2 . Le manchon B reçoit le même dissolvant que le matras A, afin de mettre ce dernier à l'abri de l'influence de la température

Fig. 24



ambiante. A et B sont placés dans une boîte de chauffage C en amiante, ayant des ouvertures spéciales h_1 et h_2 destinées à régulariser la transmission de la chaleur des deux flammes latérales, le contact direct de la flamme avec A étant évité. La manipulation est la même que pour l'appareil précédent.

L'usage de ces appareils présente de nombreux avantages, tels que l'emploi de petites quantités de substances et de dissolvant, la rapidité de l'opération, c'est-à-dire l'obtention d'une température invariable, et le chauffage très commode sans régulateur à gaz, etc.

Le calcul des résultats d'observation est basée sur la formule de Van t'Hoff

$$\frac{M. T_1 - T_0}{p} = \frac{0,02 T_0^2}{W}$$

dans laquelle : M = poids moléculaire, p = poids de la matière pour 100 p. de dissolvant ; $T_1 - T_0$ = l'augmentation du point d'ébullition et W = chaleur latente de vaporisation de dissolvant.

M. Beckmann a vérifié la constante $0,02 T_0^2$ pour un grand nombre du dissolvants, en expérimentant avec des substances dont les poids moléculaires sont connus.

C'est dans le grand choix de dissolvants que réside l'avantage précieux des méthodes basées sur l'augmentation du point d'ébullition, tandis-

que la méthode de congélation est plus rapide et indépendante des variations atmosphériques.

Voici quelques données de M. Beckmann :

Dissolvants	Point d'ébullition	Augmentation moléculaire du point d'ébullition
Éther éthylique.	34 ^o ,97	21 ^o ,1
Sulfure de carbone	46, 2	23, 7
Acétone	56, 3	16, 7
Chloroforme	61, 2	36, 6
Acétate d'éthyle	74, 6	26, 1
Alcool éthylique	78, 3	11, 5
Benzine.	80, 3	26, 7
Eau	100	5, 2
Acide acétique	118, 1	25, 3
Bromure d'éthyle	131, 6	63, 2
Phénol	182, 3	30, 4
Aniline.	183, 7	32, 2

Points critiques. — En comprimant progressivement un gaz, tout en le maintenant à une température constante convenablement choisie, on arrive à une limite de pression que l'on ne peut dépasser sans liquéfier partiellement le gaz. A ce moment, le gaz est saturé. Mais cette liquéfaction de gaz n'est pas réalisable au-dessus d'une température déterminée, même en poussant très loin la compression.

Cette température limite s'appelle la *température critique* du gaz, et la pression limite, que

TABLEAU XIII
POINTS D'ÉBULLITION DE SOLUTIONS SALINES (LEGRAND)

Température de déboullition	Chlorure de calcium	Acétate de potasse	Nitrate d'ammoniaque	Nitrate de chaux	Carbonate de potasse	Acétate de soude	Nitrate de soude	Chlorure de strontium	Nitrate de potasse	Chlorhydrate d'ammoniaque	Tartrate de potasse (neutre)	Chlorure de potasse	Chlorure de sodium	Chlorure de potassium
101°	10,0	10,5	10,0	10,0	13,0	9,9	9,3	16,7	12,2	7,8	26,9	14,64	57	9,0
102	16,5	20,0	20,5	25,5	22,5	17,6	18,7	25,2	26,4	13,9	47,2	29,28	13,4	7,1
103	21,6	28,6	31,3	34,4	31,0	24,1	28,2	32,1	42,2	19,7	63,0	43,92	18,3	24,5
104	25,8	36,4	42,1	42,6	38,8	30,5	37,9	37,9	59,6	25,2	82,3	58,46	23,1	31,4
105	29,4	43,4	53,8	50,4	46,1	36,7	47,7	43,4	78,3	30,5	100,1	104,20	27,7	37,8
106	32,6	49,8	65,4	57,8	53,1	42,9	57,6	48,8	98,2	35,7	118,5	61,5	31,8	44,2
107	35,6	55,8	77,3	64,9	59,6	49,3	67,7	51,0	119,0	41,3	137,3	61,5	35,8	50,5
108	38,5	61,6	89,1	71,8	65,9	55,8	77,9	59,0	140,6	47,3	156,5	39,7	39,7	56,9
109	41,3	67,4	101,9	78,6	71,9	62,4	88,3	63,9	163,0	53,5	176,1			
110	44,0	73,3	114,9	83,0	77,6	69,2	98,9	68,9	185,9	59,9	196,2			
112	89,7	85,3	142,1	98,4	88,2	83,4	120,7	79,6	233,0	73,3	237,9			
114	55,6	97,6	172,0	111,2	98,0	98,8	142,4	91,2	283,8	88,1	281,6			
116	61,6	110,3	224,4	123,8	107,5	115,8	165,2	104,0	115,99	114,20	114,70			
									335,1	88,9	276,2			

l'on ne peut dépasser à moins de changer l'état physique du gaz, s'appelle la *pression critique*. Elle est donc la limite vers laquelle tend la pression de la vapeur saturée lorsque la température tend vers la température critique.

Ces phénomènes, observés en 1869 par Andrews dans ses expériences sur l'acide carbonique, ont été déterminés sur un grand nombre de corps gazeux et M. Van der Waals en déduit une loi générale qui, sans être d'une exactitude absolue, est confirmée par bien des faits observés. Ce résultat s'énonce comme il suit :

Si l'on rapporte respectivement le volume, la pression et la température d'un fluide aux valeurs que ces trois variables ont au point critique, toute relation physique entre ces rapports est indépendante de la nature du corps.

Un tableau complet et des points critiques de divers corps gazeux, dressé par M. Mathias, se trouve dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes*, 1897, auquel nous renvoyons le lecteur.

CHAPITRE III

VISCOSITÉ ET CAPILLARITÉ

A. VISCOSITÉ

Définition. — La viscosité d'un liquide est la résistance que la cohésion oppose au déplacement des molécules les unes par rapport aux autres. C'est ce que l'on désigne en physique, sous le nom de *frottement interne*. La mesure de la viscosité représente l'effort qu'il faut développer pour vaincre la cohésion du liquide considéré. La viscosité joue un rôle important dans bien des questions industrielles, et présente également un grand intérêt théorique.

La viscosité varie avec la nature du liquide. Elle décroît avec l'augmentation de température et cette variation varie d'un liquide à l'autre.

Unité de viscosité. — La valeur η , par laquelle est représentée le coefficient de frottement interne, est égale au travail nécessaire pour déplacer en une seconde deux surfaces planes, d'un

centimètre carré, parallèlement à elles-mêmes, d'une quantité égale à leur distance. Cette unité, représentant la viscosité absolue, est très petite, elle est pour l'eau à $0^{\circ} = 0^{\text{mg}},018086$, et à $20^{\circ} \text{ C.} = 0^{\text{mg}},010164$.

Mais la détermination des valeurs absolues de η étant très délicate, et présentant parfois de sérieuses difficultés, on se contente généralement de mesurer le frottement interne d'un liquide comparativement avec celui d'un autre, de la même température, pris comme type, et l'on a ainsi la viscosité relative. En prenant comme unité la viscosité de l'eau à une température déterminée (20° C.) on obtient la viscosité spécifique (v_s) permettant de comparer entre eux les liquides les plus divers.

Formule de Poiseuille. — La meilleure méthode pour la détermination de la viscosité consiste à étudier l'écoulement des liquides à travers des tubes cylindriques. Dans ce cas, on se sert de la formule de Poiseuille

$$\eta = \frac{H\pi r^4}{8lv}$$

H étant la pression exprimée en hauteur du liquide ; r , le rayon du tube ; π , le nombre bien connu 3,1415 ; l , sa longueur et v , le volume du liquide qui s'écoule pendant l'unité de temps. Cette formule a été vérifiée par M. Couette, qui

a démontré sa parfaite exactitude. D'après ce savant, la capillarité du tube n'influence en rien la loi de Poiseuille, puisqu'on obtient le même résultat avec des tubes en verre, en métal et en paraffine.

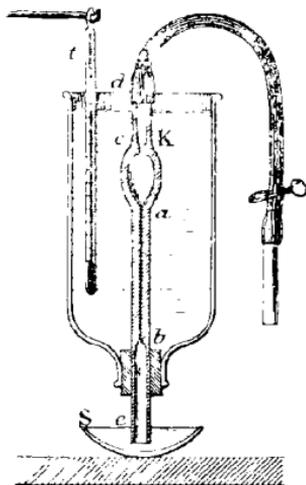
Détermination de la viscosité. — En se servant du même appareil, respectivement du même tube capillaire, pour l'essai de divers liquides, c'est-à-dire en se plaçant dans de telles conditions que dans la formule indiquée ($\eta = \frac{H\pi r^4}{8lv}$), la valeur $\frac{H\pi r^4}{8l}$ soit invariable et égale à K, on aura $v\eta = K$, c'est-à-dire que le volume écoulé pendant l'unité de temps est inversement proportionnel à la viscosité. Si l'appareil est disposé de façon à ce que le volume soit toujours le même, mais le temps d'écoulement variable, c'est le temps T d'écoulement du liquide type qui exprimera la viscosité.

Appareil Ostwald. — L'appareil représenté par la *fig.* 25, construit par Ostwald, est un de ceux qui conviennent le mieux pour ces déterminations. Il consiste essentiellement en un tube *de* dont la partie supérieure, d'un diamètre de quelques millimètres, s'élargit en *c*, pour former la boule K ; au-dessous de cette boule se trouve la partie capillaire *ab* qui s'élargit de nouveau de *b* en *e*.

Le tube *de* est placé dans une cloche remplie

d'eau et munie d'un thermomètre T. On remplit

Fig. 25



l'appareil par aspiration jusqu'au-dessus d'un repère marqué sur la partie supérieure et l'on détermine le temps que met la surface supérieure du liquide à passer du repère supérieur au repère inférieur.

Soit t ce temps, pour un liquide de densité S , et t' , le temps correspondant pour l'eau; la viscosité relative sera

$$\rho = \frac{St}{t'}$$

les pressions dans les deux cas étant dans les rapports de $\frac{S}{1}$.

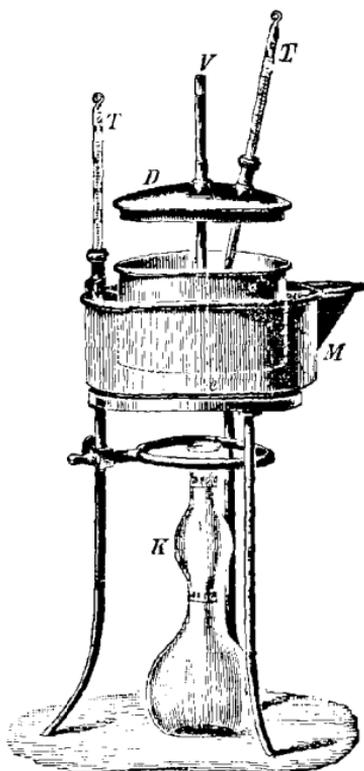
Viscosimètres industriels. — Les appareils employés dans les essais industriels diffèrent suivant la nature des liquides à essayer. Pour les essais des huiles, on fait usage de l'appareil Engler, et l'essai est effectué à une température élevée.

En brasserie, on fait usage du viscosimètre de Reischauer, perfectionné par Aubry. L'appareil de Grobert, proposé pour l'essai des liquides

sucrés, peut servir également aux solutions salines. Enfin, M. J. Vivien, Directeur du Laboratoire des Douanes à Chambéry, a construit, spécialement pour les essais de vins, un appareil appelé *rhéomètre* que M. P. Lallemand a appliqué en sucrerie.

Appareil Engler. — Cet appareil (fig. 26) se compose de deux capsules métalliques entrant l'une dans l'autre, d'un récipient à huile et d'un bain-marie. La première est à l'intérieur et est recouverte d'un couvercle D à travers duquel passe le thermomètre T destiné à prendre la température du liquide. Le thermomètre du bain-marie est maintenu par un support à la paroi extérieure et la capsule intérieure repose dans la capsule extérieure par trois épaulements laté-

Fig. 26



raux. Le petit tube d'écoulement est fermé par la soupape V fixée dans D.

Trois traits de niveau sont indiqués dans le récipient intérieur, à égale distance du fond, pour prendre le volume de l'huile, et pour que l'appareil soit disposé bien verticalement.

Au niveau indiqué par trois petits points, il y a 240 centimètres cubes. Un trépied supporte l'appareil, et en dessous se trouve un matras jaugé à deux traits, à 200 et à 240 centimètres cubes d'eau. Afin de contrôler l'appareil, on compte les secondes employées par 200 centimètres cubes d'eau à 20°C pour s'écouler par e.

Dans ce but, la capsule intérieure est lavée d'abord à l'éther, puis à l'alcool et enfin à l'eau. Le tube d'écoulement est nettoyé avec une plume et un petit bouchon de papier, de même que le petit clapet en forme de stylet. Ensuite on mesure exactement 240 centimètres cubes qu'on verse dans la capsule qui doit être remplie exactement jusqu'aux points. L'eau doit avoir exactement 20°C.

Le ballon, qui peut ne pas être sec, mais qui est renversé une minute pour l'égouttage, est mis sous le tube d'écoulement; le clapet est retiré et on mesure le temps qui s'écoule pour que le ballon soit rempli au trait de 200.

Il faut prendre soin, avant de commencer à faire couler, que l'eau coule tranquillement, et

qu'elle ne soit pas en mouvement giratoire produit par l'agitation avec le thermomètre.

Si l'appareil est exact, le temps employé pour l'écoulement de l'eau est de 51 à 53 secondes. Le nombre exact s'obtient par trois essais et on le représente par 1. Le local où l'on fait l'essai doit avoir une température voisine de 20°C.

Pour l'essai de l'huile ou de tout autre liquide, on supprime toute humidité par lavage à l'alcool, à l'éther et avec l'huile à essayer.

On opère ensuite comme pour l'eau.

Soit le temps écoulé 130 secondes. Ce nombre divisé par le temps employé par l'eau $\frac{130}{52} = 2,50$ donne la viscosité.

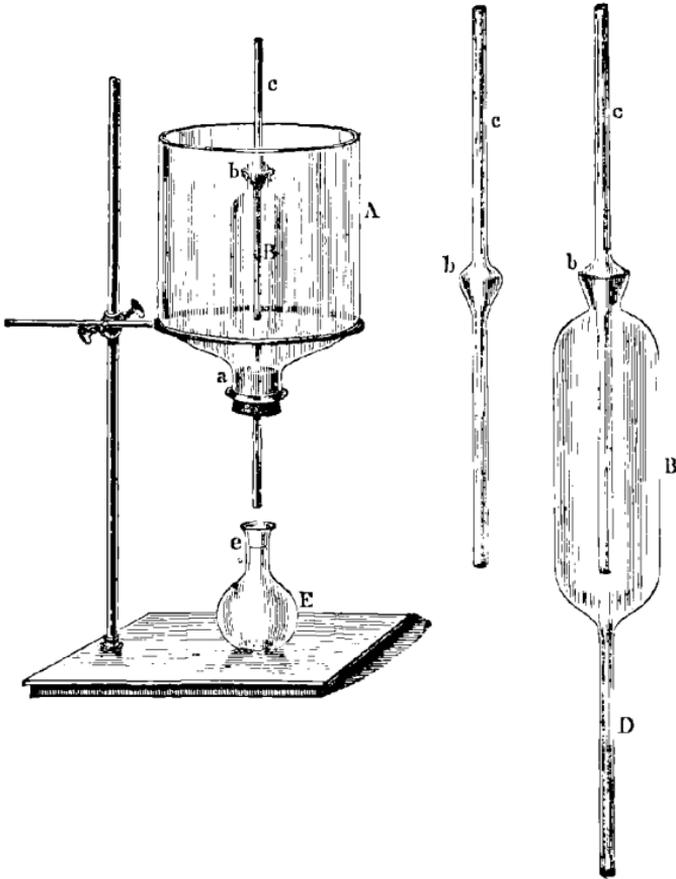
Les huiles contenant des matières en suspension doivent être filtrées.

Si la viscosité doit être déterminée à une température plus élevée, à 100 - 150° par exemple, on emploie, au lieu de l'eau dans l'enveloppe extérieure, une huile minérale lourde.

Appareil Reischauer-Aubry. — C'est une pipette en verre B (*fig. 27*) d'environ 50 centimètres cubes, bouchée par un tube *bc* rodé à l'émeri, lequel est lui-même fermé par un bouchon. On remplit la pipette B du liquide à essayer et on la ferme avec le tube de verre *bc* muni de son bouchon. En enlevant le bouchon, le liquide s'écoule sous pression constante, l'en-

semble formant vase de Mariotte, l'air rentrant par le tube *c* à mesure que le liquide s'écoule.

Fig. 27



Il est entouré d'un manchon en verre A rempli d'eau assurant une température constante; le tube d'écoulement est capillaire, et le liquide

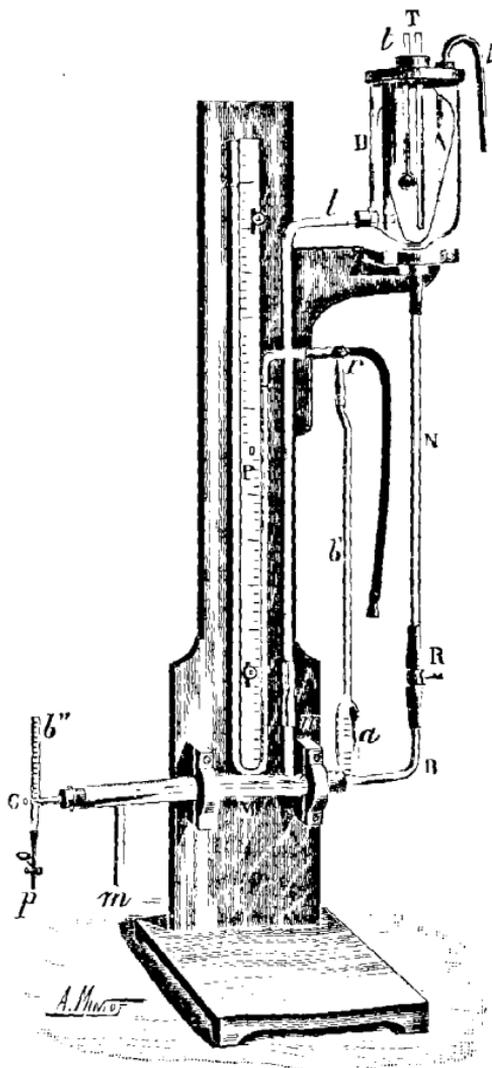
tombe goutte à goutte dans une fiole jaugée E. Les 50 centimètres cubes d'eau mettent environ sept minutes à s'écouler. On a fait au préalable un essai avec de l'eau à 20° C. prise comme liquide type, dont on a noté soigneusement le temps d'écoulement. On divise par ce chiffre le temps du liquide à essayer à 20° C. pour avoir la viscosité.

Appareil de Grobert et Demichel. — Un réservoir A renferme le liquide à essayer (*fig.* 28). Son orifice supérieur est fermé par un bouchon à deux trous dont l'un reçoit un thermomètre *t* et l'autre un tube plongeur T, qui permet la rentrée de l'air et l'écoulement du liquide sous pression constante. Il est enfermé dans une cloche en verre D portant deux tubulures *t'* et *t''*, qui servent à l'établissement d'un courant d'eau pour maintenir la température constante.

L'orifice inférieur du réservoir A est raccordé par des tubes de verre et de caoutchouc N avec le tube d'écoulement BC, lui-même contenu dans un manchon M à deux tubulures *m* et *m'*. La tubulure *m'* est reliée à *t'* par un tube de verre et des raccords en caoutchouc. Par conséquent, si l'on met la tubulure *m* en communication avec une prise d'eau sous pression, celle-ci traversera le manchon *m'* et *t'* dans la cloche et s'échappera par la tubulure *t''*.

La *fig.* 28 montre que le tube d'écoulement

Fig. 28



BC porte aussi deux tubulures B et b' ; l'une B est raccordée au réservoir supérieur par le tube N et par un robinet R à trois voies qui donne le moyen d'établir l'écoulement du liquide à expérimenter ou de le supprimer à volonté.

La tubulure b' est reliée par un tube en caoutchouc et un robinet à trois voies r avec le manomètre P formé d'un tube en U entre les branches duquel est placée une règle divisée en millimètres ; le tube en U reçoit de l'eau colorée. La pression fait baisser le niveau dans une branche, tandis qu'il s'élève dans l'autre. Si le liquide est au zéro de la division avant la communication de la pression, celle-ci se trouve mesurée en faisant la différence des lectures des niveaux sur les deux branches. Afin de pouvoir établir facilement la coïncidence du zéro de l'échelle avec le niveau du liquide sans pression, la règle peut être quelque peu déplacée dans sa longueur, en desserrant les boutons qui la fixent à l'appareil. Le robinet à trois voies r permet de faire communiquer le manomètre avec le tube b' ou avec l'air pour établir ou supprimer la pression. Enfin une tubulure b'' est soudée aussi près que possible de l'orifice de sortie. Le liquide s'y élève ainsi que dans la branche b' . Ces deux tubulures portent des graduations qui permettent d'observer les hauteurs auxquelles le liquide parvient pendant l'expérience.

Quand le thermomètre est devenu stationnaire, on enlève la pince p et son tube de caoutchouc, on ouvre le robinet r pour établir la pression dans le manomètre et l'on attend que le tube T soit vide et que les bulles d'air commencent à rentrer dans le vase A ; à ce moment seulement, la pression devient constante dans le manomètre. On place donc sous l'orifice C un ballon jaugé de 100 centimètres cubes bien nettoyé et bien sec en ayant soin d'appuyer son col contre le bec du tube afin que l'écoulement se fasse avec continuité et non par gouttes.

Au moment où l'on place le ballon, on note l'heure sur une montre à secondes ou, ce qui est préférable, on déclanche un compteur battant le cinquième de seconde et dont le cadran permet d'apprécier le dixième de seconde.

Cela fait, on mesure la pression en faisant les lectures des deux branches du manomètre : on en fait la somme soit h cette pression. On lit aussi les hauteurs h' et h'' auxquelles le liquide s'est élevé dans les branches b' et b'' , soit en outre Δ la densité de ce liquide; les hauteurs h' et h'' valent en colonne d'eau $h' \Delta$, $h'' \Delta$.

Quand le volume écoulé approche de 100 centimètres cubes, on suit attentivement le mouvement du liquide dans le col du ballon et au moment où le plan de niveau atteint le trait de jauge on arrête le compteur et on lit de nouveau

sur la montre, ce qui donne en secondes et fractions de seconde la durée de l'expérience.

Viscosimètre Sidersky. — L'appareil représenté par la *fig.* 29 est destiné aux essais industriels et son maniement est des plus facile. Il est basé sur la théorie de Poiseuille, exposée plus haut; il est disposé pour deux essais comparatifs à effectuer simultanément, afin d'avoir la viscosité relative.

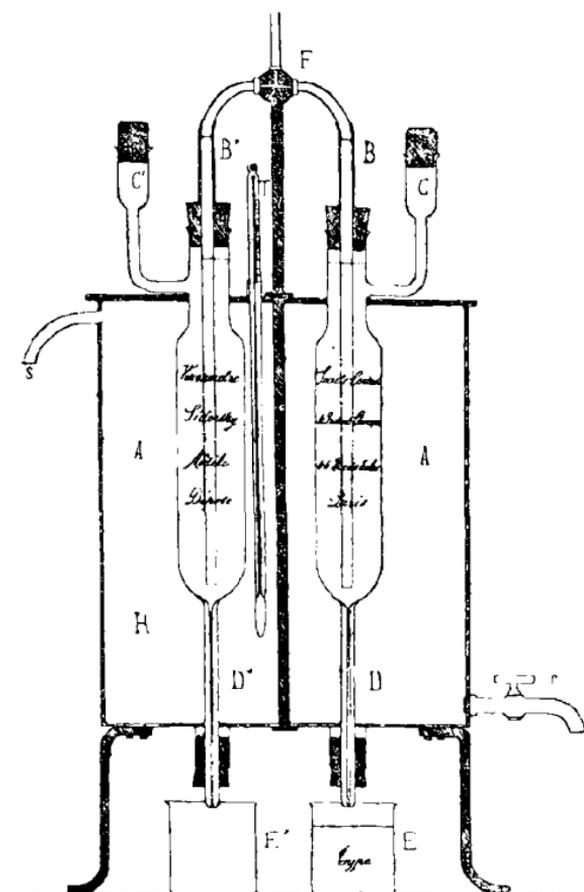
La mesure du temps est entièrement supprimée et la mesure des volumes est remplacée par la pesée des liquides écoulés, ce qui est plus exact.

Le tube A représente une pipette contenant environ 50 centimètres cubes, terminé par un tube capillaire D, ayant des dimensions bien déterminées. Le goulot de la pipette est fermé par un bouchon de liège laissant passer un tube B, ouvert en haut, et descendant presque au fond de la pipette. Sur le goulot est soudé une tubulure latérale, courbée en angle droit, et se terminant en un entonnoir C fermé par un bouchon en caoutchouc. Cet entonnoir sert à l'introduction du liquide dans A et dès qu'il est fermé, le liquide s'écoulera sous pression constante, l'air ne pouvant y pénétrer que par le tube B, et la pipette A représente alors une bouteille de Mariotte.

La pipette A', terminée par le tube capillaire D' avec son tube de Mariotte B' et l'entonnoir C', est en tout point identique à la pipette A. Non seule-

ment que D et D' présentent les mêmes dimensions, rigoureusement égales, mais la position de

Fig. 29



B et B' est assurée de telle façon que la pression d'écoulement, exprimée en hauteur des liquides,

soit exactement la même dans les deux pipettes. Enfin, pour que l'opérateur puisse remettre ces tubes en place, après les avoir déplacés pour les besoins de nettoyage des pipettes, on a tracé des traits circulaires, aussi bien sur les goulots de A et A' que sur les tubes B et B', de façon à faire coïncider ensemble les deux traits circulaires : celui du goulot extérieur et celui du tube intérieur.

Les deux pipettes A et A' sont accouplées d'une façon spéciale et maintenues dans un réservoir métallique R, rempli d'eau, d'une température déterminée. La circulation de l'eau est assurée par le robinet d'entrée S et le trop plein R. Un thermomètre T est plongé dans le réservoir, dont le couvercle sert en même temps de support aux parties supérieures des pipettes A et A' ainsi qu'à un robinet spécial F à trois voies. Ce dernier est relié par des tubes en caoutchouc avec les tubes B et B', et un simple tour de clef suffit pour mettre ces tubes en communication avec l'air extérieur ou intercepter cette communication. A cet effet, la clef du robinet F, glissant dans une petite échancrure analogue à celle d'un robinet à gaz, ne peut faire qu'un angle déterminé dont les extrémités déterminent les deux positions respectives que la clef doit prendre. Dans l'une de ces positions, elle met à la fois les tubes B et B' en communication avec l'air ex-

térieur; dans l'autre, la manette étant inclinée, elle ferme le passage d'air aussi bien pour B que pour B'.

D'après cette disposition particulière, on conçoit aisément que les pipettes A et A' remplies de liquide, fonctionnent comme bouteilles de Mariotte grâce au passage de l'air, car B et B' ne peuvent couler par D et D' que *tous deux à la fois*, le robinet étant ouvert; et que par la fermeture de ce robinet elles cessent ensemble de couler. Donc, quelle que soit la durée de l'écoulement, le temps est identiquement le même pour les deux pipettes. L'appareil est complété par deux vases de bohème E et E' tarés, dont l'un, celui destiné au liquide type, porte un trait circulaire servant de jauge approximative.

Mode opératoire. — Le robinet F étant fermé, on bouche, par des coiffes en caoutchouc, les orifices des tubes capillaires D et D', on ouvre C et C', on verse par C 50 centimètres cubes d'eau distillée, respectivement le liquide type et, dans C', 50 centimètres cubes du liquide à essayer⁽¹⁾; on enlève successivement les coiffes en caoutchouc et, dès qu'il y a quelques gouttes

(¹) Pour donner un passage à l'air de A, on démasque une petite ouverture spéciale dans le bouchon fermant le goulot de A et qu'on ferme aussitôt après le remplissage.

écoulées par D, respectivement D', on ferme la clef F. On fait circuler dans le réservoir R l'eau amenée à la température choisie pour l'expérience et, si cette température doit être élevée, on prend les dispositions courantes et les précautions connues pour maintenir cette température. On attend alors quelque temps, pour que les pipettes A et A' et leur contenu aient pris la température de l'eau du réservoir. Dans le cas ordinaire, l'essai étant effectué à la température ambiante, il n'y aura que quelques minutes à attendre puisqu'il est facile de ramener les liquides à la température ambiante, avant de les introduire dans l'appareil. On place alors sous l'orifice de chacun des tubes capillaires D et D' son vase de Bohême correspondant E ou E', le vase portant le trait circulaire étant placé sous la pipette contenant le liquide le plus fluide. On ouvre brusquement le robinet F, et les deux tubes D et D' commencent à couler à la fois. Dès que le liquide dans le vase marqué atteint *approximativement* le trait circulaire, on tourne la clef et les tubes D et D' cesseront de couler.

On pèse alors les vases tarés R et E' qui donnent les poids respectifs P et P', P étant le poids du liquide type et P' celui du liquide essayé.

La viscosité relative du liquide essayé sera

alors obtenue par la formule

$$\frac{P}{P'} \times \frac{d^2}{D^2},$$

dans laquelle $D =$ densité du liquide essayé, et $d =$ densité du liquide type.

On conçoit aisément que, lorsqu'on essaie la viscosité relative de deux liquides ayant à peu près la même densité, il n'y aura qu'à diviser le poids du liquide type par celui du liquide essayé.

Densité (D)	Valeur de $\left(\frac{1}{D}\right)^2$	Densité (D)	Valeur de $\left(\frac{1}{D}\right)^2$
0,80	1,563	1,07	0,877
0,85	1,386	1,08	0,856
0,90	1,235	1,09	0,841
0,95	1,110	1,10	0,826
1,00	1,000	1,20	0,694
1,01	0,980	1,30	0,592
1,02	0,962	1,40	0,510
1,03	0,943	1,50	0,444
1,04	0,926	1,60	0,391
1,05	0,909	1,70	0,346
1,06	0,893	„	„

Nettoyage et démontage de l'appareil. — Le nettoyage des pipettes ne présente aucune difficulté. Dans la plupart des cas, il suffira de verser plusieurs fois de l'eau distillée dans les en-

tonnoirs C et C' en laissant écouler celle-ci par les tubes capillaires D et D'.

Dans certains cas, pour les essais de liquides de nature variée, on retirera les tubes B et B' après avoir au préalable enlevé les caoutchoucs les reliant à la clef F. Les pipettes A et A' étant alors ouvertes, leur nettoyage est des plus facile.

Pour remettre en place les tubes B et B', on cherchera à mettre en coïncidence les traits circulaires de chacun des tubes avec celui du goulot correspondant.

Pour retirer complètement les pipettes A et A' on ouvre le couvercle du réservoir et l'on retire doucement les bouchons en caoutchouc dans lesquels sont fixés les tubes capillaires D et D'. Il est cependant recommandable de ne procéder au démontage complet des pipettes qu'en cas exceptionnel.

Influence de la température sur le frottement interne des solutions salines. — Divers expérimentateurs ont déterminé l'influence de la température sur la viscosité de divers liquides, mais il n'a pas été possible d'exprimer cette influence par une loi générale. M. Spring est arrivé par ses nombreuses recherches à un résultat très curieux, que certaines solutions salines possèdent à basse température une viscosité inférieure à celle de l'eau,

alors qu'aux températures élevées leurs viscosités respectives dépassent celle de l'eau. Ce sont les sels suivants : KCl , KBr , KJ , $KAzO^3$, $KClO^3$, AzH^1Cl , AzH^4Br , AzH^4AzO^3 .

Les autres sels étudiés, les sulfates de potasse, d'ammoniaque et de magnésie, les divers sels de soude, les chlorures de baryum, calcium, strontium et lithium, possèdent à toutes les températures des viscosités supérieures à celle de l'eau.

Coefficient de frottement interne et constitution chimique des corps. — Plusieurs savants, notamment MM. Graham, Poiseuille, Rellstab, Pribrâm et Handl, ont cherché à établir des relations entre les valeurs des coefficients de frottement interne des liquides et la composition, respectivement la constitution chimique des corps. Mais malgré leurs efforts, les relations générales obtenues se restreignent à quelques règles, valables dans des cas très limités et ne présentant point une loi générale. En particulier, on n'a trouvé aucune solution à la question de savoir à quelle température les coefficients de frottement interne étaient comparables, puisque ces coefficients diminuent rapidement avec l'élévation de la température.

Tables. — Nous résumons dans diverses tables (p. 108 à 110) les viscosités absolues (η) et relatives (ν_s) de l'eau et de l'alcool aux diverses tempé-

ratures, la viscosité absolue d'un grand nombre de liquides, celle de l'huile de colza à diverses températures, ainsi que la viscosité spécifique à 20° C. de solutions sucrées de diverses concentrations.

B. CAPILLARITÉ

Phénomènes de capillarité appliqués aux études chimiques. — L'étude des phénomènes de capillarité étant du domaine de la physique pure, ne peut pas être exposée ici. Nous insisterons seulement sur les applications chimiques qui ont été faites. D'abord, l'ascension des liquides dans des tubes capillaires a été prise comme mesure pour les liqueurs hydro-alcooliques, mais sans résultats sérieux, à cause de l'influence considérable de la température. Puis, le nombre de gouttes d'un volume déterminé de liquide s'écoulant par un orifice capillaire, ainsi que le poids des gouttes d'un liquide, suffisent souvent pour caractériser la nature chimique du liquide considéré. Mais la plus intéressante application est assurément celle qui conduit à la détermination des poids moléculaires, dont l'exposé suivant est extrait d'un mémoire fort intéressant que M. Ph. A. Guye a récemment publié.

Détermination du poids moléculaire des corps à l'état liquide. — En 1886, M. Eötvös a

cherché à démontrer que les phénomènes de capillarité peuvent être utilisés pour la détermination du poids moléculaire des liquides. Par des considérations théoriques sur lesquelles il n'est pas nécessaire d'insister, ce savant est arrivé à un résultat tout à fait remarquable. Si l'on désigne par γ la tension superficielle et par v , le volume apparent occupé par une molécule-gramme de liquide, les deux constantes, étant mesurées à la même température, l'expression $\gamma v^{\frac{2}{3}}$ décroît à mesure que la température s'élève, et le coefficient de variation avec la température, pour tous les corps, doit être le même.

En réalité, M. Eötvös constata qu'en effet ce coefficient est à peu près indépendant de la température et possède la même valeur moyenne pour la plupart des liquides. Seuls, les alcools, les acides gras et l'eau conduisent à des nombres différents et plus petits, ce que M. Eötvös attribua à la présence de molécules complexes, formées par ces corps à l'état liquide.

Avant d'aller plus loin, il importe de préciser la signification physique de l'expression

$$\gamma v^{\frac{2}{3}}$$

Nous avons dit que v représentait le volume apparent d'une molécule-gramme d'un corps à l'état liquide. De là, il résulte que les valeurs de $v^{\frac{2}{3}}$ re-

latives à différents corps représentant des surfaces liquides contenant le même nombre de molécules, surfaces que nous désignerons sous le nom de *surfaces équimoléculaires*. Le produit $\gamma r^{\frac{2}{3}}$ est donc une mesure de l'énergie superficielle moléculaire (d'après Ostwald).

Dans le but de soumettre à un contrôle plus rigoureux la relation de M. Eötvös, des expériences étendues ont été entreprises par MM. Ramsay et Shields. A l'aide d'un procédé ingénieux, ces savants ont pu étudier dans des intervalles de température considérables et sur des corps très purs, dont les constantes critiques avaient été précédemment établies, les variations de l'énergie superficielle moléculaire.

Des mesures effectuées par MM. Ramsay et Shields sur 55 composés divers, corps minéraux et corps organiques, il résulte que le poids moléculaire à l'état liquide est généralement le même qu'à l'état gazeux. Quelques corps cependant conduisent à des résultats tout à fait dignes de remarque. On sait que le peroxyde d'azote à l'état gazeux doit être représenté par la formule AzO^2 . Mais, à basse température, sa densité de vapeur augmente, pour prendre des valeurs à peu près doubles, en même temps que sa coloration rouge, caractéristique, disparaît; c'est ce qui avait fait admettre à M. Salet que le peroxyde d'azote

liquide doit être formé de molécules AzO^4 . Des mesures cryoscopiques avaient apporté une première confirmation à cette manière de voir; les observations de MM. Ramsay et Shields établissent ce fait d'une manière certaine, et assignent au peroxyde d'azote liquide le poids moléculaire correspondant à la formule Az^2O^4 et non pas AzO^2 . On sait que les corps hydroxylés, et notamment l'eau, les alcools, les acides gras, ont une tendance à se polymériser, soit à l'état dissous, soit même à l'état critique. Par la méthode des ascensions capillaires, nous retrouvons chez tous ces corps la même propriété à l'état liquide; il en est de même du phénol, de l'acétone ordinaire, du cyanure d'éthyle, de l'éthane nitré.

Voici, par exemple, les poids moléculaires trouvés à diverses températures, M représentant le poids moléculaire calculé pour les formules H^2O , CH^4O , $C^2H^4O^2$:

Température	Eau	Alcool méthylique	Acide acétique
20°C	$M \times 1,64$	$M \times 1,64$	$M \times 2,13$
60 "	$M \times 1,52$	$M \times 1,52$	$M \times 1,99$
100 "	$M \times 1,40$	$M \times 1,39$	$M \times 1,86$

Compte-gouttes Duclaux par le dosage de petites quantités d'alcool. — Les mélanges d'alcool et d'eau ont des tensions super-

ficielles plus faibles que l'eau pure. Si on les fait couler goutte à goutte sous un volume donné à travers un orifice de dimensions constantes, le nombre des gouttes correspondant à chacun de ces mélanges est constant d'abord, puis d'autant plus grand que la proportion d'alcool est plus grande, de sorte qu'on a là un procédé à la fois alcooscopique et alcoométrique.

Fig. 30



L'instrument proposé par M. Duclaux (fig. 30) est un compte-gouttes-pipette très simple, du volume de 5 centimètres, terminé à sa partie inférieure par un ajutage cylindrique, formé d'un tube capillaire assez long pour que l'écoulement se fasse par gouttes. La section de l'orifice sur lequel elles se forment est telle que la pipette étant remplie d'eau distillée, se vide en donnant 100 gouttes à 15° C. Quand on veut étudier un liquide alcoolique, on en remplit la pipette jusqu'au trait d'affleurement supérieur, on nettoie avec du papier buvard l'orifice d'écoulement qui doit être bien proprement tenu, et surtout, ne jamais être gras; on dresse la pipette sur un flacon, on laisse couler en comptant les gouttes. Le tableau de la p. 106 donne les litres alcooliques correspondant à divers nombres de gouttes, à diverses températures.

DOSAGE DE L'ALCOOL (DUCLAUX)

Liquides	5°	7° ₅	10°	12° ₅
Eau distillée . . .	98	98,5	99	99,5
Alcool à 0,5 % . . .	102	102,5	103	103,5
" 1 " . . .	105	105,5	106	106,5
" 2 " . . .	111	111,5	112	112,5
" 3 " . . .	116	116,5	117	117,5
" 4 " . . .	120,5	121	121,5	122
" 5 " . . .	124	124,5	125	125,5
" 6 " . . .	127	127,5	128,5	129,5
" 7 " . . .	130	131	132	133
" 8 " . . .	133	134	135,5	136,5
" 9 " . . .	136	137	138,5	139,5
" 10 " . . .	139	140,5	141,5	142,5
" 11 " . . .	142	143,5	144,5	145,5
" 12 " . . .	145	146,5	148	149
" 13 " . . .	148,5	150	151	152,5
" 14 " . . .	152	153,5	154,5	155,5
" 15 " . . .	155	156,5	157,5	158,5

Liquides	15°	17° ₅	20°	22° ₅
Eau distillée . . .	100	100,5	101	102
Alcool à 0,5 % . . .	104	104,5	105	106
" 1 " . . .	107	107,5	108	109
" 2 " . . .	113	113,5	114,5	115,5
" 3 " . . .	118	118,5	119,5	120,5
" 4 " . . .	122,5	123,5	124,5	125,5
" 5 " . . .	126,5	127,5	128,5	130
" 6 " . . .	130,5	131,5	132,5	134
" 7 " . . .	134	135,5	136,5	138
" 8 " . . .	137,5	139	140	141,5
" 9 " . . .	140,5	142	143	144,5
" 10 " . . .	144	145	146,5	147,5
" 11 " . . .	147	148	149,5	150,5
" 12 " . . .	150,5	151,5	153	154,5
" 13 " . . .	154	155	156	157,5
" 14 " . . .	157	158	159	160,5
" 15 " . . .	160	161,5	163	164,5

On n'a pas mentionné les titres supérieurs à 15° parce que, au-delà de ces limites et même un peu en deçà, l'alcoomètre est un moyen de dosage supérieur au compte-gouttes. C'est alors qu'il a son maximum de sensibilité. En revanche, pour les liquides alcooliques très faibles, l'emploi de l'alcoomètre est incertain et sujet à de nombreuses causes d'erreurs. C'est alors que le procédé par le compte-gouttes est le plus sensible.

Entre l'eau pure et l'eau à 1 % d'alcool, il y a, comme on le voit, une différence de 7 gouttes, et, comme l'appareil est précis à moins d'une demi-goutte, on voit qu'on peut doser au moins $\frac{1}{1000}$ d'alcool dans 5 centimètres cubes de liquide, c'est-à-dire 5 milligrammes d'alcool ou environ 6 millimètres cubes.

Aucune mesure de densité ne conduirait à ce résultat.

Poids des gouttes.— Le tableau XVII, dressé par M. le Dr Réveil, donne les poids des gouttes d'un grand nombre de liquides employés en médecine, ainsi que le nombre des gouttes dans un gramme de liquide. Ces gouttes se rapportent au compte-gouttes normal dont l'orifice possède une section de trois millimètres.

TABLEAU XIV
VISCOSITÉS ABSOLUES DE L'EAU ET DE L'ALCOOL

Degrés C	Eau		Alcool		Degrés C	Eau		Alcool	
	η	τ_s	η	τ_s		η	τ_s	η	τ_s
0	0,018086	100,0	0,01876	101,6	20	0,010167	56,2	0,01232	68,9
1	0,017369	95,3	0,01802	99,2	21	0,009922	54,9	0,01228	67,6
2	0,016750	92,3	0,01763	97,2	22	0,009688	53,6	0,01205	66,3
3	0,016214	89,5	0,01726	95,2	23	0,009461	52,3	0,01181	65,0
4	0,015738	86,5	0,01691	93,2	24	0,009240	51,1	0,01157	63,7
5	0,015301	84,6	0,01657	91,2	25	0,009025	49,9	0,01134	62,4
6	0,014881	82,0	0,01623	89,2	26	0,008818	48,8	0,01111	61,1
7	0,014482	79,4	0,01589	87,1	27	0,008621	47,7	0,01089	59,9
8	0,014082	77,3	0,01555	85,3	28	0,008446	46,7	0,01068	58,7
9	0,013677	75,3	0,01523	83,7	29	0,008279	45,8	0,01047	57,6
10	0,013277	73,3	0,01493	82,2	30	0,008121	44,9	0,01027	56,5
11	0,012822	71,0	0,01466	80,7	35	0,007361	40,7	0,00638	51,4
12	0,012450	68,7	0,01441	79,3	40	0,006638	36,7	0,00836	47,6
13	0,012117	66,4	0,01413	78,0	45	0,006131	33,9	0,00841	43,1
14	0,011803	64,2	0,01393	76,7	50	0,005697	31,5	0,00826	39,5
15	0,011503	63,6	0,01369	75,4	55	0,005245	29,0	0,00811	36,4
16	0,011216	62,0	0,01345	74,1	60	0,004825	26,9	0,00796	33,9
17	0,010939	60,5	0,01321	72,8	65	0,004521	25,0	0,00782	31,3
18	0,010672	59,0	0,01298	71,5	70	0,004239	23,5	0,00768	28,7
19	0,010414	57,6	0,01275	70,1					

TABLEAU XV

VISCOSITÉS ABSOLUES DE QUELQUES LIQUIDES A 20°C

Liquides	η , 20	Liquides	η , 20
Acétate d'éthyle . .	0,00561	Alcool méthylique . .	0,00623
Acétone	0,00406	— propylique	0,02273
Acide acétique . . .	0,01256	Aniline	0,04467
— azotique	0,01003	Benzine	0,00645
— butyrique	0,01623	Butyrate d'éthyle . .	0,00681
— caproïque	0,03263	Caloreforme	0,00568
— formique	0,01959	Éther	0,00254
— propionique	0,01156	Formiate d'éthyle . .	0,00561
— sulfurique	0,21929	Glycérine	0,30400
Alcool amylique . . .	0,03696	Isobutyrate d'éthyle .	0,00601
— benzylique	0,05630	Iodure d'éthyle . . .	0,00593
— butylique	0,01338	Propionate d'éthyle .	0,00548
— isobutylique	0,04112	Sulfure de carbone . .	0,00370
— isopropylique . . .	//	Valérate d'éthyle . .	0,00057

TABLEAU XVI

VISCOSITÉ ABSOLUE DE L'HUILE DE COLZA
(E.-O. MEYER)

Température en degrésC	Densité	Viscosité absolue
0	0,9292	0,06930
6,5	0,9254	0,01490
12,4	0,9211	0,00752
13,9	0,9201	0,00679
18,3	0,9168	0,00344
24,5	0,9133	0,00219
29,5	0,9102	0,00165
31,6	0,9087	0,00150

TABLEAU XVII
 VISCOSITÉS SPÉCIFIQUES DE SOLUTIONS SUCRÉES A 20°C (O. BURKHARD)
 L'EAU A 20°C PRISE COMME UNITÉ

Sucre o/o	Viscosité spécifique	Densité à 15°C	Sucre o/o	Viscosité spécifique	Densité à 15°C
1	1,0245	1,00306	16	1,6196	1,06196
2	1,0321	1,00618	17	1,6809	1,06933
3	1,0797	1,01094	18	1,7484	1,07376
4	1,1104	1,01501	19	1,8139	1,07817
5	1,1418	1,01883	20	1,8897	1,08263
6	1,1840	1,02296	21	1,9693	1,08713
7	1,2208	5,02703	22	2,0552	1,09165
8	1,2576	1,03113	23	2,1472	1,09621
9	1,2944	1,03524	24	2,2354	1,10081
10	1,3312	1,03940	25	2,3197	1,0342
11	1,3681	1,04330	26	2,4040	1,11008
12	1,4110	1,04780	27	2,4767	1,11478
13	1,4601	1,05205	28	2,5555	1,11930
14	1,5092	1,05633	29	2,6300	1,12386
15	1,5644	1,06063	30	3,0674	1,12904

TABLEAU XVIII
POIDS DES GOUTTES (A 15°C)
DE DIVERS LIQUIDES EMPLOYÉS EN MÉDECINE
D'APRÈS LE D^r RÉVEIL

Noms des liquides et des substances	Poids d'une goutte	Nombre des gouttes pour un gramme
Acide azotique	0,0370	27
" chlorhydrique	0,0500	20
" cyanhydrique au 8°	0,0402	25
" " au 14°	0,0420	24
" sulfurique	0,0350	28
Alcool à 86°	0,0160	62
" nitrique	0,0189	53
" de cochléaria	0,0181	55
Alcoolature d'aconit	0,0192	52
Ammoniaque à 23°	0,0454	22
Chloroforme	0,0166	60
Eau distillée pure	0,0500	20
" de fleur d'oranger	0,0384	26
" de laurier-cerise	0,0500	20
" de Rabel	0,0181	55
" sucrée à 10 ^o / _o	0,0500	20
" " à 20 ^o / _o	0,0500	20
" " à 40 ^o / _o	0,0500	20
Éther sulfurique	0,0111	90
" acétique	0,0256	39
Glycérine	0,0416	24
Laudanum Rousseau	0,0294	34
" Sydenham	0,0294	34

TABLEAU XVIII (suite)
POIDS DES GOUTTES (A 15°C)
DES DIVERS LIQUIDES EMPLOYÉS EN MÉDECINE
D'APRÈS LE D^r RÉVEIL

Noms des liquides et des substances	Poids d'une goutte	Nombre des gouttes pour un gramme
Liqueur d'Hoffmann	0,0116	86
" de Fowler.	0,0131	23
" de Van Swieten.	0,0333	30
Sirop à 35°	0,0555	18
Solution de sulfate de strychnine au 1/100.	0,0500	20
Solution de sulfate de strychnine au 1/1000	0,0500	20
Solution d'atropine au 1/100	0,0500	20
" " au 1/1000.	0,0500	20
" de nitrate d'argent parties égales.	0,0500	20
Solution de nitrate d'argent au 1/4.	0,0500	20
" " " au 1/8.	0,0500	20
" sulfate de zinc (0,30 pour 30 grammes	0,0500	20
Soule caustique à 36°.	0,0636	16
Teinture d'arnica	0,0192	52
" de belladone	0,0192	52
" de colchique	0,0192	52
" de digitale	0,0172	58
" de rhubarbe.	0,0185	54
Teinture de scille	0,0185	54
" de Valériane	0,0192	52
" éthérée de digitale	0,0122	82
Vinaigre blanc 8 0/0	0,0378	26
" radical.	0,0176	36

TABLEAU XVIII (*suite et fin*)
POIDS DES GOUTTES (A 15°C.)
DE DIVERS LIQUIDES EMPLOYÉS EN MÉDECINE
D'APRÈS LE D^r RÉVEL.

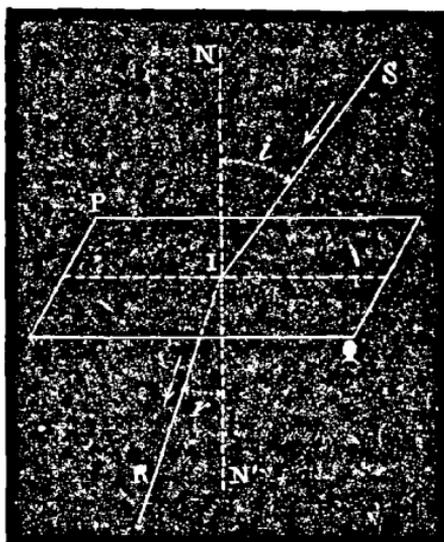
Noms des liquides et des substances	Poids d'une goutte	Nombre des gouttes pour un gramme
Baume du commandeur	0,0185	54
Élixir de longue vie	0,0196	51
Essence de térébenthine	0,0185	54
" de menthe	0,0196	51
" de moutarde	0,0213	47
Teinture étherée de castoerum	0,0120	82
" alcoolique de castoerum	0,0185	54
" d'aloès	0,0172	58
Baume tranquille	0,0204	49
Huile de ricin	0,0227	43
" d'olive	0,0212	47
" d'amandes	0,0212	47
" camphrée	0,0204	49
" de croton	0,0208	48
" blanche	0,0218	46

CHAPITRE IV

RÉFRACTION

Définition. — La réfraction est la déviation qu'éprouvent les rayons lumineux lorsqu'ils passent obliquement d'un milieu dans un autre,

Fig. 31



par exemple de l'air dans l'eau, ou dans tout autre milieu. Si le rayon lumineux est perpendiculaire à la surface qui sépare les deux milieux, il n'éprouve aucune déviation.

Le rayon incident étant représenté par SI

(fig. 31) on nomme rayon réfracté la direction IR que prend la lumière dans le second milieu ; et les angles SIN et RIN' que forment ces rayons avec la droite NN', normale à la surface de séparation des deux milieux, sont nommés : l'un (SIN) angle d'incidence, l'autre (RIN') angle de réfraction. Suivant que le rayon réfracté s'approche ou s'éloigne de la normale, on dit que le second milieu est plus ou moins réfringent que le premier.

Le calcul montre que le sens de la réfraction dépend de la vitesse relative de la lumière dans les deux milieux. Dans le système des ondulations, le milieu le plus réfringent est celui dans lequel la vitesse de propagation est moindre.

Indice de réfraction. — La réfraction est soumise aux lois suivantes, connues sous le nom de lois de Descartes :

1° *Le rayon réfracté reste dans le plan d'incidence ;*

2° *Le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction est constant pour les mêmes milieux, quel que soit l'angle.*

En désignant par i , l'angle d'incidence par r , l'angle de réfraction, l'indice de réfraction n sera indiqué par la formule

$$n = \frac{\sin. i}{\sin. r}.$$

Dispersion. — L'indice de réfraction varie aussi avec la nature de la lumière, c'est-à-dire avec la longueur d'onde du rayon lumineux. Dans la pratique, on fait usage de la lumière jaune monochromatique du sodium et l'on désigne par $[n]_D$ l'indice observé avec cette lumière.

Angle limite et réflexion totale. — Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu dans un autre moins réfringent, comme de l'eau dans l'air, l'angle de réfraction est alors plus grand que l'angle d'incidence. Il s'ensuit que, quand la lumière se propage dans une masse d'eau, il y a toujours une valeur de l'angle d'incidence pour laquelle l'angle de réfraction est droit, c'est-à-dire que les rayons réfractés sont perpendiculaires à la surface du liquide. C'est ce qu'on appelle *angle limite*, parce qu'en augmentant la valeur de l'angle d'incidence le rayon incident ne peut donner naissance à un rayon réfracté. Il y a alors une réflexion intérieure que l'on nomme *réflexion totale* de la lumière incidente.

Certains *réfractomètres*, dont nous parlerons plus loin, sont basés sur le principe de la *réflexion totale*.

Applications. — L'indice de réfraction est une constante caractéristique d'un intérêt multiple, aussi bien aux points de vue théorique

que pratique. La place la plus marquée qu'occupe cette étude en chimie, est celle de l'essai des corps gras purs et mélangés. On en fait usage également pour la détermination de la concentration des solutions salines et autres, ce qui présente moins d'intérêt, vu les moyens multiples dont dispose le chimiste pour y arriver. Il n'en est pas de même pour les mélanges de corps gras divers, ayant tous des caractères physiques très voisins alors qu'ils diffèrent par leurs indices de réfraction.

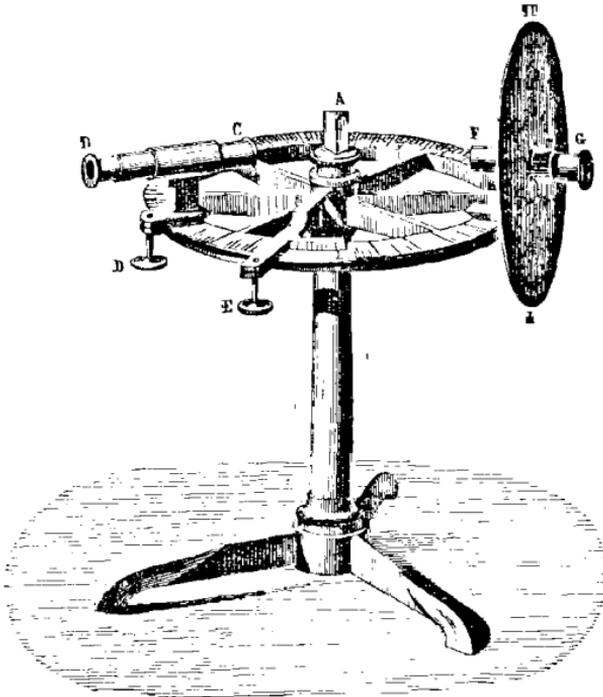
Mesure des indices de réfraction. — La meilleure méthode pour établir l'indice de réfraction d'un corps liquide consiste à mesurer la déviation minima δ produite par un prisme dont l'angle réfringent est égal à A , l'indice n est donné par la formule :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}}.$$

A cet effet, on fait usage du goniomètre de Babinet (*fig.* 32). Cet appareil se compose d'un cercle horizontal gradué sur lequel se meuvent radialement une lunette à réticule BC et un collimateur FG. Une petite plate-forme circulaire placée au centre parallèlement au plan du cercle sert de support au prisme A; elle peut tourner sur elle-même, librement, ou par le mouvement

que lui communique une alidade E munie d'un vernier qui mesure les degrés parcourus dans la rotation. Des vis de rappel qui ne sont pas figurées sur le dessin complètent les mouve-

Fig. 32



ments donnés à la main : les pièces mobiles sont rendues fixes par des pinces de serrage.

BC est une lunette astronomique; le collimateur FG est formé d'un tube renfermant une lentille et fermée à son extrémité G par une

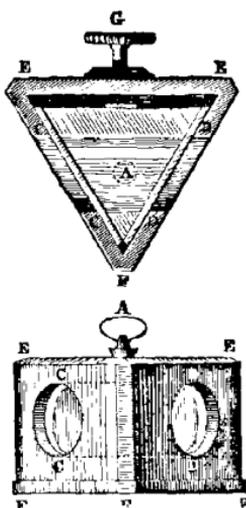
fente placée dans son plan focal. On en règle la largeur au moyen d'une vis; un tirage opère la mise au point.

Un bon goniomètre permet d'apprécier des déplacements angulaires de $30''$ et quelquefois même de $10''$, suivant la dimension du cercle répétiteur; une approximation à la minute est, du reste, suffisante pour assurer l'exactitude de la quatrième décimale des indices de réfraction.

Les solides sont taillés sous forme de prismes d'un angle de 50 à 60° ; les liquides sont introduits dans des prismes de verre creux, fermés par des glaces à faces parallèles CC , DD (*fig. 33 et 34*) que l'on serre dans une enveloppe métallique au moyen d'une vis G ; ce modèle est du meilleur usage. L'orifice A permet l'introduction du liquide.

La plate-forme destinée à porter le prisme est faite généralement d'une matière réfléchissante, très utile pour disposer l'arête réfringente normalement au plan du limbe; quelquefois elle est pourvue de vis de réglage qui ont pour objet

Fig. 33 et 34



de rétablir son parallélisme avec le plan, dans le cas où il aurait été altéré.

La largeur de la fente peut être de 1 millimètre pour l'étude générale des phénomènes, mais on la réduit à un dixième de millimètre pour des pointés précis. On emploie avantageusement, pour éclairer la fente, une lumière monochromatique, telle que la flamme d'une lampe à alcool salée, ou celle d'un brûleur à gaz avec filaments d'amiante sodé. On peut aussi se procurer une lumière simple (au moins relativement) en tamisant la lumière blanche à travers un milieu absorbant. La flamme jaune du sodium devient d'une pureté parfaite en traversant une lame de bichromate de potasse. Les verres colorés par le peroxyde de cuivre donnent une lumière verte, elle est rouge avec le protoxyde de cuivre, bleue avec l'oxyde de cobalt et violette avec l'oxyde de manganèse. Brewster préférerait, pour obtenir un rayon d'une réfrangibilité déterminée, l'oxalate double de chrome et de potassium ; ce sel éteint toutes les couleurs du spectre, sauf une bande mince qui se trouve dans le rouge à une distance de la raie B, égale au $\frac{1}{6}$ de l'intervalle qui sépare les raies A et B. Enfin, une dissolution de sulfate de cuivre ammoniacale donne une lumière indigo sensiblement homogène.

Modifications du goniomètre de Babinet. — Plusieurs réfractomètres décrits par quelques auteurs ne sont autre chose que le goniomètre de Babinet plus ou moins adapté aux essais spéciaux de réfraction. Le réfractomètre Dupré est un goniomètre n'ayant qu'une partie du limbe graduée, et munie d'une cuve spéciale dont l'une des faces présente un prisme plein.

Le goniospectroscope-réfractomètre de M. Zune est une réunion de plusieurs appareils dans un même dispositif. Enfin, M. Charles Fery a appliqué au goniomètre de Babinet, le principe d'auto-collimation de M. Fizeau.

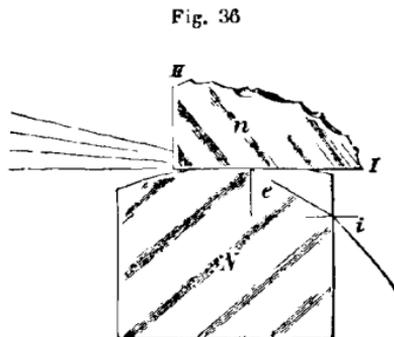
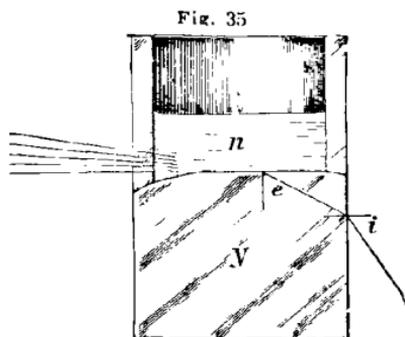
Réfractomètres basés sur le principe de la réflexion totale. — Tels sont les instruments d'Abbe, construction Zeiss ; de Bertrand, construction Werlein ; de Wollaston, de Tranin, de Wiedemann, de Kohlrausch, de Soret, de Pulfrich, etc., dont on trouvera les descriptions dans les principaux traités de physique. Ne pouvant pas reproduire ici ces descriptions, nous nous bornerons à décrire le réfractomètre perfectionné de Pulfrich, construit par Zeiss, qui est le plus répandu en Allemagne.

Réfractomètre Pulfrich. — Cet appareil (*fig.* 37) est fondé sur l'emploi d'un prisme rectangle dont la face supérieure placée horizontalement reçoit l'objet à étudier, tandis qu'à travers la face adjacente, placée verticalement, on ob-

serve la courbe limite de la lumière pénétrant dans l'objet sous l'incidence rasante, au moyen d'une lunette et d'un cercle divisé i sous lequel le rayon limite émerge de la face verticale du prisme. Ensuite à l'aide de la formule

$$n = \sqrt{N^2 - \sin^2 i},$$

N étant l'indice connu du prisme, il est aisé de calculer l'indice n de la substance pour la lu-

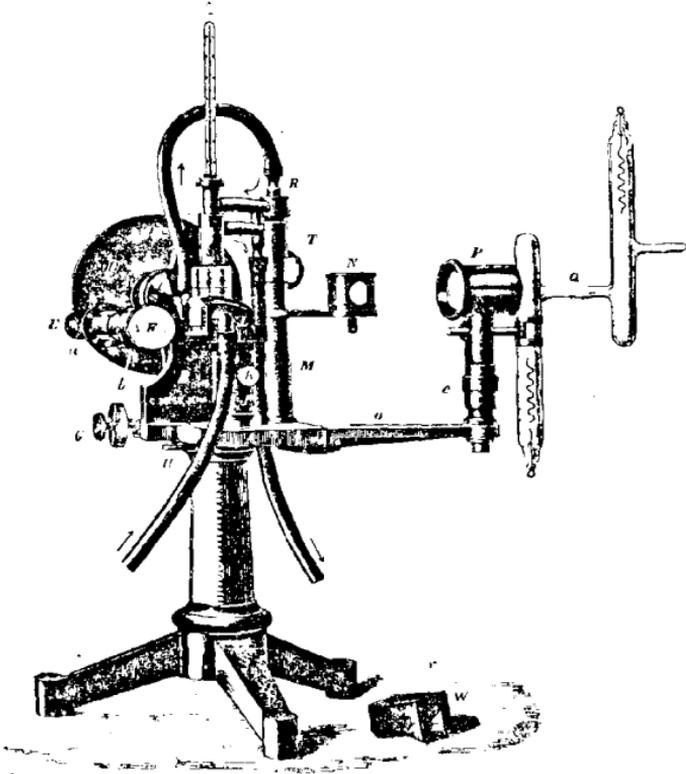


mière du sodium employée ; il est plus commode encore de se servir de tables dressées à l'avance (*Agenda du Chimiste*). Pour recevoir les liquides, on mastique sur le prisme un tube de verre (*fig. 35*). Comme le montre la figure, l'arête antérieure du prisme est abattue, de manière que la lumière rasante puisse passer au-dessus du masticage. Les corps solides (*fig. 36*) doivent présenter deux surfaces I et II sensiblement perpendiculaires entre elles. La surface I doit être parfaitement plane et polie ; quant à la

surface II, il suffit qu'elle soit assez travaillée pour laisser passer la lumière incidente.

Dans sa forme primitive, l'appareil se prêtait

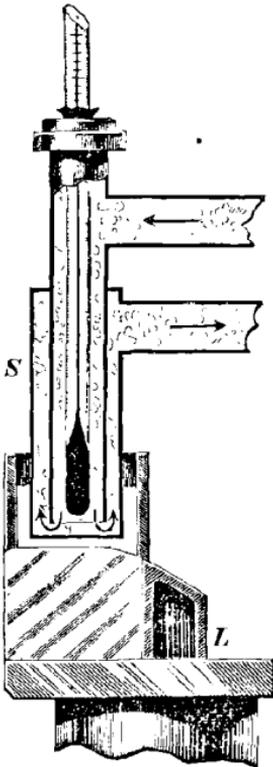
Fig. 37



seulement à la détermination de l'indice $[n]_D$ des liquides à la température ambiante. La forme nouvelle est susceptible d'un emploi beaucoup plus étendu et permet d'effectuer presque toutes

les mesures de réfraction et de dispersion. La construction des diverses pièces auxiliaires destinées à ces usages tend à simplifier autant que

Fig. 38



possible les observations et le calcul. Elles sont au nombre de trois : un nouveau système d'éclairage qui permet d'employer la lumière du sodium, celle d'un tube de Geissler à hydrogène, et aussi de passer rapidement de l'une à l'autre ; une disposition micrométrique, permettant de déterminer la dispersion par un calcul rationnel. Le prisme prend part à l'échauffement ; il est entouré sur trois côtés d'une double enveloppe de bois dans laquelle circule un courant d'eau chaude, avant d'arriver dans les pièces supérieures spécialement destinées au chauffage du liquide ; on tient compte de la variation de l'indice du prisme avec la température en se servant d'une table de correction. Le liquide est chauffé

Le liquide est chauffé

dans l'intérieur même du tube de verre ; à cet effet, on y fait plonger un vase d'argent S porté par la colonne M et qui peut se déplacer verticalement à l'aide d'une roue dentée et d'une crémaillère. La *fig.* 38 donne une coupe de la pièce S.

Un nouveau récipient à liquide, construit sur les indications de M. le professeur Ostwald, permet d'étudier simultanément deux liquides, et de déterminer directement leurs différences de réfraction et de dispersion. Une cloison de verre noir, parallèle au plan du cercle divisé, passe par le milieu du tube de verre ; la cavité primitive est ainsi divisée en deux autres parfaitement séparées ; dans l'une, on peut mettre le liquide normal (un dissolvant pur, par exemple) ; dans l'autre, le liquide (une dissolution) qu'on veut lui comparer. Grâce à cette disposition, la mesure est affranchie complètement de l'influence de la température, et la détermination des différences de réfraction et de dispersion entre deux liquides se réduit à la mesure, par le micromètre, de la distance angulaire des deux lignes limites, visibles simultanément dans le champ de la lunette.

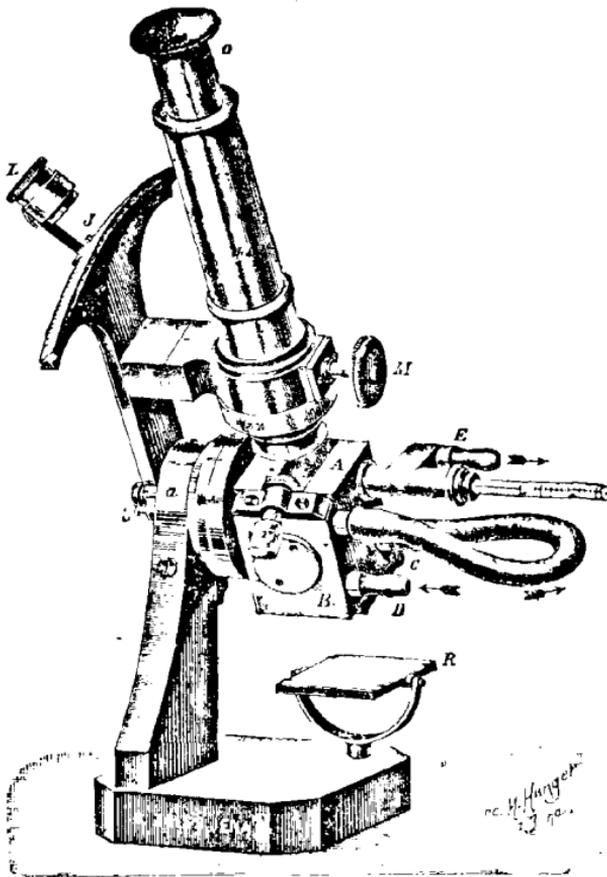
La mise au point est facilitée par un réticule en croix, fixé dans l'oculaire de l'instrument.

Butyroréfractomètre Wolny-Zeiss. — Cet appareil est une modification du grand ré-

fractomètre d'Abbe, disposé spécialement pour l'essai des corps gras (fig. 39).

Le réfractomètre peut être relié à un appa-

Fig. 39



reil de chauffage quelconque, permettant de faire circuler un courant d'eau chaude à travers

la monture des prismes (entrée en D, sortie en E). La disposition la plus simple, et suffisante dans beaucoup de cas, consiste en un récipient d'une contenance d'environ 10 litres, rempli d'eau à la température de 40 à 50° C., placé sur un support quelconque, élevé de $\frac{1}{2}$ à 1 mètre au-dessus du niveau de l'instrument. Un bout de tuyau de caoutchouc, fixé en D plonge par son autre extrémité dans le récipient; un second tuyau enfoncé sur E, constitue avec le premier un siphon que l'on amorce en aspirant avec la bouche, et permet ainsi de faire écouler à travers la boîte des prismes, le contenu du récipient. La force du courant peut être facilement réglée à l'aide d'une pince appliquée sur le tuyau. Aussi longtemps que la température n'en est pas inférieure à 30° C., l'eau recueillie dans le second vase peut de nouveau servir au remplissement du récipient supérieur.

Pour appliquer l'instrument à l'essai des beurres, on commence par ouvrir la monture des prismes. Pour cela, on fait tourner le bouton F à droite jusqu'à résistance (un demi-tour environ). La moitié B de la monture des prismes, jouant sur une charnière, se laisse alors rejeter latéralement et vient butter contre une borne H qui la maintient dans la position représentée dans la *fig.* 39. Il faut maintenant nettoyer scrupuleusement, tant la surface libre des

prismes que celle du métal qui les environne, utilisant à cette fin un morceau de toile douce bien propre, légèrement imbibée d'alcool ou d'éther.

Ayant ensuite fait fondre dans une petite cuillère le beurre à examiner, on le verse dans un petit filtre en papier Joseph qu'on tient en main et laisse tomber avec précaution sur la surface libre du prisme serré dans B les deux ou trois premières gouttes bien claires qui traversent le filtre. Pour éviter l'écoulement du beurre fondu déposé sur le prisme, il est prudent de soulever l'instrument de la main gauche jusqu'à ce que la surface en question soit à peu près horizontale.

L'observateur pousse alors la partie B en contact avec A, et par un mouvement de rotation à gauche, imprimé au bouton F, ramène ce dernier dans sa situation primitive; il obtient ainsi non-seulement l'assujettissement de la partie B, mais encore une superposition parfaite des faces des prismes. L'instrument lui-même peut alors être ramené dans sa position naturelle.

On donne maintenant au miroir une position telle que, regardant à travers la lunette, on voie bien distinctement la ligne de démarcation séparant la moitié gauche fortement éclairée du champ de la moitié droite obscure (ligne d'extinction); pour arriver à ce résultat, il peut

quelquefois devenir nécessaire de déplacer l'instrument lui-même, plus ou moins, dans un sens ou dans l'autre. Afin de s'assurer si l'espace qui sépare les deux prismes est bien régulièrement et entièrement rempli de beurre liquide, condition indispensable pour que la ligne d'extinction apparaisse avec une netteté suffisante, on observe à la loupe ou à l'œil nu appliqué à une distance convenable la petite image rectangulaire de la surface du prisme, vue environ à un centimètre au-dessus de l'oculaire. Il ne reste plus maintenant le verre d'œil de l'oculaire, dont la monture fait coulisser, au point sur l'échelle de l'oculaire.

Si la monture des prismes a été au préalable traversée pendant quelque temps déjà par le courant d'eau chaude, la ligne d'extinction, d'abord indécise, acquiert bientôt (le plus souvent en moins d'une minute) une position fixe, en même temps que son maximum de netteté. A ce moment, on note l'aspect de cette ligne d'extinction (incolore ou colorée, et de quelle nuance), on relève sa position par rapport à l'échelle centésimale de l'oculaire (les dixièmes d'intervalle peuvent encore être facilement estimés), ainsi que la température accusée par le thermomètre.

L'usage de l'appareil est basé sur les travaux de M. Wollny, qui a déterminé les indices maxima

à 25° C. des beurres, saindoux, etc., ainsi que les corrections des températures. Des tables spéciales accompagnent l'appareil. Enfin, la graduation spéciale du thermomètre employé est comprise de telle façon qu'au lieu des degrés centigrades, on y lit les indices maxima du beurre, du saindoux pour les températures en question.

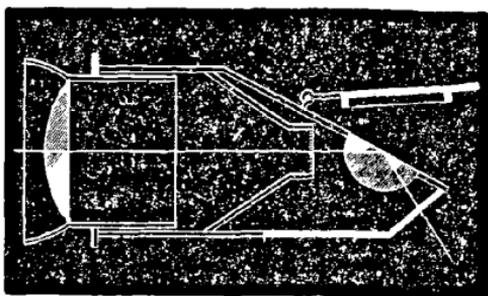
De cette façon, l'observateur n'a qu'à comparer les degrés observés dans la lunette de l'appareil avec ceux indiqués sur le thermomètre pour en tirer ses conclusions.

Réfractomètre Bertrand. — Ce petit instrument se compose (*fig. 40*) d'une lentille en flint très lourd, d'un oculaire à tirage formant loupe pour la lecture des divisions du micromètre d'une petite cellule s'ouvrant ou se fermant à charnière et pouvant s'appliquer à volonté contre la lentille. Toutes ces pièces sont fixées dans une monture métallique nickelée, disposée en bec de flûte, obturé par une lame de verre dépoli, au travers de laquelle passent les rayons lumineux avant d'entrer dans la lentille sur la face extérieure de laquelle ils se réfléchissent totalement.

Pour faire usage de cet appareil, représenté en demi-grandeur environ sur le dessin, on met l'oculaire au point sur l'échelle du micromètre, on rabat la cellule en arrière, vers l'oculaire, puis on dépose sur la surface plane de la lentille

une goutte d'huile, ou gros comme une tête d'épingle de matière grasse, au besoin, un peu ramollie par la chaleur, et on applique la face palmaire du pouce de la main gauche sur le tout. Cela fait, on incline l'appareil vers une source de lumière quelconque.

Fig. 40



Les rayons lumineux en se réfléchissant sur la surface du corps gras viendront former dans le champ optique une sorte de pénombre, limitée inférieurement par une ligne droite très fine et très nette, pour les liquides examinés à la lumière monochromatique du sodium, plus ou moins distincte dans la lumière ordinaire, surtout pour les corps gras solides.

Réfractomètre - compensateur Charles Féry. — Le principe sur lequel repose l'appareil est très simple. *Il consiste à annuler par un prisme solide d'angle variable et d'indice constant la déviation imprimée à un rayon lumi-*

*n*eux par un prisme creux d'angle fixe rempli du liquide dont on veut déterminer l'indice.

L'angle que devra avoir le prisme solide permettra d'évaluer l'indice inconnu du corps à étudier.

En effet, si nous prenons des angles prismatiques assez petits pour que la formule approchée

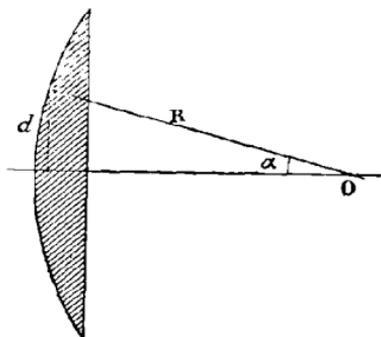
$$\frac{i}{r} = n$$

soit applicable, quand un rayon ayant traversé l'ensemble des deux prismes sortira parallèle à sa direction d'incidence, nous pourrons écrire

$$(n - 1) a = (x - 1) \frac{A}{2}$$

égalité dans laquelle n est l'indice du prisme à

Fig. 41



angle variable, $\frac{A}{2}$ l'angle du prisme à liquide, ce qui permet de tirer $x - 1$; x étant l'indice du liquide inconnu, Ce dernier prisme est constitué par une bande

de verre découpée radialement dans une lentille ; dans une telle lame, l'angle varie du centre

optique de la lentille, où il est nul, jusqu'aux bords où il a une valeur finie.

Il serait difficile de mesurer en chaque point l'angle que forme le plan tangent à la surface courbe avec la face plane; il est plus facile de l'évaluer en fonction de la distance qui sépare le point considéré du centre optique de la lentille. Considérons une lentille plan convexe (forme employée dans la *fig. 41*. On voit que l'on a :

$$\sin a = \frac{d}{R}$$

d , distance du point considéré à l'axe optique,
 R , rayon de courbure.

Les angles ayant été supposés assez petits, on peut écrire

$$a = \frac{d}{R}$$

à ce degré d'approximation, l'angle est donc proportionnel à la distance d et l'égalité devient

$$(n - 1) \frac{d}{R} = (x - 1) \frac{\Lambda}{2}$$

d'où

$$x - 1 = K \times d$$

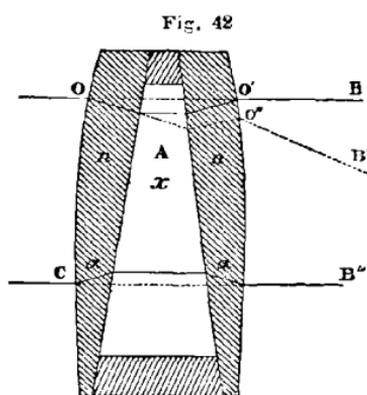
en posant

$$2 \frac{(n - 1)}{AR} = K.$$

La simple mesure du déplacement qu'il aura fallu donner à la lentille pour compenser la

déviations due au prisme liquide, permettra donc d'évaluer l'indice.

Pour réaliser ces conditions d'une manière commode, les deux faces d'un prisme à liquide,



d'angle assez petit, ont été constitués par deux lames de glace identiques, planes à l'intérieur et convexes à l'extérieur (fig. 42). L'emploi des deux lames de glace identiques évite le

déplacement latéral qui se produirait dans un système dissymétrique.

Quand la cuve est vide, les rayons sortant sans déviation passent par les centres optiques O et O' des deux lentilles (fig. 42), car en ce point l'angle α est nul, devant satisfaire à la relation

$$(n - 1) \times 0 = (1 - 1) \frac{A}{2},$$

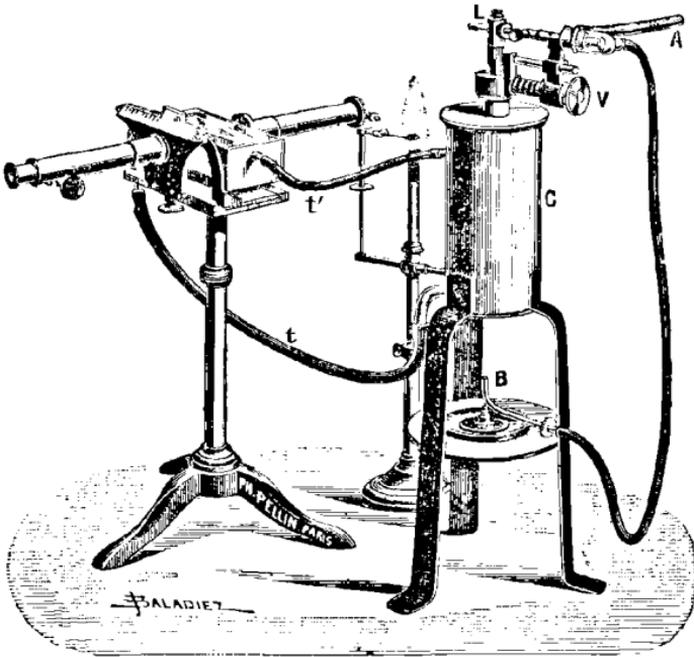
l'indice de l'air étant pris pour unité.

Si l'on introduit un liquide dans le prisme, le rayon qui passait primitivement en B est dévié en B', mais on pourra trouver un autre point de la cuve, C par exemple, où la relation soit sa-

tisfaite. La distance des deux points O et C donne donc $(x - 1)$.

Afin d'appliquer son appareil à l'essai des ma-

Fig. 43



tières grasses, M. Féry y a adapté un appareil de chauffage (fig. 43) et la cuve a été rendue assez sensible pour lire directement la quatrième décimale.

La lumière monochromatique provenant du brûleur tombe sur la fente du collimateur; cette fente qui est large porte un réticule vertical que

l'on peut déplacer par une vis. Les rayons sortant du collimateur tombent sur la cuve et sont reçus ensuite dans une lunette ordinaire à réticules disposés en croix de Saint-André.

La cuve est portée par une plate-forme en verre noir et se déplace suivant sa longueur, perpendiculairement à l'axe optique de l'appareil, au moyen d'un bouton moleté placé au-dessus de la lunette.

Dans son mouvement rectiligne, la glissière portant la cuve entraîne un vernier qui se déplace devant une graduation fixe, donnant directement les deux premières décimales de $(x - 1)$, le vernier au $\frac{x}{10}$ donne les millièmes.

Chaque centième d'indice est représenté par 1 millimètre environ sur la graduation de l'appareil de laboratoire. Cette division est plus détaillée dans les appareils à cuves sensibles disposés pour les essais de matières grasses.

L'appareil sensible est divisé de manière à donner rapidement l'indice avec ou sans emploi d'eau dans la cuve à chauffer.

A cet effet, la division de l'échelle est faite en millimètres, et sur chaque appareil il est indiqué que sans eau dans la cuve à chauffer le zéro correspond à 1, et au-dessous, la constante par laquelle il faut multiplier le chiffre lu sur l'échelle qui, ajouté à 1, donne l'indice du liquide observé, et qu'avec de l'eau dans la

cuve à chauffer le zéro correspond à 1,3325 ; et la nouvelle constante par laquelle il faut multiplier le chiffre lu sur l'échelle qui, ajouté à 1,3325, donne l'indice du liquide cherché à la température donnée par le thermomètre (il faut prendre l'indice de l'eau à cette température).

Mesure de l'indice pour d'autres raies. — Tout ce qui précède se rapporte aux mesures d'indice par rapport à la raie sodée pour laquelle la constante K de l'appareil $2\left(\frac{n-1}{AR}\right)$ est faite égale à l'unité. Si on change la radiation employée, la constante renfermant n (indice de la matière des lentilles) variera également.

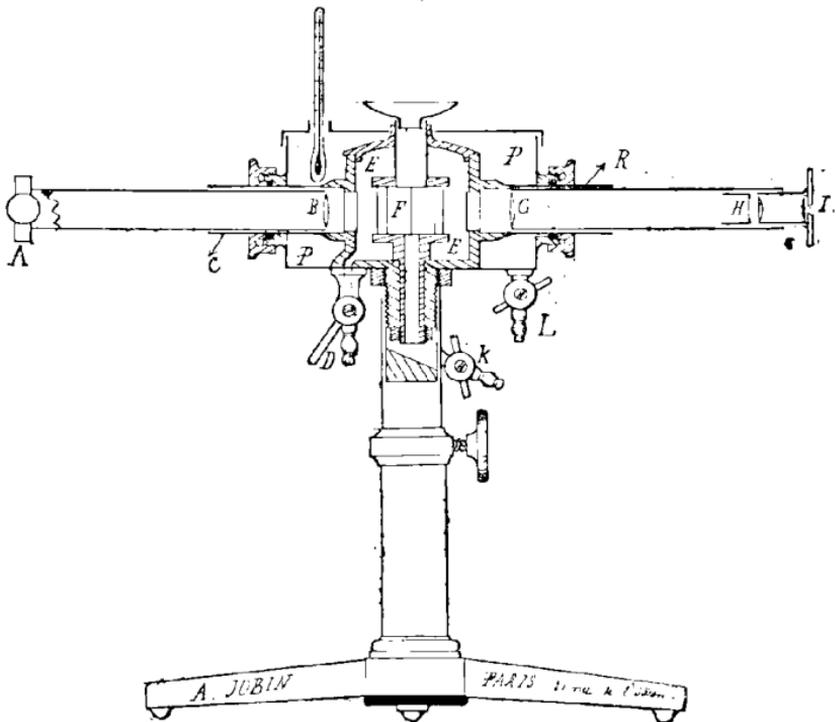
Il est facile de calculer la nouvelle constante, mais on peut aussi la déterminer expérimentalement au moyen d'un liquide dont l'indice est connu pour la radiation employée et à la température de l'expérience.

La construction très soignée du réfractomètre Féry est due à M. Ph. Pellin.

Oléoréfractomètre différentiel Amagat et Jean. — M. Amagat ayant proposé pour le dosage rapide de l'alcool l'emploi d'un réfractomètre différentiel, M. F. Jean y a apporté de nombreux perfectionnements. Le nouvel appareil, appelé *oléoréfractomètre* (fig. 44), parce qu'il sert plus spécialement à l'essai de matières grasses, consiste en une cuve circulaire métal-

lique E munie de deux tubulures opposées et fermées par deux glaces parallèles. Sur les tubulures sont vissés dans le prolongement l'un de l'autre un collimateur A et une lunette B.

Fig. 44



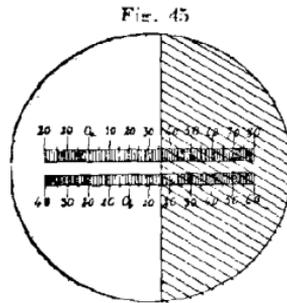
Au centre de la cuve circulaire est fixé un petit cylindre F en métal argenté, creux, dans les parois duquel sont mastiquées deux glaces formant un angle déterminé (107° environ).

Une double échelle photographique (*fig. 45*),

transparente, à divisions arbitraires, est placée devant l'objectif, à l'intérieur de la lunette GIII et sur laquelle vient se projeter l'image fournie par le collimateur A qui sert de mesure.

Cette image est produite par le bord vertical d'un volet partageant le champ en deux parties : l'une sombre, l'autre lumineuse.

L'éclairage s'obtient en pointant l'oléoréfractomètre dans la direction de la flamme d'une lampe. L'appareil est complété par des robinets de vidange D, K, par un réservoir d'eau P avec robinet de vidange L et le thermomètre T et par une petite lampe mobile servant de régulateur de température.



Au moyen d'une vis de rappel, il est facile de déplacer le volet lorsqu'on fait le réglage de l'appareil. La mise au zéro peut être faite avec un liquide quelconque. Mais les déviations observées varient naturellement avec le liquide qui remplit la cuve.

Le liquide type employé par M. Ferdinand Jean pour déterminer la déviation des huiles, des matières grasses concrètes et du beurre, est une huile à réfraction déterminée, prise comme zéro (l'huile de pied de mouton). Si l'on remplace

l'huile type dans le cylindre par une huile quelconque, on observe alors une déviation plus ou moins considérable à droite ou à gauche du zéro, suivant la nature de l'huile examinée. Les huiles végétales dévient toutes à droite du zéro ; les huiles d'origine animale dévient en sens contraire, c'est-à-dire à gauche du zéro. Suivant la consistance de la matière, on fait usage de l'échelle A, à 22°C. (huiles), ou de l'échelle B, à 44°C. (Beurres).

L'avantage de ce procédé réside dans le fait que les divers corps gras possèdent la même correction par degré de température.

La construction très soignée de cet appareil est due à M. Jobin qui y a apporté des perfectionnements mécaniques facilitant le démontage et le nettoyage des diverses pièces.

Réfraction spécifique, atomique et moléculaire. — Bien que l'indice de réfraction d'un liquide varie, comme la densité, avec la température, il existe entre ces deux constantes physiques une relation presque indépendante de la température que l'on appelle *réfraction spécifique*.

La formule la plus usitée pour représenter cette relation est celle de Lorentz et Lorenz :

$$\frac{n^2 - 1}{n^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{d}$$

En multipliant cette expression par le poids

atomique ou moléculaire d'un corps, on obtient la *réfraction atomique* $\left(\frac{n^2 - 1}{n^2 - 2} \cdot \frac{a}{d}\right)$ ou la *réfraction moléculaire* $\left(\frac{n^2 - 1}{n^2 - 2} \cdot \frac{M}{d}\right)$, formules appliquées à l'étude des lois de périodicité des poids atomiques, etc.

La réfraction moléculaire rend des services dans l'étude des formules de constitution des combinaisons organiques, étant donné que la réfraction moléculaire d'un corps combiné est à peu près égale à la somme des réfractions atomiques.

Application des indices de réfraction dans les essais chimiques. — C'est principalement dans l'étude des matières grasses et dans la recherche des falsifications que l'on fait un usage fréquent du réfractomètre, grâce aux travaux de MM. Munz, F. Jean, Zune, Wolloy et autres. L'emploi du réfractomètre dans la chimie analytique en général se propagera de plus en plus, étant donné que l'on connaît déjà avec certitude les indices de réfraction d'un grand nombre de substances pures.

Dans les tableaux XIX à XXVI, nous avons réuni ces données pour les huiles essentielles, les matières grasses, divers liquides, les corps gazeux, etc. A moins d'indications spéciales, ces indices se rapportent à la raie D (lumière sodée) et à la température de 20° C.

TABLEAU XIX
COMPOSITION, DILATION ET RÉFRACTION DE DIVERS VERRÉS (SCOTT)

Désignation	Composition chimique	Méthode de recherche	Refroidissement	Intervalle de température observé	Coefficient de dilatation α pour 1° centigrade	Indice de réfraction D.	Observateur
1 Borasilicate Flint léger.	SiO ₂ . 32,75 B ₂ O ₃ . 31 PbO . 25 Al ₂ O ₃ . 7 K ₂ O . 3 Na ₂ O . 1 Mn ₂ O ₃ . 0,05 As ₂ O ₅ . 0,2	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	7°,16 — 91°,8	0,00001570	1,545	Pulfrich
2 Horale de plomb.	B ₂ O ₃ . 56 PbO . 32 Al ₂ O ₃ . 12	Abbe-Fizeau et Dilatomètre.		0° — 100°	0,00001610	1,573	Weinmann

3 Borosilicate. Verre à thermomètre.	SiO ₂ . . .	71,95	Dilatomètre.	Recuit délicatement au thermo-régulateur.	0° — 100°	a) 0,0000172 b) 0,0000170	Winkelmann
	B ₂ O ₃ . . .	12					
	Na ₂ O . . .	11					
	Al ₂ O ₃ . . .	5					
	Mn ₂ O ₃ . . .	0,05					
4 Borate. Crown léger.	BO ₂ H ₃ . . .	69,1	Abbe-Fizeau.	Recuit délicatement au thermo-régulateur.	14° 4 — 94° 4	0,00002024	Pufrich
	Al ₂ O ₃ . . .	18					
	BaO . . .	4,7					
	Na ₂ O . . .	8					
	As ₂ O ₃ . . .	0,2					
5 Silicate. Flint ordinaire.	SiO ₂ . . .	47,55	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	0° — 100°	0,00002193	Weidmann
	PbO . . .	46,7					
	K ₂ O . . .	6					
	Na ₂ O . . .	0,5					
	Mn ₂ O ₃ . . .	0,05					
As ₂ O ₃ . . .	0,2						
6 Silicate. Flint ordinaire.	SiO ₂ . . .	45,15	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	15° 7 — 92° 2	0,00003363	Pufrich
	PbO . . .	46,4					
	K ₂ O . . .	7,5					
	Na ₂ O . . .	0,2					
	Al ₂ O ₃ . . .	0,5					
Mn ₂ O ₃ . . .	0,05						
As ₂ O ₃ . . .	0,2						

TABLEAU XIX (suite)
COMPOSITION, DILATATION ET RÉFRACTION DE DIVERS VERRES (SCOTT)

Designation	Composition chimique	Méthode de recherche	Rafraîchissement	Intervalle de température observé	Coefficient de dilatation α pour 1° centigrade	Indice de réfraction n_D	Observateur
7 Silicate. Flint léger.	SiO ₂ . 54,22						
	B ₂ O ₃ . 1,5			12°,9			
	PbO . 33		Recuit ordinairement au four à refroidir.	—	0,00002377	1,571	Pulfrich
	K ₂ O . 8	Abbe-Fizeau		97°,6			
	Na ₂ O . 3						
Mn ₂ O ₃ . 0,08							
As ₂ O ₅ . 0,2							
8 Silicate de baryte. Crown lourd.	SiO ₂ . 48,75						
	B ₂ O ₃ . 3						
	BaO . 29		Recuit délicatement au thermo-régulateur.	18°,9			
	ZnO . 10,3	Abbe-Fizeau.		—	0,00002379	1,572	Pulfrich
	K ₂ O . 7,5			93°,1			
	Na ₂ O . 1						
	Mn ₂ O ₃ . 0,07						
As ₂ O ₅ . 0,4							

9 Borasilicate, Crown.	B ² O ³ . . . 10	Abbe-Fizeau.	Recuit délicatement au thermo-régu- lateur.	0,00002393	1,513	Pulfrich
	K ² O . . . 9,5					
	Na ² O . . . 10					
	Zn ² O ³ . . . 2					
	Mn ² O ³ . . . 0,6					
	As ² O ⁵ . . . 0,2					
10 Silicate, Flint lourd.	SiO ² . . . 28,36	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	0,00002410	1,574	Pulfrich
	PbO . . . 69					
	K ² O . . . 2,5					
	Mn ² O ³ . . . 0,04					
	As ² O ⁵ . . . 0,1					
11 Verre de thermomètre normal.	SiO ² . . . 67,3	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	0,00002406	1,527	Pulfrich
	B ² O ³ . . . 2					
	Na ² O . . . 14					
	Al ² O . . . 2,5					
	CaO . . . 7					
	ZnO . . . 7					
	Mn ² O ³ . . . 0,2					

COMPOSITION, DILATATION EN RÉFRACTION DE DIVERS VERRES (SCOTT)

Désignation	Composition chimique	Méthode de recherche	Refroidissement	Intervalle de température observé	Coefficient de dilatation α pour 1° centigrade	Indice D de réfraction	Observateur
12 Silicate Crown.	SiO ₂ . 69	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	a) 4° 85	a) 0,00002583	1,517	Pulfrich
	K ₂ O . 15			18° 57			
	Na ₂ O . 4			b) 18° 57			
	CaO . 8			90° 5			
	B ₂ O ₃ . 2,5						
As ₂ O ₃ . 0,4							
Mn ₂ O ₃ . 0,1							
13 Phosphate, Crown moyen.	P ₂ O ₅ . 59,5	Abbe-Fizeau.	Refroidissement lent.	20° 3	0,00002613	1,555	Pulfrich
	B ₂ O ₃ . 3			92° 5			
	BaO . 28						
	Al ₂ O ₃ . 8						
	As ₂ O ₅ . 1,5						
14 Flint barytique Jeager.	SiO ₂ . 51,65	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	9° 9,5	0,00002701	1,572	Pulfrich
	PbO . 10			93° 3			
	BaO . 20						
	K ₂ O . 9,5						
	Na ₂ O . 1,5						
	ZnO . 7						
	As ₂ O ₅ . 0,3						
Mn ₂ O ₃ . 0,05							

15 Crown à grande dispersion.	SiO ₂	68,06	Abbe-Fizeau	Refroidis- sement ordinaire au four à refroidir.	15 ^o ,65 — 9 ^o ,2	0,00002709	1,522	Pulfrich
	Na ₂ O	16,5						
	PbO	13,15						
	ZnO	2						
	As ₂ O ₅	0,2						
	Mn ₂ O ₃	0,09						
16 Silicate, Crown ordinaire.	SiO ₂	68,07	Abbe-Fizeau.	Refroidis- sement lent au thermo-régp- lateur.	17 ^o ,9 — 9 ^o ,2	0,00002718	1,511	Pulfrich
	K ₂ O	16						
	Na ₂ O	5						
	ZnO	7						
	B ₂ O ₃	3,5						
	As ₂ O ₅	0,4						
Mn ₂ O ₃	0,03							
17 Silicate, Crown ordinaire.	Voir No 16 ci dessus		Abbe-Fizeau.	Fortement trempé.	17 ^o ,3 — 9 ^o ,1	0,00002805	//	Pulfrich
18 Phosphate, Crown léger.	P ₂ O ₅	70,5	Abbe-Fizeau.	Refroidis- sement lent au thermo-régp- lateur.	17 ^o ,7 — 9 ^o ,7	0,000027918	1,517	Pulfrich
	B ₂ O ₃	3						
	K ₂ O	12						
	Al ₂ O ₃	10						
	MgO	4						
	As ₂ O ₅	0,5						

TABEAU XIX (suite et fin)
COMPOSITION, DILATATION ET RÉFRACTION DE DIVERS (SCOTT)

Designation	Composition chimique	Méthode de recherche	Refroidissement	Intervalle de température observé	Coefficient de dilatation α pour 1° centigrade	Indice de réfraction n_D	Observateur
19 Verre. Silicate de plomb très lourd.	SiO ₃ . 20 PbO . 82 As ₂ O ₅ . 0,1	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	24°,5 — 81°,0	0,00002804	1,562	Paltrich.
20 Silicate. Crown ordinaire.	SiO ₂ . 65,4 K ₂ O . 14 Na ₂ O . 5 BaO . 9,6 ZnO . 2 B ₂ O ₃ . 2,5 As ₂ O ₅ . 0,4 Mn ₂ O ₃ . 0,1	Abbe-Fizeau.	idem.	17° — 95°,5	0,00002894	1,517	Paltrich.

TABLEAU XX
 INDICES DE RÉFRACTION DE DIVERSES ESPÈCES DE VERRES (J.-B. BAULÉ)

Espèces de verres	Densité	Température	Indices pour sept raies du spectre						
			B	C	D	b	F	G	H
<i>Plints</i>									
Feil lourd, n° 2	5,00	22°, 5	1,7801	1,7831	1,7920	1,8052	1,8149	1,8368	1,8567
Rosette lourd, n° 3	4,08	12, 4	1,6771	1,6795	1,6878	1,6959	1,7019	1,7171	1,7366
Feil F (1249)	3,68	24, 0	1,6237	1,6255	1,6304	1,6384	1,6429	1,6549	1,6647
Robiehon	3,63	13, 7	1,6131	1,6149	1,6198	1,6275	1,6321	1,6435	1,6534
Feil B (1227)	3,54	23, 2	1,6045	1,6062	1,6109	1,6183	1,6225	1,6335	1,6428
<i>Crozens</i>									
Feil lourd (1185)	3,00	21, 9	1,5554	1,5568	1,5604	1,5658	1,5690	1,5769	1,5836
Feil (1209)	2,80	21, 2	1,5157	1,5166	1,5192	1,5234	1,5256	1,5313	1,5360
Rosette, n° 1	2,55	18, 4	1,5226	1,5237	1,5265	1,5307	1,5332	1,5392	1,5442
Saint-Gobain (glace brute)	2,50	17, 8	1,5244	1,5254	1,5280	1,5320	1,5343	1,5397	1,5443
Feil léger (1228)	2,49	23, 5	1,5126	1,5134	1,5160	1,5198	1,5222	1,5278	1,5323
<i>Plints légers</i>									
Rosette n° 1	3,14	19, 5	1,5966	1,5982	1,6027	1,6098	1,6141	1,6246	1,6338
Feil (1236)	3,24	23, 0	1,5766	1,5783	1,5822	1,5887	1,5924	1,6018	1,6098
Rosette, n° 2	3,22	18, 4	1,5659	1,5675	1,5715	1,5776	1,5813	1,5902	1,5979
Feil très léger (1232)	2,98	23, 2	1,5609	1,5634	1,5690	1,5715	1,5748	1,5828	1,5898

TABLEAU XXI
INDICES DE RÉFRACTION DE SOLIDES

Substances	n	Observateurs
Alun	1,457	Wollaston
Azotate de plomb	1,866	Herschel
Apophyllite	1,543	Brewster
Baume du Canada	1,582	Young
Beryl.	1,598	Brewster
Carbonate de plomb.	1,81 à 2,08	//
Borax	1,475	//
Chromate de plomb.	2,50 à 2,97	//
Colophane	1,543	Wollaston
Cristal de roche	1,547	//
Diamant	2,47 à 2,75	Brewster, Rochon
Écaille de tortue	1,591	Brewster
Émeraude	1,585	//
Flint-Glass	1,57 à 1,58	Brewster ; Wollaston
Feldspath	1,764	Brewster
Glace	1,310	Wollaston
Gomme	1,476	Newton
Nitre	1,514	Brewster
Obsidienne	1,488	//
Phosphore	2,224	//
Rubis	1,779	//
Sel gemme	1,543	Grailich
Spath d'Islande	1,654	Malas
Spermaceti	1,503	Young
Sucre	1,535	Wollaston
Sulfate de chaux	1,531 à 1,552	Brewster
// potasse	1,500	//
// fer	1,494	//
// magnésie	1,488	//
Tabaschir	1,1115	//
Topaze (incolore)	1,610	Biot
Tourmaline	1,268	Brewster
Verre d'antimoine	2,216	//
Verres divers	v. tables spéciales	
Zircon	1,95	Wollaston

TABLEAU XXII
INDICES DE RÉFRACTION DES MATIÈRES GRASSES (D. SIDERSKY)

Désignation	t°	Indice n_D	Correction pour $1^{\circ}C$	Observateur
Acide butyrique	20°	1,39667	0,000419 (0 — 45)	Zano
" caprique	"	1,43520		"
" caproïque	"	1,41490		"
" caprylique	"	1,42822		"
" laurique	"	1,43996		"
" myristique	"	1,45038		"
" oléique	"	1,45963		"
" palmitique	"	1,45303		"
" stéarique	"	1,45468		"
Beurres pures	25°	1,4500	0,00034 — 40	"
"		1,4613		"
"	35°	1,4560		"
"		1,4579		"
"	50°	1,4489	0,00043 — 47	"
"		1,4514		"
" margarine Mouriès	25°	1,4626		"
" "	50°	1,4531		"

TABLEAU XXII (suite)

Désignation	t°	Indice n_D	Correction	Observateur
Beurre de margarine Mouton . . .	25°	1,4638		Zane
"	50°	1,4549		"
Oléomargarine Bal	25°	1,4635		"
" Bluyzen	25°	1,4634		"
"	25°	1,4750		"
Graisse d'Autriche	50°	1,4644		"
" de bœuf (rognons).	50°	1,4511	0,00043	"
" " (moelle)	50°	1,4534	0,00037	"
" " canard.	25°	1,4566	0,00035	"
" " cheval.	50°	1,4577		"
" " mouton	50°	1,4567	0,00035	"
" " oie	50°	1,4541	0,00036	"
" "	25°	1,4679	0,00038	"
" "	50°	1,4585		"
" " porc.	25°	1,4641	0,00037	"
" "	50°	1,4549		"
" " veau.	25°	1,4581	0,00042	"
" "	50°	1,4475		"

TABLEAU XXIII

 INDICES DE RÉFRACTION DES HUILES ESSENTIELLES
 (D. SIDERSKY)

Désignation	t°	Indice n _D	Observateur
Absinthe	15°	1,53257	Zune
Amandes amères	15°	1,53838	"
Aneth	11°5	1,48340	Gladstone
Anethol (C ¹⁰ H ¹² O)	12°	1,56259	Nasini
Angélique	15°	1,48194	Zune
Anis vert.	15°	1,55843	"
Aspic (fleur de lavande, la spica)	15°	1,46517	"
Othosperma mocha- tum	14°	1,52740	Gladstone
Badiane	15°	1,55202	Zune
Bergamote	14°	1,46500	Torehen
Bouleau	8°	1,49210	Gladstone
Cajeput vert.	21°5	1,45940	"
Calamus	10°	1,5031	"
Camomille romaine	15°	1,44733	Zune
Cannelle de Ceylan	15°	1,58865	"
Carvi anglais	19°	1,46710	Gladstone
Cascarille	10°	1,49180	"
Cassia(cannelle de Chine)	20°	1,58624	Wiedemann
Cédar	23°	1,50350	Gladstone
Cédrat.	18°	1,47310	"
Citron	14°	1,47830	Torehen
Citronnelle	21°	1,46590	Gladstone
Coréandre	10°	1,46520	"
Cubèbe	10°	1,50110	"
Fenouil	15°	1,53212	Zune
Eucalyptus amygdalina.	13°5	1,47880	Gladstone
" oléosa	13°5	1,47180	"
Gaultheria	15°	1,52780	"
Genièvre (baies de)	15°	1,47890	Zune
Géranium	21°5	1,47140	Gladstone
Girofle.	17°	1,53120	"
Hysope	15°	1,48516	Zune

TABLEAU XXIII (suite)

INDICES DE RÉFRACTION DES HUILES ESSENTIELLES
(D. SIDERSKY)

Désignation	t°	Indice n_D	Observateur
Laurier cerise.	15°	1,54352	Zune
Lavande	15°	1,46679	"
Limon.	16°5	1,47270	Gladstone
Malaleuca cricifolia	9°	1,47120	"
" linarifolia	9°	1,4772	"
Menthe angeoise.	15°	1,47243	Zune
" française.	"	1,46887	"
" verte	19°	1,48400	Gladstone
Mirbane (nitrobenzine).	19°	1,55300	Torehen
Myrthe	7°5	1,52780	"
" 	14°	1,46800	"
Nard anglais	24°	1,47050	"
" de Penang	13°5	1,48370	"
Néroli (orange)	15°	1,58185	Zune
Nutmeg (graines de my- riotica aromatica)	25°	1,46550	Torehen
Orange (écorces d')	15°	1,48280	Zune
Patchouli français	14°	1,51320	Gladstone
" anglais.	21°	1,50500	"
Persil	8°5	1,51620	"
Pin maritime	15°	1,48126	Zune
Portugal	14°	1,47390	Torehen
Romarin	15°	1,46851	Zune
Rose	14°	1,46870	Torehen
Rosewood	17°	1,49030	Gladstone
Rue.	15°	1,43086	Zune
Sabine.	"	1,47971	"
Santal citrin	"	1,50357	"
Tanaïrie	"	1,45863	"
Térébenthine	"	1,47375	"
Thym	19°	1,47540	Gladstone
Sureau	8°5	1,4749	"
Verveine.	14°	1,47750	Torehen
Vin (lie de)	15°	1,43034	Zune

TABLEAU XXIV

INDICES DE RÉFRACTION DE QUELQUES LIQUIDES

Désignation	n_D (20°C)	Observateur
Acétal	1,38193	Brühl
Acétate d'allyle.	1,40448	"
" d'amyle	1,40376	Landolt
" d'éthyle	1,37257	"
" de méthyle	1,30099	"
" de propyl. norm.	1,38438	Brühl
Acétone	1,35915	Landolt
Acétylacétate d'éthyle	1,41976	Brühl
Acide acétique	1,37182	Landolt
" " anhydre.	1,39038	"
Acroléine	1,39975	Brühl
Alcool allylique	1,41345	"
" amylique de ferm.	1,40783	Landolt
" benzylique	1,53954	Brühl
" butylique	1,39909	"
" " iso	1,39994	Landolt
" éthylique	1,36138	Korten
" méthylique.	1,32945	Landolt
" phénylpropylique	1,53565	Brühl
" propylique.	1,38543	"
" " (iso)	1,37757	"
Aldéhyde benzylique.	1,54638	"
" butylique.	1,38433	"
" " (iso)	1,37302	"
" éthylique.	1,33157	"
" propylique	1,36356	"
" salicylique	1,57511	"
Amylène	1,37576	"
Aniline.	1,58629	"
Benzène	1,50144	Waegmann
" monobromé	1,55977	Brühl
" monochloré	1,52479	"
Benzoate d'éthyle	1,50602	Landolt
" de méthyle	1,51692	"
Bromure d'amyle de ferm.	1,44118	Haagen
" d'éthyle	1,42406	"
" d'éthylène	1,53806	"
" de propyle	1,43387	Brühl
" " (iso)	1,42508	"

TABLEAU XXIV (suite)

INDICES DE RÉFRACTION DE QUELQUES LIQUIDES

Désignation	n_D (20°C)	Observateur
Butyrate d'éthyle	1,39599	Landolt
" de méthyle. . . .	1,38891	"
Carbonate d'éthyle	1,38523	Brühl
Chloral butylique	1,47554	"
" éthylrique	1,45572	"
Chloroforme.	1,44621	Lorenz
Chlorure d'acétyle. . . .	1,38976	Brühl
" d'allyle	1,41538	"
" de butyryle	1,41209	"
" d'éthylène	1,44432	"
" de propionyle. . . .	1,40507	"
" de propyle. . . .	1,38856	"
Éther	1,35293	"
Formiate d'amyle	1,39799	"
" d'éthyle	1,35985	"
Glycérine	1,47293	Landolt
Glycol éthylique	1,42743	"
Hexane.	1,37536	Brühl
Hydrocinnamate d'éthyle	1,49542	"
Iodure d'amyle	1,49078	Haagen
" de butyle	1,50006	Brühl
" " (iso)	1,49597	"
" d'éthyle.	1,51307	Haagen
" de méthyle. . . .	1,52973	"
" de propyle. . . .	1,50508	Brühl
" " (iso).	1,49969	"
Mésitylène	1,49116	"
Nitrobenzène	1,55291	"
Oxalate d'éthyle	1,41043	"
Phénol.	1,55033	Landolt
Sulfure de carbone	1,62761	Kettler
Toluène	1,49552	Brühl
Toluidine ortho.	1,57276	"
Trichloracétate d'éthyle.	1,45068	"
Triéthylamine	1,40032	"
Valérate d'amyle	1,41194	Landolt
" d'éthyle	1,39704	"
" de méthyle	1,39479	"
α -bromonaphtaline	1,65820	Walter

TABLEAU XXV

INDICES DE RÉFRACTION DE L'EAU DISTILLÉE
A DIVERSES TEMPÉRATURES (KETTLEH)

Températures	n_D (Na)	n (Li)	n (Ti)
— 10	1,33366	1,33149	1,33566
— 5	1,33399	1,33182	1,33589
0	1,33411	1,33194	1,33602
+ 2	1,33410	1,33193	1,33601
5	1,33408	1,33191	1,33599
10	1,33392	1,33175	1,33581
20	1,33327	1,33110	1,33517
30	1,33226	1,33010	1,33415
40	1,33093	1,32878	1,33282
50	1,32934	1,32720	1,33122
60	1,32753	1,32540	1,32941
70	1,32551	1,32339	1,32737
80	1,32330	1,32120	1,32516
90	1,32096	1,31886	1,32280
100	1,31843	1,31635	1,32025

TABLEAU XXVI

INDICES DE RÉFRACTION DES GAZ ET DES VAPEURS
(D'APRÈS M. MASCART)

(A 0°C et à la pression de 760^{mm} pour les gaz et à environ 12°C. pour les vapeurs).

Gaz et vapeurs	Réfraction relative	Indice de réfraction
Air	1	1,000293
Azote	1,0172	1,000298
Oxygène	0,9245	1,000271
Hydrogène	0,4740	1,000139
Oxyde de carbone	1,1446	1,000335
Acide carbonique	1,5527	1,000454
Protoxyde d'azote	1,7626	1,000516
Bioxyde "	1,0164	1,000297
Acide sulfureux	2,4038	1,000704
Cyanogène	2,8070	1,000822

TABLEAU XXVI (suite)

Gaz et vapeurs	Réfraction relative	Indice de réfraction
Eau	0,88	1,000257
Chlore	2,63	1,000770
Brome	3,85	1,001127
Acide chlorhydrique	1,52	1,000445
" bromhydrique	1,95	1,000571
" iodhydrique	3,10	1,000907
" cyanhydrique.	1,49	1,000436
" sulhydrique	2,12	1,000620
Ammoniaque	1,29	1,000377
Chlorure phosphoreux.	5,92	1,001733
Sulfure de carbone	5,05	1,001478
Formène (gaz des marais)	1,51	1,000442
Éthylène (gar oléfiant).	2,46	1,000720
Acétylène	2,075	1,000607
Allylène	4,04	1,001182
Propylène	3,81	1,001115
Amylène.	5,76	1,001686
Hydruve d'amylène	5,82	1,001703
Benzine	6,20	1,001815
Éther méthylchlorhydrique	2,96	1,000876
" bromhydrique	3,28	1,000960
" iodhydrique	4,33	1,001267
" cyanhydrique.	2,64	1,000753
Méthylène trichloré (chloro- forme)	4,98	1,001457
Méthylène quadrichloré	6,05	1,001771
Éther méthylacétique	3,87	1,001133
Alcool méthylique	2,12	1,000620
Éther "	3,03	1,000887
" éthylchlorhydrique.	4,01	1,001174
" bromhydrique.	4,16	1,001217
" iodhydrique	5,47	1,001601
Bichlorure d'éthylène (li- queur des Hollandais)	4,82	1,001408
Éther éthylformique	4,05	1,001185
" acétique	4,79	1,001402
Alcool éthylique	3,01	1,000881
Éther "	5,25	1,001507
Aldéhyde	2,76	1,000808
Acétone	3,74	1,001095
Éther allylchlorhydrique	4,91	1,001437

CHAPITRE V

CALORIMÉTRIE ET DILATATION

A. CALORIMÉTRIE INDUSTRIELLE

Calorimètres. — La mesure de la chaleur dégagée par la combustion directe des composés organiques, et notamment des combustibles solides, liquides et gazeux, a été l'objet de nombreuses expériences de la part de MM. Dulong, Favre et Silbermann, Berthelot, Scheurer-Kestner, Meunier-Dolfus, Bunte, Mahler, Stohmann, Alexéeff, Fischer, etc.

Ces expériences, autrefois longues et incertaines, ont été rendues très expéditives, grâce à la bombe calorimétrique de MM. Berthelot et Vielle, qui est de tous les calorimètres celui qui offre le plus d'avantages au double point de vue de la facilité des opérations et de la précision des résultats.

Cet appareil qui n'a d'autre défaut que celui d'être d'un prix élevé, à cause de la grande quantité de platine qui entre dans sa construction, a été modifié récemment par M. Mahler qui

l'a adapté aux essais industriels en augmentant son volume et en remplaçant par un émail particulier la chemise de platine de l'appareil de MM. Berthelot et Vieille. Nous allons donner la description de l'appareil Mahler, appelé *obus calorimétrique*, à cause de sa forme extérieure.

Le lecteur trouvera la description de la bombe calorimétrique de MM. Berthelot et Vieille dans le *Traité pratique de Calorimétrie chimique* de M. Berthelot, paru dans l'Encyclopédie Scientifique des Aide-Mémoire.

Divers procédés employés pour la détermination de la puissance calorifique des combustibles. — Jusque dans ces temps derniers, cette détermination se faisait tantôt par le procédé Berthier, basé sur la réduction de la litharge, tantôt par l'analyse élémentaire. Le procédé Berthier est inexact, la puissance calorifique n'étant pas toujours en rapport avec le pouvoir réducteur d'un combustible. Quant à l'analyse élémentaire, c'est une opération longue et délicate; de plus, les expériences de MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dolfus, celles de M. Bunte ainsi que celle de M. Mahler ont démontré l'inexactitude de la formule de Dulong qui prétend que la puissance calorifique totale est égale à la somme des calories fournies par chacun des éléments entrant dans la composition de la matière essayée.

Principe de l'appareil Mahler. — Dans une capacité à parois résistantes, on place le combustible, on introduit ensuite de l'oxygène sous une pression convenable, et l'on ferme exactement l'enceinte. Si l'on immerge alors l'appareil dans l'eau d'un calorimètre, et que l'on enflamme par un artifice quelconque le combustible, celui-ci, grâce à la grande quantité d'oxygène, brûle complètement, et presque instantanément.

Sa chaleur dégagée se transmet alors, sans aucune déperdition, à l'eau du calorimètre et aux diverses pièces de l'appareil, et il est facile de l'estimer, comme dans toutes les opérations calorimétriques. Seulement, dans le cas présent, eu égard à la rapidité de l'expérience, la plupart des corrections deviennent négligeables, par exemple, celles qui proviennent de l'évaporation de l'eau.

Description de l'obus (fig. 46). — L'appareil de M. Mahler se compose essentiellement d'un obus B, d'un calorimètre D, d'une enveloppe isolatrice A, d'un agitateur S.

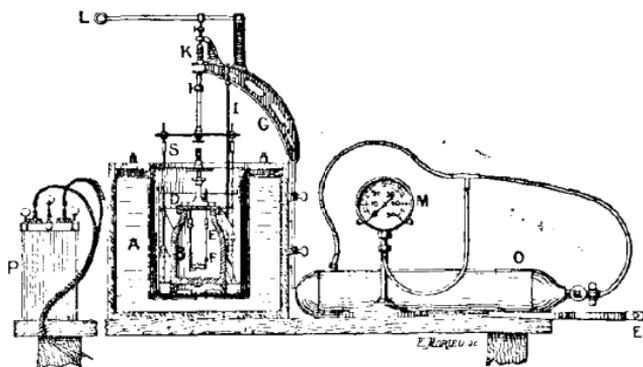
L'obus est en acier supérieur demi-doux, forgé au mandrin.

Cet acier, plus doux que l'acier à canon, présente 55 kilogrammes de résistance par millimètre carré de section et 22 % d'allongement. La qualité en a été choisie avec soin, non seulement

à cause de la résistance que doit offrir la chambre de combustion, mais surtout pour faciliter l'émaillage dont il sera parlé plus loin.

L'obus a 654 centimètres cubes de capacité, qui est bien plus grande que celle de la bombe

Fig. 46



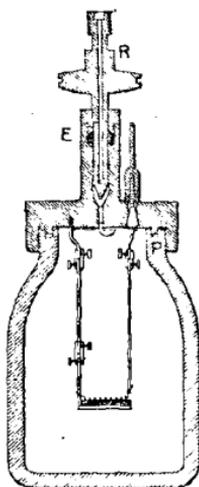
calorimétrique de M. Berthelot, afin d'assurer dans tous les cas une parfaite combustion du charbon, par un certain excès d'oxygène, quand même la pureté de ce gaz livré par le commerce laisserait un peu à désirer. En outre, l'obus peut ainsi servir à l'étude des gaz des gazogènes de l'industrie qui contiennent jusqu'à 70 % de matières inertes, et dont il faut prendre une quantité importante, si l'on veut déterminer une élévation observable de la température du calorimètre.

La forme ogivale se prête parfaitement à l'émaillage. Les forgerons qui, depuis longtemps,

ont fait leur apprentissage pour de semblables pièces, l'obtiennent d'ailleurs facilement au marteau-pilon.

L'obus est nickelé extérieurement. Intérieurement il est préservé par une couche d'émail contre l'action corrosive de l'acide azotique qui se forme toujours pendant la combustion. Cette

Fig. 47



couche d'émail, nécessaire à la conservation de l'appareil, remplace la chemise de platine qui garnit l'appareil du Collège de France.

L'obturation de l'obus se fait par un bouchon à vis dit *robinet pointeau* (1) qui vient serrer une rondelle de plomb. Le bouchon porte un robinet à vis conique, qui sert à l'introduction de l'oxygène ; il est traversé par une électrode de platine bien isolée, prolongée par une tige de platine E (la *fig. 47* indique les détails de cette partie très importante de l'appareil). Une autre tige de platine, également fixée au bouchon, soutient la capsule plate où l'on place le combustible à essayer.

On enflamme celui-ci en le mettant en contact

(1) Dans les obus les plus récents, le robinet pointeau est en ferro-nickel, métal peu oxydable.

avec une petite spirale en fil de fer qu'un courant électrique brûle au moment voulu et qui joue ainsi le rôle d'amorce.

Le calorimètre, l'enveloppe isolatrice et l'agitateur diffèrent par de nombreux détails, qui en ont diminué le prix de revient, des pièces analogues de l'appareil en usage dans le laboratoire de M. Berthelot.

L'agitateur hélicoïdal de M. Berthelot est ici commandé par une combinaison cinématique très simple et très douce, qui permet à l'opérateur d'imprimer sans fatigue, au système un mouvement régulier. Signalons encore les thermomètres qui indiquent les centièmes de degré, le générateur d'électricité, ou pile au bichromate de 12 volts et 2 ampères, et un compteur de minutes (montre ou sablier).

M. Mahler emprunte l'oxygène à un tube fourni par la Compagnie Continentale d'Oxygène. Comme la pression convenable pour la combustion de 1 gramme de houille est de vingt-cinq atmosphères au plus, et que le tube de modèle courant renferme 1 200 litres (cent vingt atmosphères), on dispose donc d'une provision pour une centaine d'expériences (1).

(1) Le remplissage du tube par la Compagnie Continentale d'Oxygène coûte environ 10 francs. Les frais d'une expérience calorimétrique sont donc relativement très faibles.

Détermination d'un pouvoir calorifique avec l'obus. — On pèse 1 gramme de la substance à essayer dans la capsule, on ajoute le petit morceau de fil de fer d'un poids connu, qui sert d'amorce. Après avoir introduit le tout dans l'obus, on serre fortement le bouchon de la chambre de combustion que l'on saisit, à cet effet, entre les mâchoires d'un étau. On met le robinet pointeau de l'obus en communication avec le tube d'oxygène O. Ouvrant ensuite le robinet de celui-ci, on laisse entrer l'oxygène dans l'obus jusqu'à ce que le manomètre marque vingt-cinq atmosphères. Après avoir fermé le robinet du tube à oxygène, on ferme aussi, très exactement, le robinet pointeau, et on détache le tube qui faisait communiquer l'obus avec le récipient d'oxygène. Il est recommandé de ne pas peser la substance, et en particulier le charbon, en poudre trop fine et aussi d'introduire le gaz lentement, de peur de soulever, par le courant d'oxygène, la matière qui se trouve dans la capsule. L'obus ainsi préparé est placé dans le calorimètre D. On y dispose le thermomètre T, et l'agitateur S. Puis on y verse l'eau qui a été préalablement jaugée. On agite quelques instants le liquide, pour que l'ensemble du système se mette à peu près en équilibre de température, et l'on commence l'observation.

On note la température de minute en minute,

pendant cinq minutes environ, de façon à fixer la loi que suit le thermomètre avant l'inflammation. Puis on met le feu en approchant de l'obus les électrodes d'une pile ou d'une machine électrique : une électrode est appuyée sur une borne correspondant à la tige de platine E, et l'autre en un point quelconque du robinet. L'inflammation a lieu aussitôt. On note la température une demi-minute après le commencement de la minute où a eu lieu la mise en feu. Puis, à la fin de la minute, et on continue les observations thermométriques de minute en minute, jusqu'au point à la suite duquel le thermomètre commence à baisser régulièrement. C'est le maximum. On continue l'observation encore pendant cinq minutes, de façon à fixer la loi que suit le thermomètre après le maximum.

On a alors les éléments principaux du calcul, et en particulier de l'unique correction calorimétrique, qu'il est convenable de faire dans les circonstances de l'opération. C'est la correction due à la perte de chaleur que le calorimètre a éprouvée pendant l'opération.

Cette correction s'effectue d'après la règle suivante, vraie dans de très larges limites même dans le cas où l'équivalent en eau du système ne serait que la moitié de celui de l'appareil de M. Mahler :

1° La loi de décroissance de température ob-

servée à la suite du maximum représente la perte de chaleur du calorimètre avant le maximum et, pour une minute considérée, à la condition que la température moyenne de cette minute ne diffère pas de plus de 1 degré de la température du maximum ;

2° Si la température de la période considérée diffère de plus de 1 degré, mais moins de 2 degrés, de celle du maximum, le chiffre qui représente la loi de décroissance au moment du maximum, diminué de 0,005, donne encore la correction cherchée.

Les deux remarques précédentes suffisent dans tous les cas. On conviendra d'ailleurs, et cela sans altérer la précision de l'opération, que la loi de variation suivie pendant la première moitié de la minute où a eu lieu l'enflammation, est celle qui existait au moment du maximum.

Pendant toute la durée de l'observation, l'expérimentateur doit avoir soin de faire fonctionner régulièrement l'agitateur.

Lorsque l'observation est terminée, on ouvre d'abord le robinet pointeau, puis l'obus lui-même.

On lave l'intérieur de l'obus avec un peu d'eau, de façon à réunir le liquide acide formé pendant l'explosion (1). On dose l'acide azoti-

(1) La proportion d'acide entraînée par l'oxygène s'écoulant par le robinet pointeau est absolument négligeable.

que acidimétriquement, et l'on possède alors tous les éléments de calcul, puisque le pouvoir calorifique Q est en somme

$$Q = \Delta (P + P') - (0,23 p + 1,6 p').$$

Δ , étant la différence de température corrigé ;

P , le poids de l'eau du calorimètre ;

P' , l'équivalent en eau de l'obus et des accessoires ;

p , le poids de l'acide azotique (AzO^5,HO) constaté ;

p' , le poids de la petite spirale de fer ;

0,23, la chaleur de formation de 1 gramme d'acide azotique dilué ;

1,6, la chaleur de combustion de 1 gramme de fer (1).

(1) On remarquera que les dimensions de l'appareil sont telles que l'on peut sans difficulté régler une fois pour toutes les expériences, de façon à annuler les corrections qui sont d'ailleurs très faibles. Si α est la correction due à la perte de la chaleur pendant l'opération, il n'y aura pas à tenir compte des corrections, si l'on a

$$0,13p + 1,6p' = \alpha (P + P').$$

Or, p est d'autant plus fort que Δ , et par conséquent α , sont plus élevés ; p' est à la disposition de l'opérateur, dans de certaines limites : P également. On conçoit donc la possibilité de rendre l'égalité ci-dessus suffisamment vraie, dans tous les cas, pour des opérations industrielles. C'est ce que M. Mahler a fait dans son appareil personnel : ainsi le pouvoir calorifique

S'il s'agit d'un essai de houille, en procédant ainsi on ne tient pas compte de la petite quantité d'acide sulfurique qui résulte de l'oxydation du soufre de l'échantillon, et qui se trouve dosé comme acide azotique. L'erreur est, en effet, négligeable dans une expérience industrielle, mais on remarquera que le soufre étant entièrement oxydé et transformé en acide sulfurique, l'obus donne un moyen de l'évaluer. Dans ce cas, il vaut mieux brûler 2 grammes sous une pression de trente atmosphères, sans du reste faire les observations du thermomètre. On procède de même pour un liquide que pour un solide. Toutefois, si le liquide émet des vapeurs sensibles, il est bon de peser la prise d'essai dans une ampoule mince à pointe effilée, par où passera l'amorce en fil de fer. A l'instant où l'on introduit l'ampoule dans l'obus, il faut avoir soin de briser ses pointes pour permettre l'accès de l'oxygène jusqu'au contact du liquide.

Essai de gaz. — M. Mahler a également déterminé la puissance calorifique de divers gaz. La manipulation est aisée : après avoir fait le vide dans l'obus exactement jaugé, on le remplit une première fois de gaz ; on fait le vide une

de l'huile de colza est $9621^{\text{cal}},9$; en multipliant simplement $3,59$ par 2681 , on trouve 9624 qui en approche à $\frac{3}{1000}$ près.

seconde fois et on introduit définitivement le gaz sous la pression barométrique, et à la température du laboratoire ; on ajoute alors l'oxygène et on procède comme pour les solides et les liquides.

La détermination du pouvoir calorifique des gaz offre une difficulté particulière : il faut se garder de diluer le gaz dans une quantité telle d'oxygène, que le mélange cesserait d'être combustible. Pour le gaz d'éclairage, cinq atmosphères d'oxygène suffisent. Pour les gaz des gazogènes industriels, on ne dépassera pas une demi-atmosphère.

Détermination de l'équivalent en eau du système. — Pour déterminer la valeur de correction représentant l'équivalent P' en eau du système, le plus simple est de faire la double expérience suivante :

On brûle dans l'obus un poids connu, soit 1 gramme, d'un produit de composition bien fixe, la *naphthaline* par exemple, et avec 2 200 grammes d'eau dans le calorimètre. On brûle ensuite environ 0^{sr},800 de naphthaline, par exemple, avec seulement 2 100 grammes d'eau dans le calorimètre.

On a alors deux équations entre lesquelles on élimine la chaleur de combustion de la naphthaline, et l'on en déduit la valeur de l'équivalent en eau.

Il faut avoir soin de ne peser la naphthaline

qu'après l'avoir légèrement fondue. Cette substance est si légère, que, si on ne l'agglomérât pas ainsi, l'oxygène en entrant dans l'obus pourrait en éparpiller quelques milligrammes, qui ne seraient pas brûlés.

M. Malher a déterminé la composition et la puissance calorifique d'un grand nombre de combustibles, et il a, en outre, établi le bilan calorifique de la distillation en grand de la houille de Commentry, effectuée du 1^{er} au 3 octobre 1891 par les soins de la Compagnie parisienne du gaz à la Vilette ; les divers produits de la distillation ont été recueillis et pesés, puis analysés et essayés au calorimètre.

Les tableaux XXVII et XXVIII résument les résultats de ces remarquables expériences.

Nous donnons plus loin des tableaux indiquant la composition et le pouvoir calorifique des houilles, lignites, tourbes, bois, cokes, pétroles, essences, naphets, gaz d'éclairage, de gazogènes, etc., d'après les essais de M. Mahler et ceux de divers expérimentateurs (1).

Correction due à l'évaporation de l'eau.—

(1) Dans le cas de l'essai d'une substance peu hydrogénée, le coke par exemple, il se forme si peu d'eau, que la quantité est insuffisante pour dissoudre les acides ; il convient alors de mettre au fond de l'obus quelques centimètres cubes d'eau dont on tient compte dans le calcul.

Le pouvoir calorifique des combustibles déterminé par un essai calorimétrique, suivant ce qui vient d'être exposé, représente le nombre total de calories dégagées par la combustion d'un kilogramme de matières sèches avec condensation de l'eau formée. C'est ce qu'on appelle le pouvoir calorifique théorique. Dans la pratique industrielle, il n'en est cependant pas ainsi. L'eau formée par la combustion de l'hydrogène s'en va à l'état gazeux en même temps que l'acide carbonique, sans se condenser; il y a de plus évaporation de l'eau hygroscopique du combustible. Cette chaleur perdue, exprimée en calorie, est :

$$\frac{E + 9H}{100} \times 600 = 6E + 54 H$$

en admettant que la chaleur de vaporisation de l'eau soit de 600 calories.

Dans l'analyse d'un combustible, l'eau hygroscopique est déterminée par la méthode habituelle, et la correction est facile à établir. Quant à l'hydrogène, M. Malher a observé qu'en faisant abstraction de l'eau et des cendres, chacune des diverses catégories de houille présente une teneur en hydrogène peu variable, qui est en moyenne

De 5,50 % = 300 calories, pour les houilles flam-bantes et le charbon à gaz.

De 5 % = 270 calories, pour les houilles grasses ;

De 4 % = 220 calories, pour les houilles demi-grasses ;

De 3 % = 160 calories, pour les houilles demi-maigres ;

De 2 % = 110 calories, pour les anthracites.

On n'a donc qu'à retrancher l'un de ces nombres du chiffre exprimant le pouvoir calorifique de la matière essayée, abstraction faite de l'eau et des cendres.

Pouvoir calorifique et formule de Dulong. — La formule de Dulong :

$$\text{Pouv. calor.} = 81,40C + 345,00\left(H - \frac{O}{8} + \frac{Az}{8} - 1\right).$$

(on peut écrire plus simplement :

$$\text{Pouvoir calorifique} = 124,525C + 388,125H - 4269$$

a servi pendant longtemps pour la détermination indirecte du pouvoir calorifique des combustibles déduite de l'analyse élémentaire. MM. Scheurer-Kestner, Bunte, Stohmann, Alexéeff et Mahler ont prouvé que les résultats calculés à l'aide de la formule ci-dessus, s'écartent très souvent de ceux observés directement, et qu'il est impossible de trouver une formule générale qui soit exacte dans tous les cas.

Chauffage des chaudières à vapeur. — D'après la théorie mécanique de la chaleur, le nombre de calories nécessaire pour transformer un kilogramme d'eau de 0°C. en vapeur de t° se compose de deux parties distinctes : a) calories

nécessaires pour élever la température de 0 à t° soit t° calories et la *chaleur latente de vaporisation*, c'est-à-dire les calories absorbées par l'eau de t° pour sa transformation en vapeur de t° . La somme de ces deux valeurs est égale à 606,5 + 0,305*t*.

Le tableau suivant indique la chaleur latente et la chaleur totale de vaporisation, à diverses températures et pressions :

Température	Force élastique en atmosphères	Chaleur latente	Chaleur totale
100°	1	537°	637 calories
120 6	2	521	643 "
139 9	3	512	647 "
144	4	504	650 "
150	4,712	501	651 "
152 2	5	498	653 "
159 2	6	494	655 "

Dans la pratique industrielle on admet le chiffre de 637 calories pour la production d'un kilogramme de vapeur à 4 atmosphères, le chauffage des chaudières ayant lieu avec de l'eau de la température ambiante.

Or, si l'on pouvait utiliser toute la chaleur de combustion pour la production de la vapeur, 1 kilogramme de houille de bonne qualité ayant un pouvoir calorifique de 800 calories évaporerait

$\frac{8000}{637} = 12^{\text{kg}},560$ d'eau. Dans la pratique, on n'utilise guère que les deux tiers de la chaleur produite, à cause de la déperdition de chaleur dans les gaz de la cheminée, pertes diverses dues aux combustions incomplètes, etc. Mais il est notoirement reconnu actuellement que plus la puissance calorifique d'un combustible est élevée, plus grand est l'effet utile de la combustion et les pertes sont plus réduites.

En dehors du tableau de M. Mahler (XXVIII), nous donnons la puissance calorifique de corps gazeux et de quelques résidus industriels (Tableaux XXIX et XXX).

B. DILATATION

Dans les essais et recherches relatifs aux questions industrielles, on fait des applications nombreuses des coefficients de dilatation. Mais il est très rare que l'on ait à effectuer les essais nécessaires pour la détermination de ces constantes. La description de ces procédés usités se trouvant dans les principaux traités de physique, nous ne croyons pas devoir y insister davantage.

Les tableaux XXXI à XXXIV donnent les coefficients de dilatation des solides, liquides, et gazeux. Le tableau XXXV indique la contraction et la dilatation des liqueurs titrées employées en chimie analytique.

BILAN DE LA HOUILLE DE COMMENTRY (MAHLER)

TABLEAU XXVII

Désignation des combustibles	Analyse élémentaire						Pouvoir calorifique calories observé	Quantités en poids retrouvées à la distillation sur 100 kil. de houille	Chaleur dégagée par les produits de la distillation
	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	Cendres	Eau			
Houille de Commentry . . .	75,182	5,176	8,202	0,91	7,05	3,45	7,423,2	100	742,326,0
Coke de la houille . . .	85,773	0,414	2,013	0,62	10,27	0,88	7,019,4	65,66	160,892,8
Goudron du barillet . . .	90,186	4,848	4,966		"	"	8,887,0	3,59	31,908,3
" du collecteur . . .	89,910	4,945	5,145		"	"	8,942,8	0,87	7,780,2
" du réfrigérant . . .	87,222	5,499	6,279		"	"	8,831,0	1,16	10,243,9
" du condenseur . . .	85,183	5,599	9,218		"	"	8,538,4	1,89	16,137,6
Gas de la houille . . .	55,086	21,660	23,454		"	"	11,110,0	17,09	189,887,0
Eaux ammoniacales . . .	"	"	"	148 ⁷	par lit.	"	"	9,36	"
Totaux	"	"	"	"	"	"	"	99,92	716,815,8
Calories perdues	"	"	"	"	"	"	"	"	25,719,2
Coke employé à la distillation	"	"	"	"	"	"	7,019,4	21,09	148,013,2

Distillation en grand à l'usine expérimentale de la Vilette les 1^{re}, 2 et 3 Octobre 1891

TABLEAU

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE

Désignation des combustibles	Analyse élémentaire					
	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	Eau hygroscopique	Cendres
Houille flamante du puits Sainte-Marie (Blanzy)	79,378	4,967	8,725	1,13	3,90	1,90
Houille à gaz de Commentry	80,182	5,245	7,193	0,98	3,00	3,40
" " Lens	83,727	5,216	6,007	1,00	1,05	3,00
" grasse du Treuil (Saint Étienne)	84,546	4,772	4,592	0,84	1,25	4,00
Houille demi-grasse du puits Saint-Marc (Anzin)	88,473	4,139	3,158	1,18	1,35	1,70
Houille anthraciteuse de Kébao (Tuakin)	85,746	2,733	2,671	0,60	2,80	5,45
Anthracite de Pensylvanie	86,456	1,995	1,449	0,75	4,45	5,90
Lignite de la terre de feu	46,159	3,862	14,979		16,50	18,50
" de Trifail (Styrie)	65,455	4,782	24,303		0,71	4,75
" de Vaugirard	59,795	4,512	25,799		3,14	6,75
Tourbe de Bohême	53,183	5,542	34,230		6,13	0,92
Bois sapin de Norwège (partiellement desséché)	47,366	5,581	39,780		6,94	0,33
Bois de chêne de Lorrains	46,368	5,427	40,335		6,92	0,75
Cellulose (C ₁₂ H ₁₀ O ₁₀)	44,440	6,170	49,390	"	"	"

XXVIII

DE DIVERS COMBUSTIBLES (MAHLER)

Matières volatiles, abstraction faite de l'eau	Analyse élémentaire abstraction faite des cendres et de l'eau				Pouvoir calorifique	
	Carbone	Hydrogène	Oxygène et soufre	Azote	Observé directement	Abs-traction faite des cendres et de l'eau
					calories	calories
30,10	84,265	5,273	9,263	1,20	7,865,8	8,358,1
37,40	85,664	5,604	7,682	1,05	7,870,4	8,408,5
29,55	87,261	5,436	6,263	1,04	8,395	8,744,7
19,75	89,231	5,026	4,856	0,887	8,391,7	8,856,7
13,65	91,256	4,269	3,255	1,22	8,392,5	8,650,5
4,56	93,456	3,065	2,825	0,654	7,828,1	8,532
2,75	95,373	2,201	1,596	0,83	7,484,4	8,256,4
52,77	71,113	5,942	23,045		4,885	7,039
50,34	69,235	5,058	25,707		6,284	6,646
49,95	66,361	5,007	28,632		5,536	6,076
68,39	57,214	5,962	36,824		5,489	5,903
//	51,081	6,019	42,900		4,477	4,828
//	50,437	5,878	43,685		4,329	4,689
//	44,440	6,170	39,390	//	4,200	4,200

TABLEAU

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE

Désignation des combustibles	Analyse élémentaire				
	Carbone	Hydrogène	Oxygène et azote	Eau hygroscopique	Cendres
Coke métallurgique de la Grand-Combe	89,273	0,212	2,215	0,500	7,800
Coke de houille de Commentry (préparé)	92,727	0,444	2,629	„	4,200
Coke de houille demi-grasse d'Anzin (idem)	94,582	0,633	1,585	„	3,200
Coke d'anthracite de Pensylvanie	91,036	0,685	2,146	0,233	5,900
Coke du pétrole d'Amérique	97,885	0,489	1,222	„	0,200
Houille oxydée à chaud de Commentry	70,036	3,311	23,053	„	3,600
Houille oxydée à froid de Blanzv.	72,436	4,314	15,020	3,600	4,600
Huile lourde de pétrole d'Amérique	86,894	13,107	„	„	„
Pétrole raffiné d'Amérique	85,491	14,216	0,203	„	„
Essence de pétrole d'Amérique	80,583	15,101	4,316	„	„
Pétrole brut d'Amérique	83,012	13,889	3,099	„	„
Huile lourde de Bakou (Russie)	86,700	12,944	„	„	0,35
Pétrole de Novorossisk (Caucase)	84,906	11,636	3,458	„	„
Naphte-Schiste de la Nouvelle-Galles	74,574	10,576	3,913	„	10,937
Ozokérite de Boryslaw	83,510	14,440	0,100	„	1,910

XXVIII (suite et fin)

DE DIVERS COMBUSTIBLES (MAHLER)

Analyse élémentaire abstraction faite des cendres et de l'eau			Pouvoir calorifique	
Carbone	Hydrogène	Oxygène et azote	Ob-terré directement	Abstraction faite des cendres et de l'eau
97,353	0,231	2,416	7,010	7,920
96,792	0,463	2,745	7,665	8,001
97,709	0,654	1,637	7,787	8,004
96,984	0,730	2,286	7,528	8,036
98,051	0,490	1,459	8,057	8,073
72,652	3,437	23,911	6,175	6,384
78,906	4,732	16,362	7,119	7,754
"	"	"	10,913	"
"	"	"	11,047	"
"	"	"	11,086	"
"	"	"	11,094	"
87,005	12,989	"	10,805	10,843
"	"	"	10,328	"
83,732	11,875	4,393	9,246	10,381
85,170	14,720	0,11	10,946	11,163

TABLEAU XXIX
COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE DE DIVERS COMBUSTIBLES GAZEUX (SIDERSKY)

Gaz divers	H ₂	Formène	Oxyde de carbone	Ethylène	Azote	Acide carbonique	Oxygène	Classeur de combustion par mètre cube	Observateurs
	H ₂	CH ₄	CO	C ₂ H ₄	Az	CO ₂	O		
Gaz de Cannel Niddvie . . .	30,41	38,00	11,09	14,03	"	8,85	1,09	6,365	Maillet
" Comentry.	49,44	33,36	9,15	3,88	"	1,87	0,99	5,864	"
" l'usine de la Villette. . .	50,88	33,09	8,86	3,28	"	1,80	1,00	5,602	"
" Lille (moyenne)	52,46	32,80	5,60	4,80	3,80	"	"	5,164	Witz
" Manchester.	45,38	34,90	6,64	4,08	2,46	3,67	"	6,009	Bunsen
" la verrerie de Follembray.	12,00	2,00	21,00	"	60,00	5,00	"	1,112	Mahler
Gaz au coke (four Siemens). .	traces	"	25,70	"	69,80	4,50	"	773	Schilling
" de gazogène Siemens . .	8,00	2,20	23,70	"	62,00	4,10	"	1,129	Taylor
" " à l'anthracite	12,00	1,20	27,00	"	57,30	2,50	"	1,250	"
" " à la houille grasse	12,00	2,50	27,00	"	56,50	2,00	"	1,370	"
Gaz à l'eau (au coke)	50,00	"	40,00	"	5,30	4,00	"	2,350	Von Langen
" " (à l'anthracite)	52,76	"	35,38	"	4,43	2,05	"	2,945	"
" " (à la houille américaine).	45,00	"	45,00	"	2,00	4,00	"	2,816	Taylor

TABLEAU XXX

PUISSANCE CALORIFIQUE DE QUELQUES MATIÈRES
ET DE RÉSIDUS INDUSTRIELS (D. SIDERSKY)

Substances	Puissance calorifique	Auteurs
Alcool éthylique	7,068	Berthelot et Matignon
" méthylique	5,321	Stohman et Kleber
" amylique (Fusel)	9,021	Luginin
Benzine	9,949	Berthelot
Naphtaline	9,664	"
Cire de Japon	9,000	Stohmann
Stéarine	9,429	"
Fibres de laine	5,510	"
Graisse de bœuf	9,357	"
" cheval	9,384	"
" mouton	9,406	"
" porc	9,380	"
Beurre	9,192	"
Huile de colza	9,489	"
" d'olive	9,328	"
Glycérine	4,317	"
Bagasse (cannes à sucre épuisées)	3,974	D'après les données de M. Kügger
Feuilles de cannes à sucre.	3,542	
Mélasse de betteraves	3,000	Matignon
" de cannes	2,675	"

TABLEAU XXXI

COEFFICIENT DE DILATATION CUBIQUE DU VERRE,
DE 0° A 100°

Verre	Coefficient
	0,0000
Blanc de soude	2584
" potasse	2285
" potasse et soude	2547
Vert, tubes.	2299
Dur, à la potasse	2091
Peu fusible, français	2142
Verre ordinaire	2761
Sable 3, plomb 2, alcali 2	2187
Cristal ordinaire en tubes	2101
" Saint-Gobain	2673
Flint anglais	2435
" français	2616

TABLEAU XXXII

COEFFICIENT DE DILATATION CUBIQUE DU VERRE
A DIVERSES TEMPÉRATURES (REGNAULT)

Intervalle de température	Cristal de Choisy-le-Roi	Verre ordinaire
0° à 50°	227	2687
100	228	2761
150	230	2835
200	231	2908
250	232	2982
300	233	3056

Dilatation du mercure

de 0° à 100°C = 0,00018018;
de 100° à 200°C = 0,00018094;
de 200° à 300°C = 0,00018129.

TABLEAU XXXIII

DILATATION DES GAZ SOUS UNE PRESSION CONSTANTE
ET VOISINE DE LA PRESSION NORMALE
(REGNAULT)

Noms des gaz	Dilatation moyenne pour 1° entre 0 et 100°
Acide carbonique	0,003710
Acide sulfureux	0,003903
Air atmosphérique	0,003670
Azote	0,003670
Cyanogène	0,003877
Hydrogène	0,003661
Oxyde de carbone	0,003669
Protoxyde d'azote	0,003719

TABLEAU XXXIV

DILATATION DE QUELQUES LIQUIDES
(J. PIERRE ET H. KOPP)

Formule : $V = 1 + at + bt^2 + ct^3$

Désignation	a 0,00	b 0,00000	c 0,0000000
Acétone	+ 13,181	+ 26090	+ 105683
Acide azotique D: 1,40.	11	//	//
// chlorh. D: 1,24.	06	//	//
// sulfur. D: 1,85.	06	//	//
// formique.	09927	062514	05965
// acétique	1057	01832	09644
// propionique	11003	02182	0698
// butyrique	10461	+ 05624	0542
// valérique	10476	- 0240	08247
// acétique anhyd.	1053	+ 18389	007917

TABLEAU XXXIV (suite)

Désignation	a 0,00	b 0,00000	c 0,0000000
Alcool méthylique	1134	13635	08741
" éthylrique	10414	+ 07836	1762
" amylique	09724	- 08565	2022
" benzylique	07873	+ 0513	02725
Aldéhyde	15464	69745	"
Aniline	08173	09191	00628
Benzine	11763	+ 12776	08065
Brome	10382	- 11714	0545
Bromure (tri) de phos. " (bi) d'éthy	08472	+ 04367	02523
" (bi) d'éthy	09527	13165	+ 01067
Chloroforme	1107	+ 46647	- 17443
Chlorure (per) de carb. " (bi) de carb.	11838	- 08988	+ 13413
" (per) d'étain.	10026	- 03728	15934
" (bi) d'éthylène.	11328	+ 09117	07579
" (bi) d'éthylidène.	11189	+ 104686	10341
" (tri) de phosphore.	12907	- 01183	2134
Essence de térébent. " "	11286	+ 08729	0,000017923
Éther	07	"	"
Éther amylochlorhyd. " éthyl-acétique	14803	+ 35032	+ 27
" éthyl-benzoïque.	11715	- 05008	+ 13537
" éthyl-bromhydr.	12738	+ 21914	11797
" éthyl-carbonique	093094	- 006343	050
" éthyl-iodhydr.	13376	+ 15014	169
" éthyl-oxalique	11711	0526	0985
" méthyl-iodhydr.	114225	19638	0621
Huile d'olive	10688	08417	0433
Naphtaline	119959	216332	1005
Nitrobenzine	00798	- 07726	08274
Pétroles	0747	18095	"
Phénol	08263	05225	+ 01378
Sulfure de carbone	07 à 1	"	"
	06744	1721	05041
	11398	137065	+ 19122

TABLEAU XXXV

CONTRACTION ET DILATATION
DES LIQUEURS TITRÉES USUELLES (D. SIDERSKY)

Désignation des liqueurs	10°C	15°C	20°C	25°C
Acide sulfurique normal	0,99887	1	1,00144	1,00304
// chlorhydrique normal	0,99970	1	1,00111	1,00242
Acide nitrique normal	0,99875	1	1,00144	1,00307
// oxalique normal	0,99905	1	1,00118	1,00262
Solution normale de carbonate de soude	0,99875	1	1,00143	1,00338
Soude caustique normale	0,99868	1	1,00148	1,00314
Solution de chlorure de sodium (108 ^r Ag 0/00)	0,99932	1	1,00093	1,00213
Solution de chlorure de sodium (18 ^r Ag 0/00)	0,99939	1	1,00090	1,00184
Solution décimale de chlorure de sodium	0,99933	1	1,00093	1,00213
Solution centimale de chlorure de sodium	0,99940	1	1,00089	1,00205
Caméléon décimale	0,99935	1	1,00094	1,00213
// centimale	0,99939	1	1,00093	1,00206
Solution décimale de nitrate d'argent	0,99932	1	1,00197	1,00216
Solution centimale de nitrate d'argent	0,99939	1	1,00189	1,00205

CHAPITRE VI

—

•

PHOTOMÉTRIE

Définition. — La photométrie a pour objet d'établir les rapports des intensités de diverses sources de lumière.

Elle est basée sur le principe que l'intensité de la lumière en un point considéré est en raison inverse du carré de la distance de la source, duquel découle immédiatement le corollaire suivant : si deux sources de lumière placées à des distances D et D' y produisent le même éclairement, leurs intensités respectives i et i' sont proportionnelles aux carrés des distances :

$$\frac{i}{i'} = \frac{D^2}{D'^2}.$$

Il suffit donc que l'œil sache reconnaître qu'une surface reçoit de deux sources une même quantité de lumière pour que le rapport de leurs intensités soit déterminé par une simple mesure de longueur.

Unité de lumière. — L'étalon le plus ancien est la *bougie*. En France, la bougie stéarique de l'Étoile, en Allemagne la bougie de paraffine et en Angleterre celle de blanc de baleine, appelée *candle*. L'unité française correspond à une consommation d'environ 8 à 9 grammes par heure ; la flamme doit avoir au maximum 60 millimètres de hauteur ; il est entendu qu'elle brûle à l'air libre.

MM. Dumas et Régault avaient choisi pour unité de lumière celle d'une lampe à huile, de Carcel, de 23^{mm},5 de diamètre, surmontée d'une cheminée de 290 millimètres de hauteur sur 47 millimètres de diamètre, le coude étant à 7 millimètres au-dessus de la mèche. Pour une hauteur de mèche de 10 millimètres cette lampe brûlait à l'heure 42 grammes d'huile de colza épurée. C'est l'*étalon Carcel* qui équivaut à 6,5 bougies françaises, 7,6 bougies de paraffine et 7,4 candles.

M. Violle a proposé de prendre pour unité la quantité de lumière émise normalement par un centimètre carré de platine en fusion.

Le Congrès des électriciens de 1889 a adopté la *bougie décimale* égale au $\frac{1}{20}$ de l'unité Violle et approximativement au $\frac{1}{10}$ d'un *carcel*.

Le tableau suivant, à double entrée, résume toutes les comparaisons des divers étalons photométriques effectuées par M. Violle :

COMPARAISON DES DIVERS ÉTALONS PHOTOMÉTRIQUES

Désignation	Unités Vielle	Bougies décimales	Bougies de l'Étoile	Bougies allemandes	Bougies anglaises	Lampe Hefner	Carcel	
Unités Vielle .	1,00	20,00	16,1	16,4	18,5	18,9	2.08	
Bougies {	décimales .	0,05	1,00	0,805	0,82	0,825	0,945	0,104
	de l'Étoile	0,062	1,24	1,00	1,02	1,15	1,17	0,130
	allemandes	0,061	1,22	0,984	1,00	1,13	1,15	0,125
	anglaises .	0,054	1,08	0,870	0,886	1,00	1,02	0,112
Lampe Hefner	0,053	1,06	0,853	0,869	0,98	1,00	0,114	
Carcel . . .	0,481	9,62	7,75	7,71	8,91	9,08	1,00	

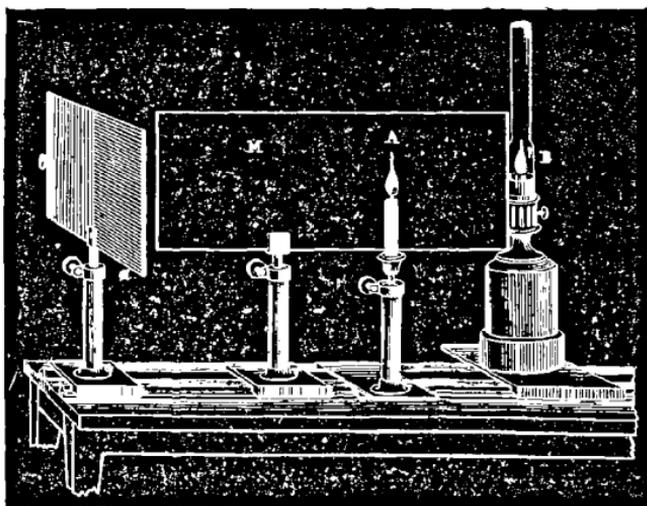
Photomètres. — Il en existe un nombre considérable, dont la seule énumération dépasserait le cadre d'un Aide-Mémoire. On trouvera tous les détails dans l'excellent *Traité de photométrie industrielle* de M. Palaz, auquel nous renvoyons le lecteur. Nous nous bornerons à la description de deux photomètres devenus classiques, celui de Foucault en usage en France, et celui de Bunsen, usité surtout en Allemagne.

Photomètre de Foucault. — Ce photomètre a été adopté par MM. Dumas et Regnault, pour la détermination quotidienne du pouvoir éclairant du gaz de la Compagnie Parisienne. Il est représenté par la *fig. 48*.

Une lame de carton M est placée parallèlement au banc d'optique ; *a b* est un écran diffusant, constitué par une feuille de papier, ou bien un

verre dépoli à grain fin ; mais on emploie de préférence une plaque de verre sur laquelle on a déposé une couche de lait concentré par évaporation. Les lumières sont placées sur deux

Fig. 48



supports glissant le long de deux règles graduées, parallèles au banc. On compare l'éclairement qu'elles produisent sur le verre des deux côtés du diaphragme. La lame de verre est souvent placée au fond d'une caisse rectangulaire noircie intérieurement pour éviter toute réflexion accidentelle. Si la source lumineuse comparée à la source unité a une intensité très grande, comme l'arc voltaïque par exemple, on est obligé de l'éloigner considérablement, mais

on peut éviter cet inconvénient en plaçant devant la source, comme l'ont fait MM. Ayrton et Perry, une lentille divergente qui, étalant la lumière, réduit son intensité par unité de surface dans un rapport connu.

Quand on se propose de comparer le pouvoir émissif de deux flammes, il est nécessaire de les limiter par deux ouvertures égales entre elles. C'est ce qu'on fait quand on veut comparer la lumière émise par la lune à celle d'une bougie, ou bien quand on cherche à mesurer l'éclat intrinsèque du milieu de la flamme d'une lampe à pétrole à mèche plate, en fonction de celui de la même flamme par la tranche.

Mode opératoire. — 1° On intercepte la plus forte des deux sources et l'on approche l'autre au point voulu, pour que la place qui lui correspond ait un bon degré d'éclairement : on note alors la distance D de cette source.

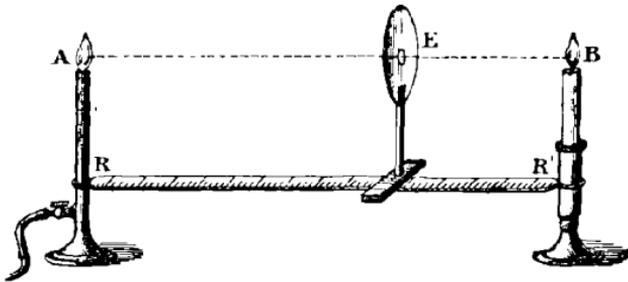
2° On démasque la source la plus intense et l'on éloigne, jusqu'à ce que l'œil juge les deux moitiés du verre illuminées du même éclat.

3° On change les deux sources de côté et l'on recommence la même opération pour calculer une moyenne définitive.

Photomètre de Bunsen. — De tous les photomètres industriels, celui de Bunsen est assurément le plus usité, surtout en Allemagne. Cela tient à la rapidité de sa manipulation, à

la précision de ses résultats. Ce photomètre est basé sur le principe suivant : une tache d'huile ou de graisse paraît brillante sur un fond sombre et sombre sur un fond éclairé, suivant qu'on le regarde par transparence ou par réflexion. Par conséquent, si le papier est éclairé également

Fig. 49.



sur ses deux faces, la tache ne doit paraître ni sombre, ni brillante, elle doit disparaître complètement.

Pour construire ce photomètre, on prépare d'abord l'écran de papier portant la tache (fig. 49).

A cet effet, on étend la feuille sur un disque de paraffine uni, et l'on y applique une tête de vis légèrement chauffée ; le corps gras fond et imprègne le papier. On pourrait encore tremper cette tête de vis dans la paraffine fondue et l'appliquer sur le papier : à l'aide d'un papier buvard, on réduirait à volonté la quantité de

graisse. Enfin, l'huile d'olive donne aussi de bons résultats.

Le papier écolier, médiocrement collé, assez épais, plutôt mat que glacé, donne, mieux que tout autre, le phénomène de la disparition de la tache ; il faut qu'il soit bien tendu dans son châssis. Il est bon de laisser vieillir un peu la tache, car une tache fraîche est toujours brillante : par contre, il ne faut pas que la tache ait jauni, ou qu'elle ait fixé des poussières sur le papier.

Le châssis se monte sur un charriot glissant le long d'une règle graduée ; comme ci-dessus, on mesure les distances D et D' et l'on fait deux déterminations, en observant tour à tour les deux faces de l'écran ; il faut observer, en effet, que les coefficients de réflexion ne sont pas identiques des deux côtés d'une feuille de papier, d'où il résulte que la disparition de la tache n'a jamais lieu des deux côtés à la fois.

Éclat. — La quantité de lumière émise par deux sources lumineuses peut être la même, bien qu'elles soient de natures différentes ; la lumière de la lampe Wells, et celle de l'arc voltaïque, par exemple, sont équivalentes, quoique provenant de foyers dissemblables ; c'est que leur éclat n'est pas le même.

On appelle *éclat*, l'intensité lumineuse rapportée à l'unité de surface éclairante ou d'émission. L'éclat dépend surtout de la température

du corps lumineux ; il est d'autant plus grand que la température est plus élevée.

L'éclat d'une source lumineuse a une importance capitale ; en effet, la sensation lumineuse étant due à la destruction du pourpre rétinien, si cette destruction est trop rapide il y a éblouissement, et, par suite, confusion dans la netteté de la vision.

Il en résulte que dans tout éclairage les foyers d'un trop vif éclat ne devront pas être placés dans le champ visuel. Dans ce cas, il est même préférable d'atténuer, en quelque sorte, l'intensité de ces lumières, au moyen de globes diaphanes. Ils en absorbent une certaine quantité, qui peut atteindre 30 à 40 %, mais la netteté de la vision est augmentée d'autant. On s'explique également de cette façon pourquoi, en substituant aux flammes à grande surface, comme celles de l'huile, du gaz, des bougies, des foyers de même nuance, mais d'un éclat supérieur comme les lampes à incandescence, on est obligé, pour arriver au même résultat, d'augmenter de 30 % la puissance lumineuse totale de ces foyers. Cette augmentation est faite pour permettre la distinction des objets comme avec les appareils précédents.

Influence des couleurs sur les mesures photométriques. — Tant que les lumières émises par les deux sources sont de même na-

ture, la comparaison s'effectue aisément ; mais si l'on essaie de comparer une lampe à huile à une lampe à gaz Auer, il est bien difficile, parfois même impossible, de préciser la position pour laquelle l'égalité d'éclairement est réalisée, surtout si la dernière est bien poussée, c'est-à-dire alimentée par un courant suffisant pour lui donner son maximum d'éclat.

D'une manière générale, si les deux sources n'ont pas exactement la même couleur (simple ou composée) l'expression d'*éclairéments égaux* perd le sens précis et très net que nous lui avons attribué. Pour combler cette lacune, on a imaginé les *spectrophotomètres* (v. le traité de M. Pallaz cité plus haut) ; mais nous nous contenterons en pareil cas de comparer les intensités des deux sources, en plaçant devant l'œil un verre jaune par exemple, comme ceux qu'on emploie en photographie. Bien que ce verre ne soit pas monochromatique, au sens propre du mot, les deux sources ne présentent plus alors de différences sensibles de teintes, et l'on trouve aussi facilement que plus haut le rapport des intensités de la lumière jaune émise par les deux sources.

Il pourrait être intéressant dans certains cas de répéter l'expérience avec un verre rouge, puis avec un verre bleu ; le résultat numérique ne serait pas le même.

Tableaux des mesures photométriques.

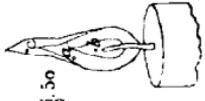
— Nous donnons quelques résultats de mesures photométriques de divers foyers lumineux, résumés dans deux tableaux XXXVI et XXXVII que M. Charles Féry, de l'École Municipale de Physique et de Chimie de la Ville de Paris, a eu l'obligeance de mettre à notre disposition. Nous y avons ajouté quelques renseignements relatifs au Bec Auer à incandescence par le gaz.

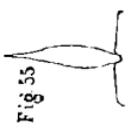
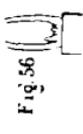
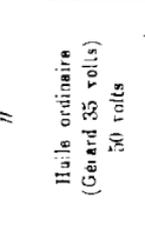
TABLEAU XXXVI
COMPARAISON DE DIVERSES SOURCES LUMINEUSES

Designation du foyer lumineux	Intensité en Carcels	Régime Par heure	Prix de la Carcel-heure	Observations
<i>Bougies</i>				
Bougie de paraffine.	0,14	8 grammes	centimes 18,5	Flamme jaunâtre
" à trous	0,14	10	17,1	
" de l'étoile	0,14	9	12	
" pleine ordinaire	0,15	9	12	
<i>Huile</i>				
Lampe modérateur ordinaire	0,94	46	6,8	Huile ordinaire
Lampe Carcel étalon	1,00	42	6,6	

<i>Pétrole</i>					
Lampe à pétrole à mèche plate	0,81	20	2,2	Mèche de 13 ^{mm}	
" " à deux mèches plates	2,07	63	2,7	" " 25 ^{mm}	
" " américaine sans verre	1,82	52	2,5		
" " à bec rond de 23 ^{mm}	1,06	28	2,4		
" " à bec à champignon de 25 millimètres	1,49	51	3		
<i>Gas</i>		litres	prix de Paris		
Bec papillon ordinaire	0,64	132	6,1	Hauteur de la flamme 6,5 millimètres	
" Bengel	1,10	134	3,6	Radiations vertes	
" à toile de zircon	1,39	62	1,3	Flamme blanche	
" Auer (à base de thorium)	2,08	50	0,7		
" à l'albo-carbon (à naphthalin-)	3,35	135	1,3		
<i>Électricité</i>		watts			
Lampe Edison	0,65	29,44	6,8		
Lampe Gérard	0,72	36,74	7,5		

TABLEAU XXXVII. — ÉCLATS DE DIVERSES SOURCES LUMINEUSES

Nature de la source	Forme de la flamme	Designations diverses		Éclat en Carrels	Observations
		inclinaison de la mèche	Point		
Bougies	 <p>Fig. 50</p>	//	a	1,39	
		//	b	0,10	
		//	c	0,34	
Bougies de paraffine	 <p>Fig. 51</p>	//	a	0,76	
		//	b	0,07	
		//	c	0,34	
Lampe à pétrole (mèche roudie)	 <p>Fig. 52</p>	//	a	1,05	
		//	b	3,18	
		//	c	2,60	
Lampe télégraphique (petit moule) (mèche plate)	 <p>Fig. 53</p>	0° (face)	//	0,53	L'éclat est 5 fois et demie plus grand lorsque la lampe brûle dans l'oxygène.
		45°	//	0,74	
		90° (profil)	//	3,48	
		0° (avec air)	//	0,61	
		0° (avec O)	//	3,50	
Lampe télégraphique (grand moule) (mèche plate)	 <p>Fig. 54</p>	0° (face)	//	0,65	L'éclat est 7 fois et demie plus grand du profil que de face.
		15°	//	0,65	
		30°	//	0,70	
		45°	//	0,92	
		60°	//	1,40	
		75°	//	2,12	
90° (profil)	//	4,73			

		a b c d e f g	0,44 0,63 0,67 0,88 0,67 0,63 0,56	L'éclat est environ un tiers de fois plus grand au centre que sur les bords.
		// //	0,96 1,52	
Gaz . .		face avec air avec O	0,35 0,72 //	L'éclat est environ 2 fois plus grand avec () que sans O.
		profil avec air avec O	7,2 //	
		avec air avec O	0,90 2,56	L'éclat avec O est 3 fois plus grand.
			1,00 1 00 125,00 20,000 environ 11,3 91,0	
Divers .		extrémité du dard gazeux s'échappe à 5 millimètres de l'extrémité du dard	0,53	
	Lampe Carcel Lampe modérateur ordinaire Lampe à incandescence Lampe à arc Lampe au magnésium			
	Lumière Drumond			

BIBLIOGRAPHIE

- BERTHELOT. — *Traité de Calorimétrie pratique.*
BUIGNET. — *Manipulations de Physique*, 1897.
BUNTE. — *Essais de chauffage à Munich*, 1882.
DUCLAUX. — *Microbiologie*, 1883.
EVERETT. — Traduit par Reynaud. *Unités et constantes* (1883).
FRÉMY. — *Encyclopédie chimique*. t. II.
FUCHS. — *Molekulargewichtsbestimmungen*, 1895.
GANOT. — *Physique.*
HORSTMANN, LANDOLT et WINKELMANN. — *Chemie*, 1893.
JEAN F. — *Chimie analytique des matières grasses*, 1892.
KOHLEAUSCH. — *Leitfaden der praktischen Physik.*, 1892.
LANDOLT et BERNSTEIN. — *Physikalisch-Chemische Tabellen*, 1894.
MAHLER. — *Contribution à l'étude des combustibles.*
MASCART. — *Traité d'Optique*. 1889-93.
MEYRHOFER. — *Instrumente und Apparate*, 1894.
OSTWALD. — *Abrégé de chimie*, 1893.
PALAZ. — *Photométrie*, 1892.
PRIBRAM. — *Beziehungen zwischen innere Reibung und chemische Zusammensetzung*, 1893.
SCHEURER-KESTNER. — *Pouvoir calorifique des combustibles*, 1896.
TRAUBE. — *Physikalisch-Chemische Methoden*, 1893.
VIOLE — *Physique*, 1892.
WITZ. — *Manipulations de physique*, 1895.
ZUNK. — *Traité d'analyse des beurres*, 1892.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE	5

CHAPITRE PREMIER

<i>Densité</i>	7
Introduction	7
Définition	7
Densité de l'eau	7
Densité de l'air	10
A. Détermination de la densité d'un liquide . .	11
Pycnomètres. Jaugeage du volume. Table de	
Less	11
Pycnomètres de Sprengel et de Boot . . .	14
Balance hydrostatique	17
Flotteur normal de Reimann	19
Aréomètres. Tableau des échelles de divers	
aréomètres.	20
Observations relatives aux aréomètres . .	25
Détermination de la densité d'un liquide	
visqueux. Procédé Sidersky	26
B. Détermination de la densité d'un corps solide.	29
Évaluation directe du volume.	29

	Pages
Méthode du flacon	29
Emploi du principe d'Archimède	31
Voluménoètre de Regnault	33
C. Densités des gaz et des vapeurs	37
Relation de la densité avec la température et la pression	38
Corps gazeux à la température ordinaire.	39
Procédé Dumas	40
Procédé Gay-Lussac, modifié par M. Hof- mann	43
Procédé Victor Meyer	46
Tableaux I à XII.	48

CHAPITRE II

<i>Changement d'état physique</i>	62
Point d'ébullition	63
Table de corrections pour diverses pressions.	64
Point de fusion	66
Mesure des poids moléculaires par l'abaisse- ment du point d'ébullition de dissolutions.	69
Appareil de Beckmann pour l'essai de con- gélation	70
Appareils de Beckmann pour l'essai d'ébul- lition	73
Points critiques	77
Tableaux XIII.	78

CHAPITRE III

	Pages
<i>Viscosité et Capillarité</i>	81
A. Viscosité.	81
Unité de viscosité	81
Formule de Poiseuille	82
Détermination de la viscosité	83
Appareil Ostwald	83
Appareil Engler	85
Appareil Reischauer-Aubry	87
Appareil de Grobert et Demichel	89
Viscosimètre Sidersky	93
Influence de la température sur le frotte- ment interne des solutions salines	99
Coefficient de frottement interne et cons- titution chimique des corps	100
B. Capillarité	101
Application aux études chimiques	101
Détermination du poids moléculaire des corps à l'état liquide	101
Compte-gouttes Duclaux.	104
Poids des gouttes	107
<i>Tableaux XIV à XVIII</i>	108

CHAPITRE IV

<i>Réfraction</i>	114
Indice de réfraction	115
Dispersion.	116
Angle limite et réflexion totale	116

	Pages
Applications	116
Mesure des indices de réfraction, Goniomètre de Babinet	121
Réfractomètre Pulfrich	117
Butyroréfractomètre de Wollny-Zeiss.	125
Réfractomètre Bertrand	130
Réfractomètre-compensateur de Charles Féry	131
Mesure de l'indice pour d'autres raies	137
Oléoréfractomètre Amagat et Jean	137
Réfraction spécifique, atomique et moléculaire	140
Application des indices de réfraction dans les essais chimiques	141
Tableaux XIX à XXVI	142

CHAPITRE V

<i>Calorimétrie et Dilatation</i>	160
A. Calorimétrie industrielle	160
Divers procédés employés.	161
Appareil Mahler	162
Détermination d'un pouvoir calorifique avec l'obus.	166
Essai de gaz	170
Détermination de l'équivalent en eau du système	171
Correction due à l'évaporation de l'eau	172
Pouvoir calorifique et formule de Dulong	174
Chauffage des chaudières à vapeur	174
B. Dilatation	176
Tableaux XXVII à XXXV	177

CHAPITRE VI

	Pages
<i>Photométrie</i>	188
Définition	188
Unités de lumière	189
Photomètres	190
Photomètre de Foucault	190
Photomètre de Bunsen	192
Éclat.	194
Influence des couleurs sur les mesures photométriques	195
Tableaux des mesures photométriques.	197
Tableaux XXXVI et XXXVII.	198
BIBLIOGRAPHIE.	202



SAINT-AMAND (CHER). -- IMPRIMERIE BUSSIÈRE FRÈRES

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS.

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

THERMOCHIMIE.

DONNÉES ET LOIS NUMÉRIQUES.

PAR

M. BERTHELOT,

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences,

Professeur au Collège de France.

TOME I : Les lois numériques, xvii-737 pages. — TOME II : les données expérimentales, 878 pages.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8; 1897, SE VENDANT

ENSEMBLE..... 50 FR.

Extrait de la Note de M. BERTHELOT accompagnant la présentation de son Ouvrage à l'Académie des Sciences (séance du 8 juin 1897).

Depuis la publication de mon *Essai de Mécanique chimique* (1879), et sous l'impulsion des idées qui s'y trouvaient développées, les recherches expérimentales de Thermo-chimie ont pris une extension tous les jours plus considérable, dans mon laboratoire et dans ceux des autres savants, français et étrangers. En effet, j'ai poursuivi mes travaux sans relâche, et de nombreux élèves les ont continués et développés sous ma direction...

Toutefois, par une conséquence presque inévitable, ce développement rapide de la Thermo-chimie a fini par amener une certaine confusion... Non seulement les résultats sont épars dans les recueils spéciaux, mais une difficulté, plus grande peut-être, est née de cette circonstance que les chiffres relatifs à la formation des combinaisons n'ont été que rarement mesurés directement.

Il était donc indispensable de revoir toutes ces valeurs. Dès lors, il fallait refaire tous les calculs, en suivant un plan uniforme, afin d'obtenir des données comparables entre elles.

J'ai cru utile, non seulement de donner les valeurs rectifiées, mais aussi d'exposer à propos de chaque nombre quelle était l'expérience spéciale dont il est déduit et quelles étaient les autres données expérimentales, à l'aide desquelles le nombre déduit de cette expérience a été calculé.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LES MÉTHODES NOUVELLES
DE LA
MÉCANIQUE CÉLESTE,

Par H. POINCARÉ,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences,

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8; SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Solutions périodiques. Non-existence des intégrales uniformes. Solutions asymptotiques 1892..... 12 fr.

TOME II : Méthodes de MM. Newcomb, Gylden, Lindstedt et Bohlin; 1894. 14 fr.

TOME III : Invariants intégraux. Stabilité. Solutions périodiques du deuxième genre. Solutions doublement asymptotiques. Prix pour les souscripteurs..... 12 fr.

UN FASCICULE (200 PAGES) A PARU.

ŒUVRES DE LAGUERRE

PUBLIÉES SOUS LES AUSPICES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

Par MM. Ch. HERMITE, H. POINCARÉ et E. ROUCHÉ,

Membres de l'Institut.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : Algèbre. Calcul intégral; 1898..... 15 fr.

TOME II : Géométrie..... (Sous presse.)

ŒUVRES MATHÉMATIQUES

D'ÉVARISTE GALOIS

PUBLIÉES SOUS LES AUSPICES DE LA SOCIÉTÉ MATHÉMATIQUE
DE FRANCE,

AVEC UNE INTRODUCTION, par M. Émile FIGARD,

Membre de l'Institut.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC PORTRAIT, FRONTISPICE; 1897. 3 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

INTRODUCTION

A LA

GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE

SUIVANT LA MÉTHODE DE H. GRASSMANN,

Par C. BURALI-FORTI,

Professeur à l'Académie militaire de Turin.

UN VOLUME IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 4 FR. 50 C.

COURS DE PHYSIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES SPÉCIALES

(conforme aux derniers programmes),

PAR

James CHAPPUIS,
Agrégé Docteur ès Sciences,
Professeur de Physique générale
à l'École Centrale
des Arts et Manufactures.

Alphonse BERGET,
Docteur ès Sciences,
Attaché au Laboratoire des recherches
physiques à la Sorbonne.

UN BEAU VOLUME, GRAND IN-8 (25^{cm} × 16^{cm}) DE IV-697 PAGES,
AVEC 465 FIGURES.

Broché..... 14 fr. | Relié cuir souple..... 17 fr.

LEÇONS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE

COURS PROFESSÉ A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES
ET COMPLÉTÉ SUIVANT LE PROGRAMME DE LA LICENCE ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

J. CHAPPUIS,
Agrégé Docteur ès Sciences,
Professeur de Physique générale
à l'École Centrale
des Arts et Manufactures,

A. BERGET,
Docteur ès Sciences,
Attaché au Laboratoire des recherches
physiques à la Sorbonne.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Instruments de mesure. Chaleur. Avec 175 figures; 1891..... 13 fr.
TOME II : Électricité et Magnétisme. Avec 305 figures; 1891..... 13 fr.
TOME III : Acoustique. Optique; Electro-optique. Avec 193 figures; 1892... 10 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

TRAITÉ D'ANALYSE

PAR

ÉMILE PICARD,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.

QUATRE VOLUMES IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : *Intégrales simples et multiples. — L'équation de Laplace et ses applications. Développement en séries. — Applications géométriques du Calcul infinitésimal.* 1891..... 15 fr.

TOME II : *Fonctions harmoniques et fonctions analytiques. — Introduction à la théorie des équations différentielles. Intégrales abéliennes et surfaces de Riemann.* 1893..... 15 fr.

TOME III : *Des singularités des intégrales des équations différentielles. Étude du cas où la variable reste réelle et des courbes définies par des équations différentielles. Equations linéaires; analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires.* 1896..... 18 fr.

TOME IV : *Équations aux dérivées partielles.*..... (En préparation.)

Le premier Volume commence par les parties les plus élémentaires du Calcul intégral et ne suppose chez le lecteur aucune autre connaissance que les éléments du Calcul différentiel, aujourd'hui classiques dans les Cours de Mathématiques spéciales. Dans la première Partie, l'Auteur expose les éléments du Calcul intégral, en insistant sur les notions d'intégrale curviligne et d'intégrale de surface, qui jouent un rôle si important en Physique mathématique. La seconde Partie traite d'abord de quelques applications de ces notions générales; au lieu de prendre des exemples sans intérêt, l'Auteur a préféré développer la théorie de l'équation de Laplace et les propriétés fondamentales du potentiel. On y trouvera ensuite l'étude de quelques développements en séries, particulièrement des séries trigonométriques. La troisième Partie est consacrée aux applications géométriques du Calcul infinitésimal.

Les Volumes suivants sont consacrés surtout à la théorie des équations différentielles à une ou plusieurs variables; mais elle est entièrement liée à plus d'une autre théorie qu'il est nécessaire d'approfondir. Pour ne citer qu'un exemple, l'étude préliminaire des fonctions algébriques est indispensable quand on veut s'occuper de certaines classes d'équations différentielles. L'Auteur ne se borne donc pas à l'étude des équations différentielles; ses recherches rayonnent autour de ces centres.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFOUDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (*) 1^{re} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (*) 1^{re} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches... 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures..... 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{re} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches..... 4 fr.
3^e fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{re} fascicule. — *Gravitation universelle. Electricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.
2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

(*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1^{re} fascicule; Tome II, 1^{re} et 2^e fascicules; Tome III, 2^e fascicule

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

- TOME IV (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.
3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.
4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

1^{er} SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

LES BALLONS-SONDES

DE MM. HERMITE ET BESANÇON,

ET LES ASCENSIONS INTERNATIONALES,

PAR

WILFRID DE FONVIELLE,

Secrétaire de la Commission internationale d'Aéronautique,

PRÉCÉDÉ D'UNE INTRODUCTION

Par **M. BOUQUET DE LA GRYE,**

Membre de l'Institut,

Président de la Commission scientifique d'Aérostation de Paris.

Un volume in-18 jésus avec 27 figures; 1898..... 2 fr. 75 c.

LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIEGE,

Par **M. Eric GÉRARD.**

Directeur de l'Institut Électrotechnique Montefiore.

5^e ÉDITION, REFONDUE ET COMPLÉTÉE.

TOME I : Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques, avec 381 figures; 1897..... 12 fr.

TOME II : Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Application de l'électricité à la télégraphie et à la téléphonie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage et à la métallurgie. Avec 378 figures; 1898..... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

THÉORIE

DES

FONCTIONS ALGÈBRIQUES

DE DEUX VARIABLES INDÉPENDANTES,

PAR

Émile PICARD,

Membre de l'Institut,
Professeur à l'Université de Paris.

Georges SIMART,

Capitaine de frégate,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I, grand in-8 de vi-246 pages; 1897..... 9 fr.
TOME II..... (*En préparation*).

LA

PRATIQUE DU TEINTURIER

PAR

JULES GARÇON,

Ingénieur-Chimiste, Licencié ès Sciences.

TROIS VOLUMES IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Les Méthodes et les essais de teinture. Le succès en teinture;
1894..... 3 fr. 50 c.
TOME II : Le Matériel de teinture. Avec 245 figures; 1894..... 10 fr.
TOME III : Les Recettes types et les procédés spéciaux de teinture; 1897.
9 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE
COURS ÉLÉMENTAIRE
DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE

Par M. Aimé WITZ,

Docteur ès Sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures,
Professeur aux Facultés catholiques de Lille,

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES ET AU CERTIFICAT DES ÉTUDES
PHYSIQUES, CHIMIQUES ET NATURELLES. (P. C. N.)

2^e ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 77 FIGURES; 1893. 5^{FR.}

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE
COURS SUPÉRIEUR
DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE

PRÉPARATOIRE AUX CERTIFICATS D'ÉTUDES SUPÉRIEURES ET A LA LICENCE.

Par M. Aimé WITZ,

Docteur ès Sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures,
Professeur aux Facultés catholiques de Lille.

2^e ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 138 FIGURES; 1897. 10 FR.

PRINCIPES
DE LA
THÉORIE DES FONCTIONS ELLIPTIQUES
ET APPLICATIONS,

PAR

P. APPELL,
Membre de l'Institut, Professeur
à l'Université de Paris.

E. LACOUR,
Maître de Conférences à l'Université
de Nancy.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Fondées par M.-C. LECHALAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE MACHINES A VAPEUR
DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

ALHEILIG,

Ingénieur de la Marine,
Ex-Professeur à l'École d'application
du Génie maritime.

Gamille ROCHE,

Industriel,
Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : Thermodynamique théorique et applications. La machine à vapeur et les métaux qui y sont employés. Puissance des machines, diagrammes indicateurs. Freins. Dynamomètres. Calcul et dispositions des organes d'une machine à vapeur. Régulation, épures de détente et de régulation. Théorie des mécanismes de distribution, détente et changement de marche. Condensation, alimentation. Pompes de service. — Volume de xi-604 pages, avec 412 figures; 1895..... 20 fr.

TOME II : Forces d'inertie. Moments moteurs. Volants régulateurs. Description et classification des machines. Machines marines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints et presse-étoupes. Montage des machines et essais des moteurs. Pas-sation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction. Servo-moteurs. Tables numériques. — Volume de iv-530 pages, avec 281 figures; 1895..... 18 fr.

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,

Ingénieur principal du Service central
de la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ingénieur, Inspecteur principal
de l'Atelier central des chemins de fer
du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

VERRE ET VERRERIE

PAR

Léon APPERT et Jules HENRIVAUX,
Ingénieurs.

Grand in-8, avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.).... 20 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par M. G. BRICKA,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : Études. — Construction. — Voie et appareils de voie. — Volume de viii-634 pages avec 326 figures; 1894..... **20 fr.**

TOME II : Matériel roulant et Traction. — Exploitation technique. — Tarifs. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Régime des concessions. — Chemins de fer de systèmes divers. — Volume de 709 pages, avec 177 figures; 1894..... **20 fr.**

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par M. J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.). 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par M. J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poitrails. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer. — Grand in-8 de 584 pages avec 479 figures; 1894..... **20 fr.**

TOME II : Pans métalliques. — Combles. — Passerelles et petits ponts. — Escaliers en fer. — Serrurerie. (Ferrements des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Serres et vérandas). — Grand in-8 de 626 pages avec 571 figures; 1894..... **20 fr.**

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par M. AI. GOUILLY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par Henri DE LAPPARENT,

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GRAND IN-8 DE XII-533 PAGES, AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES DANS LE TEXTE; 1895 (E. I.)..... 12 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par M. A. CRONEAU,

Ingénieur de la Marine,

Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.).

TOME I : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de navires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts. — Gr. in-8 de 379 pages avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4° doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

TOME II : Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouvertures pratiquées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Pièces rapportées sur la coque. — Ventilation. — Service d'eau. — Gouvernails. — Corrosion et salissure. — Poids et résistance des coques. — Grand in-8 de 616 pages avec 359 fig.; 1894. 15 fr.

**PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.**

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par Ernest HENRY,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.).. 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par E. BOURRY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

BLANCHIMENT ET APPRÊTS TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-Er. GUIGNET,
Directeur des teintures aux Manufac-
tures nationales
des Gobelins et de Beauvais.

F. DOMMER,
Professeur à l'École de Physique
et de Chimie industrielles
de la Ville de Paris.

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE 674 PAGES, AVEC 368 FIGURES ET ÉCHAN-
TILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.)..... 30 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **M. A. JOANNIS,**

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 (E. I.).

TOME I : Généralités. Carbures. Alcools. Phénols. Éthers. Aldéhydes. Cétones. Quinones. Sucres. — Volume de 688 pages, avec figures; 1896..... 20 fr.

TOME II : Hydrates de carbone. Acides monobasiques à fonction simple. Acides polybasiques à fonction simple. Acides à fonctions mixtes. Alcalis organiques. Amides. Nitriles. Carbylamines. Composés azoïques et diazoïques. Composés organo-métalliques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Conservation des matières alimentaires. Volume de 718 pages, avec figures; 1896..... 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par **M. Georges LECHALAS,**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.).

TOME I : Notions sur les trois pouvoirs. Personnel des Ponts et Chaussées. Principes d'ordre financier. Travaux intéressant plusieurs services. Expropriations. Dommages et occupations temporaires. — Volume de cXLVII-536 pages; 1889..... 20 fr.

TOME II (I^{re} PARTIE) : Participation des tiers aux dépenses des travaux publics. Adjudications. Fournitures. Régie. Entreprises. Concessions. — Volume de VIII-399 pages; 1893..... 10 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **M. Maurice D'OCAGNE,**

Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

UN VOLUME GRAND IN-8, DE XI-428 PAGES, AVEC 340 FIGURES; 1896
(E. T. P.)..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS.

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la science, de l'art et des applications pratiques.

A côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fournier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE PAR LES PROCÉDÉS PELLICULAIRES,

Par M. George BALAGNY, Membre de la Société française de Photographie,
Docteur en droit.

2 volumes grand in-8, avec figures; 1889-1890.

On vend séparément :

TOME I : Généralités. Plaques souples. Théorie et pratique des trois développements au fer, à l'acide pyrogallique et à l'hydroquinone..... 4 fr.

TOME II : Papiers pelliculaires. Applications générales des procédés pelliculaires. Phototypie. Contretypes. Transparents..... 4 fr.

LES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES AU CHARBON,

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

(COURS PROFESSÉ A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE.)

Par R. COLSON, Capitaine du Génie, Répétiteur
à l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8; 1898..... 2 fr. 75 c.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE.

Par M. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens.. 32 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Notions élémentaires. — Historique. — Épreuves négatives. — Principes communs à tous les procédés négatifs. — Épreuves sur albumine, sur collodion, sur gélatinobromure d'argent, sur pellicules, sur papier. Avec 2 planches spécimens et 120 figures; 1886..... 16 fr.

II^e PARTIE : Épreuves positives : aux sels d'argent, de platine, de fer, de chrome. — Épreuves par impressions photomécaniques. — Divers : Les couleurs en Photographie. Épreuves stéréoscopiques. Projections, agrandissements, micrographie. Réductions, épreuves microscopiques. Notions élémentaires de Chimie, vocabulaire. Avec 2 planches spécimens et 114 figures; 1888..... 16 fr.

Un Supplément, mettant cet important Ouvrage au courant des derniers travaux, est en préparation.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

**LA TRIPLICE PHOTOGRAPHIQUE DES COULEURS
ET L'IMPRIMERIE.**

Système de Photochromographie LOUIS DUCOS DU HAURON.

Par ALCEIDE DUCOS DU HAURON.

In-18 jésus de v-488 pages; 1897..... 6 fr. 50 c.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par M. C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.

Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

Les 5 volumes se vendent ensemble..... 60 fr.

2^e Supplément (B). Un beau volume grand in-8 de 400 pages avec nombreuses figures, paraissant régulièrement chaque mois en 5 fascicules de 80 pages chacun à partir du 15 juillet 1897.

Prix pour les souscripteurs..... 10 fr.

Dès que le volume sera complet, le prix sera porté à..... 14 fr.

LA PRATIQUE DES PROJECTIONS.

Étude méthodique des appareils. Les accessoires. Usages et applications diverses des projections. Conduite des séances;

Par M. H. FOURTIER.

2 vol. in-18 jésus.

TOME I. Les Appareils, avec 66 figures; 1892..... 2 fr. 75 c.

TOME II. Les Accessoires. La Séance de projections, avec 67 fig.; 1893. 2 fr. 75 c.

LES LUMIÈRES ARTIFICIELLES EN PHOTOGRAPHIE.

Étude méthodique et pratique des différentes sources artificielles de lumières, suivie de recherches inédites sur la puissance des photopoudres et des lampes au magnésium;

Par M. H. FOURTIER.

Grand in-8, avec 19 figures et 8 planches; 1895..... 4 fr. 50 c.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE INDUSTRIELLE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Ch. FÉRY et A. BURBAIS.

In-18 jésus, avec 94 figures et 9 planches; 1896..... 5 fr.

L'ART DE RETOUCHER LES NÉGATIFS PHOTOGRAPHIQUES,

Par C. KLARY, Artiste photographe.

4^e tirage. In-18 jésus; 1897..... 2 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LE FORMULAIRE CLASSEUR DU PHOTO-CLUB DE PARIS.

Collection de formules sur fiches renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois Parties : *Phototypes, Photocopies et Photocalques, Notes et renseignements divers*, divisées chacune en plusieurs Sections ;

Par M. M. H. FORTIER, BOURGEOIS et BUCQUET.

Première Série; 1892..... 4 fr.
Deuxième Série; 1894..... 3 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE INSTANTANÉE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par M. Albert LONDE.

Directeur du Service photographique à l'Hospice de la Salpêtrière,
3^e édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec figures; 1897. 2 fr. 75 c.

VIRAGÉS ET FIXAGES.

Traité historique, théorique et pratique;

Par M. P. MERCIER,

Chimiste, Lauréat de l'École supérieure de Pharmacie de Paris.

2 volumes in-18 jésus; 1892..... 5 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Notice historique. Virages aux sels d'or..... 2 fr. 75 c.
II^e PARTIE : Virages aux divers métaux. Fixages..... 2 fr. 75 c.

OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE

SANS DÉVELOPPEMENTS MATHÉMATIQUES,

Par le D^r A. MIETHE.

Traduit de l'allemand par A. NOAILLON et V. HASSREIDTER.

Grand in-8, avec 72 figures et 2 Tableaux; 1896..... 3 fr. 50 c.

NOTES SUR LA PHOTOGRAPHIE ARTISTIQUE.

TEXTE ET ILLUSTRATIONS

Par M. C. PUYO.

Plaquette de grand luxe, in-4^e raisin, avec 11 héliogravures de DUJARDIN et 39 phototypogravures dans le texte; 1896..... 10 fr.

Il reste quelques exemplaires numérotés, sur japon, avec planches également sur japon..... 20 fr.

Une planche spécimen est envoyée *franco* sur demande.

DE LA PROPRIÉTÉ ARTISTIQUE EN PHOTOGRAPHIE

SÉCIALEMENT EN MATIÈRE DE PORTRAITS,

Par Édouard SAUVEL, Avocat au Conseil d'État et à la Cour de Cassation.

Un volume in-18 jésus; 1897..... 2 fr. 75 c.

LA LINOTYPIC

ou Art de décorer photographiquement les étoffes pour faire des écrans, des éventails, des paravents, etc., menus photographiques;

Par M. L. TRANCHANT, rédacteur en chef de la *Photographie*.

In-18 jésus; 1896..... 1 fr. 25 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

**TRAITÉ PRATIQUE
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.**

Par M. E. TRUTAT.

2 volumes in-18 jésus, avec 112 figures..... 5 fr.

On vend séparément ;

I^{re} PARTIE : Obtention des petits clichés ; avec 52 figures ; 1891..... 2 fr. 75 c.

II^e PARTIE : Agrandissements. 2^e édition, avec 60 figures ; 1897..... 2 fr. 75 c.

LES ÉPREUVES POSITIVES SUR PAPIERS ÉMULSIONNÉS.

Papiers chlorurés. Papiers bromurés. Fabrication. Tirage et développement. Virages. Formules diverses.

Par M. E. TRUTAT.

Un volume in-18 jésus ; 1896..... 2 fr.

LA PHOTOTYPOGRAVURE A DEMI-TEINTES.

Manuel pratique des procédés de demi-teintes, sur zinc et sur cuivre ;

Par M. Julius VERFASSER.

Traduit de l'anglais par M. E. COUSIN, Secrétaire-agent de la Société française de Photographie.

In-18 jésus, avec 56 figures et 3 planches ; 1895..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

Sélection photographique des couleurs primaires. Son application à l'exécution de clichés et de tirages propres à la production d'images polychromes à trois couleurs ;

Par M. Léon VIDAL,

Officier de l'Instruction publique, Professeur à l'École nationale des Arts décoratifs.

In-18 jésus, avec 10 figures et 5 planches en couleurs ; 1897..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DE PHOTOLITHOGRAPHIE.

Photolithographie directe et par voie de transfert. Photozincographie. Photocollographie. Autographie. Photographie sur bois et sur métal à graver. Tours de main et formules diverses ;

Par M. Léon VIDAL.

In-18 jésus, avec 25 fig., 2 planches et spécimens de papiers autographiques ; 1893..... 6 fr. 50 c.

MANUEL PRATIQUE D'ORTHOCHROMATISME.

Par M. Léon VIDAL.

In-18 jésus, avec figures et 2 planches, dont une en photocollographie et un spectre en couleur ; 1891..... 2 fr. 75 c.

NOUVEAU GUIDE PRATIQUE DU PHOTOGRAPHE AMATEUR.

Par M. G. VIEUILLE.

3^e édition, refondue et beaucoup augmentée. In-18 jésus, avec figures ; 1892..... 2 fr. 75 c.

6011 B. — Paris, Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, qual des Gr.-Augustins.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n^o 73.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Août 1897)

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICALE

D^r CRITZMAN, directeur

Suite de

Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

La science médicale réalise journellement des progrès incessants; les questions et découvertes vieillissent pour ainsi dire au moment même de leur éclosion. Les traités de médecine et de chirurgie, quelque rapides qu'ils soient leurs différentes éditions, auront toujours grand-peine à se tenir au courant.

C'est pour obvier à ce grave inconvénient, auquel les journaux, malgré la diversité de leurs matières, ne sauraient remédier, que nous fondons, avec le concours des savants et des praticiens les plus autorisés, un recueil de Monographies dont le titre général, *L'Œuvre médico-chirurgicale*, nous paraît bien indiquer le but et la portée.

Nous publierons, aussi souvent qu'il sera nécessaire, des fascicules de 30 à 40 pages dont chacun résumera et mettra au point une question médicale à l'ordre du jour, et cela de telle sorte qu'aucune ne puisse être omise au moment opportun.

Nous tenant essentiellement sur le terrain pratique, nous essayerons de donner à chaque problème une formule complète. La valeur et l'importance des questions seront examinées d'une manière critique, de façon à constituer un chapitre ouvrier, digne de figurer dans le meilleur traité médico-chirurgical. Cette nouvelle publication pourrait être intitulée aussi : *Complément à tous les Traités de Pathologie, de Clinique et de Thérapeutique.*

CONDITIONS DE LA PUBLICATION

Chaque monographie est vendue séparément. 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix à forfait et payable d'avance de 10 francs pour la France et 12 francs pour l'étranger (port compris).

MONOGRAPHIES PUBLIÉES

N^o 1. L'Appendicite, par le D^r FÉLIX LEGUEU, chirurgien des hôpitaux de Paris.

N^o 2. Le Traitement du mal de Pott, par le D^r A. CHIPAULT, de Paris.

N^o 3. Le Lavage du Sang, par le D^r LEJARS, professeur agrégé, chirurgien des hôpitaux, membre de la Société de chirurgie.

EN PRÉPARATION

L'Hérédité, par le D^r DEBIERRE.
Le Séro diagnostique de la fièvre typhoïde,
par le D^r FERNAND VIDAL.

Le Myxœdème, par le D^r THIERGE.
L'Alcoolisme, par le D^r JAQUET.
Les Myélites infectieuses, par le D^r ROGER.

Traité de Pathologie générale

PUBLIÉ PAR

Ch. BOUCHARD

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR DE PATHOLOGIE GÉNÉRALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

6 volumes grand in-8° avec figures dans le texte
EN SOUSCRIPTION (1^{er} août 1897) 102 fr.

DIVISIONS DU TOME I^{er}

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte. 18 fr.

- H. ROGER. — Introduction à l'étude de la pathologie générale.
- H. ROGER et P.-J. CADIOT. Pathol. comparée de l'homme et des animaux.
- P. VUILLEMIN. Considérations générales sur les maladies des végétaux.
- MATHIAS DUVAL. — Pathogénie générale de l'embryon. Tératogénie.
- LE GENDRE. — L'hérédité et la pathologie générale.
- BOURCY. — Predisposition et immunité.
- MARFAN. — La fatigue et le surmenage.
- LEJARS. — Les Agents mécaniques.
- LE NOIR. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son.
- D'ARSONVAL. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante.
- LE NOIR. — Les Agents chimiques : les caustiques.
- H. ROGER. — Les intoxications.

DIVISIONS DU TOME II

1 vol. grand in-8° de 932 pages avec figures dans le texte. . . 18 fr.

- CHARRIN. — L'infection.
- GUIGNARD. — Notions générales de morphologie bactériologique.
- HUGOUNENQ. — Notions de chimie bactériologique.
- CHANTEMESSE. — Le sol, l'eau et l'air agents de transmission des maladies infectieuses.
- GABRIEL ROUX. — Les microbes pathogènes.
- LAVERAN. — Des maladies épidémiques.
- RUFFER. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes.
- R. BLANCHARD. — Les parasites.

VIENT DE PARAÎTRE

DIVISIONS DU TOME IV

1 vol. grand in-8° de 720 pages avec figures dans le texte. . . . 16 fr.

- DUCAMP. — Évolution des Maladies.
- GILBERT. — Sémiologie du sang.
- HÉNOQUE. — Spectroscopie du sang. Sémiologie.
- TRAPIER et DEVIC. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux.
- LERMOYER et BOULAY. — Sémiologie du nez, du pharynx nasal et du larynx.
- LEBRETON. — Sémiologie des voies respiratoires.
- LEGENDRE. — Sémiologie générale du tube digestif.

Traité des Maladies de l'Enfance

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

J. GRANCHER

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

J. COMBY

Médecin
de l'hôpital des Enfants-Malades.

A.-B. MARFAN

Agrégé,
Médecin des hôpitaux.

Le Traité des Maladies de l'Enfance est publié en cinq volumes qui paraissent à des intervalles rapprochés. Chaque volume est vendu séparément, et le prix en est fixé selon l'étendue des matières.

Les tomes I, II et III sont en vente (Août 1897). Les autres paraîtront prochainement à intervalles rapprochés.

Il est accepté des souscriptions au Traité des Maladies de l'Enfance à un prix à forfait quels que soient l'étendue et le prix de l'ouvrage complet. Ce prix est, jusqu'à la publication du tome IV, fixé à 90 francs.

TOME I (PARU EN DÉCEMBRE 1896)

1 vol. in-8° de xvi-816 pages avec figures dans le texte . . . 18 fr.

Physiologie et hygiène de l'enfance. — Considérations thérapeutiques sur les maladies de l'enfance. — Maladies infectieuses.

TOME II (PARU EN MARS 1897)

1 vol. in-8° de 818 pages avec figures dans le texte. . . 18 fr.

Maladies générales de la nutrition. — Maladies du tube digestif.

TOME III (PARU EN JUILLET 1897)

1 vol. de 950 pages avec figures dans le texte. . . . 20 fr.

Abdomen et annexes. — Appareil circulatoire. — Nez, larynx et annexes.

TOME IV (SOUS PRESSE)

Maladies des bronches, du poumon, des plèvres, du médiastin. — Maladies du système nerveux.

TOME V (EN PRÉPARATION)

Appareil locomoteur. — Organes des sens. — Maladies de la peau. — Maladies du fœtus. — Table.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur de clinique chirurgicale
à la Faculté de médecine de Paris
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Secrétaire général
de la Société de Chirurgie
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, DELBET, DELENS, DEMOULIN, FORGUE
GÉRARD-MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON
LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON
PEYROT, PONCET, QUÉNU, RICARD, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

DEUXIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFOUDUE

8 vol. grand in-8 avec nombreuses figures dans le texte
En souscription. . . **150 fr.**

TOME I (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 912 pages, avec 218 figures dans le texte. **18 fr.**

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.
BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.
LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

TOME II (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 996 pages, avec 361 figures dans le texte. **18 fr.**

LEJARS. — Nerfs.
MICHAUX. — Artères.
QUÉNU. — Maladies des veines.

RIGARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.
PONCET. — Affections non traumatiques des os.

TOME III (MIS EN VENTE EN JUILLET 1897)

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures dans le texte. **18 fr.**

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.
QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.
GÉRARD-MARCHANT. — Crâne.
KIRMISSON. — Rachis.
S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

Le tome IV paraîtra en Octobre prochain. Les volumes suivants seront publiés successivement et à intervalles très rapprochés.

Traité
d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

Paul POIRIER

PROFESSEUR AGRÉGÉ A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS
CHEF DES TRAVAUX ANATOMIQUES, CHIRURGIEN DES HOPITAUX

PAR MM.

A. CHARPY
PROFESSEUR D'ANATOMIE
A LA FACULTÉ DE
TOULOUSE

A. NICOLAS
PROFESSEUR D'ANATOMIE
A LA FACULTÉ DE
NANCY

A. PRENANT
PROFESSEUR D'HISTOLOGIE
A LA FACULTÉ DE
NANCY

P. POIRIER
PROFESSEUR AGRÉGÉ
CHEF DES TRAVAUX ANATOMIQUES
CHIRURGIEN DES HOPITAUX

P. JACQUES
PROFESSEUR AGRÉGÉ
A LA FACULTÉ DE NANCY
CHEF DES TRAVAUX ANATOMIQUES

ÉTAT DE LA PUBLICATION AU 1^{er} OCTOBRE 1897

TOME PREMIER

Embryologie; Ostéologie; Arthrologie. Un volume grand in-8°
avec 621 figures 20 fr.

TOME DEUXIÈME

- 1^{er} Fascicule : **Myologie.** Un volume grand in-8° avec 312 figures. 12 fr.
2^e Fascicule : **Angéiologie (Cœur et Artères).** Un volume grand
in-8° avec 145 figures. 8 fr.
3^e Fascicule : **Angéiologie (Capillaires, Veines).** Un volume grand
in-8° avec 75 figures 6 fr.

TOME TROISIÈME

1^{er} et 2^e Fascicules : **Système nerveux.** Deux volumes grand
in-8° avec 407 figures 22 fr.

TOME QUATRIÈME

- 1^{er} Fascicule : **Tube digestif.** Un volume grand in-8°, avec
158 figures. 12 fr.
2^e Fascicule : **Appareil respiratoire; Larynx, trachée, poumons,
plèvres, thyroïde, thymus.** Un volume grand in-8°, avec
121 figures. 6 fr.

IL RESTE A PUBLIER :

- Un fascicule du tome II (Lymphatiques);
Un fascicule du tome III (Nerfs périphériques. Organes des sens);
Un fascicule du tome IV (Organes génito-urinaires).

Ces fascicules seront publiés successivement dans le plus bref délai possible.

BIBLIOTHÈQUE D'HYGIÈNE THÉRAPEUTIQUE

DIRIGÉE PAR LE **Professeur PROUST**

VIENT DE PARAÎTRE

L'Hygiène du Neurasthénique.

PAR MM.

Le Professeur PROUST
Membre de l'Académie de médecine,
Médecin de l'Hôtel-Dieu.

Le D^r Gilbert BALLET
Professeur agrégé,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

1 volume in-16 de 282 pages, cartonné toile, tranches rouges, 4 fr.

L'hygiène, qui suffirait à prévenir la neurasthénie si elle était rigoureusement appliquée, suffit aussi le plus souvent à la guérir, quand la neurasthénie est susceptible de guérison. Sans vouloir proscrire la thérapeutique médicamenteuse, les auteurs ne craignent pas de dire que l'on a fait aux candidats neurasthéniques ou à ceux arrivés plus de mal avec les « drogues » qu'on ne leur a rendu de services. Nombreux sont les méfaits des médications dites toniques et reconstituantes, des hypnotiques variés, bref des produits pharmaceutiques dont sont surchargés les traitements plus ou moins bien avisés qui sont entrés dans la pratique journalière. Une bonne hygiène morale et physique, un régime alimentaire bien conçu, des conseils et des encouragements suggestifs, font d'habitude plus pour le neurasthénique qu'une polypharmacie souvent inutile et quelquefois nuisible. C'est dire assez l'intérêt de ce livre, à cette heure où, à la faveur des progrès de la civilisation, et du surcroît d'activité cérébrale qu'elle entraîne, les névroses sous toutes leurs formes sont devenues si communes.

VIENT DE PARAÎTRE

Les Cures Thermales

Par **G. DELFAU**

Ancien interne des hôpitaux de Paris.

1 volume in-16 de 352 pages, cartonné toile, tranches rouges, 4 fr.

Dans un précédent volume de cette bibliothèque, M. Delfau avait décrit les localités thermales, il lui restait pour compléter son œuvre à étudier les cures thermales. Dans ce volume, l'auteur examine d'abord en détail les éléments des cures thermales : la boisson, les bains, les douches, les inhalations... aux points de vue particulièrement de leur mode d'emploi, de leurs actions physiologiques et de leurs effets thérapeutiques. Il envisage ensuite les agents des cures thermales, c'est-à-dire les eaux minérales successivement dans leur ensemble, puis dans les groupes établis d'après leurs propriétés médicales consacrées par la clinique. Enfin, il passe en revue les maladies chroniques tributaires des eaux minérales, états chroniques généraux et affections chroniques des divers organes, et s'attache à déterminer dans quelle mesure ces états morbides si variés peuvent bénéficier d'une cure thermale et quelle est celle dont ils sont justiciables. Pensant que la thérapeutique thermale ne doit pas se traîner dans la paléontologie médicale. M. Delfau a voulu que ce livre fût « au point », et, se gardant de toute exagération, il a tenu compte de toutes les réelles acquisitions récentes de la science.

VIENT DE PARAÎTRE

La Cure d'altitude

PAR

Le D^r Paul REGNARDMembre de l'Académie de médecine,
Directeur-adjoint du Laboratoire de physiologie à la Sorbonne.

OUVRAGE ACCOMPAGNÉ DE 110 FIGURES & DE 29 PLANCHES HORS TEXTE

1 volume grand in-8°, relié toile. . . . 15 fr.

Dans son ouvrage, le D^r Regnard fait connaître d'abord les recherches de laboratoire exécutées en Allemagne et en Suisse pour expliquer le mécanisme de l'action thérapeutique des hauteurs. Il y joint les travaux français et les siens propres entrepris dans le même but. Puis il examine les recherches de physiologie pathologique exécutées sur place, sur les malades qui fréquentent les montagnes.

Dans une seconde partie, essentiellement pratique, il passe en revue les principales stations actuellement organisées pour recevoir convenablement les malades. Il a joint à sa description des cartes topographiques qui la rendent plus claire et de très nombreuses photographies représentant les régions dont il parle. Il a pensé qu'il n'était pas inutile au praticien qui recommande une station d'en avoir au moins une idée, s'il n'a pu la visiter lui-même.

VIENT DE PARAÎTRE

Cure marine de la phtisie pulmonaire

PAR

Le D^r F. LALESQUE

Ancien interne des hôpitaux, Lauréat de la Société de biologie.

1 volume in-8° avec planches, dessins, graphiques, tableaux. . . 6 fr.

Synthétiser dans une formule les conditions météorologiques d'une contrée pour en tirer les indications qui en découlent, telle fut l'ambition de l'auteur. Trois grands chapitres se divisent cet ouvrage. Le premier est consacré à l'étude du milieu (*climatologie*); le second étudie l'action de ce milieu sur l'organisme (*climatophysiologie*); le troisième énumère ses effets dans la phtisie pulmonaire (*climatothérapie*). La cure marine est établie par la valeur indéniable de son climat; le sol et les forêts que celui-ci peut comporter aident son action, et il résulte des développements dans lesquels entre l'auteur, que les avantages du voisinage de l'Atlantique se doublent, pour la bande littorale girondine et landaise, des avantages de la présence d'une vaste forêt de pins maritimes : la climathérapie y trouvant à la fois les ressources d'une cure marine et forestière.

VIENT DE PARAÎTRE

La Défense de l'Europe contre la Peste

ET LA CONFÉRENCE DE VENISE DE 1897

PAR

Le Professeur PROUST

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE, MÉDECIN DE L'HOTEL-DIEU
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES SERVICES SANITAIRES

Un volume in-8° avec figures et cartes en noir et en couleurs. . . 9 fr.

Cet ouvrage a pour but de répandre les connaissances scientifiques sur la peste, afin de donner à l'opinion les moyens de se rendre compte de ce que l'on doit faire pour empêcher le fléau, endémique en Extrême-Orient, de pénétrer en Egypte, dans la Méditerranée et en Europe, et cela sans apporter aucune entrave sérieuse au commerce et à la navigation. C'est une relation exacte de ce qui s'est passé à la conférence de Venise de 1897, l'exposé de la discussion telle qu'elle fut conduite, le récit des luttes que les représentants français eurent à soutenir pour triompher des oppositions de l'Angleterre et de la Turquie; mais c'est encore et surtout une sorte de monographie de l'histoire internationale et prophylactique de la peste, enrichie de toutes les données que l'étude des épidémies précédentes a permis d'y ajouter, des faits nombreux dont la bactériologie l'a si heureusement accrue, et aussi des moyens à mettre en œuvre en pareille occurrence. On lira aussi avec intérêt le chapitre consacré au traitement prophylactique et curatif de la peste, à la sérothérapie et à la vaccination antipesteuse de Yersin. Une bibliographie très riche, des figures et des cartes très claires complètent ce volume qui vient bien à son heure.

VIENT DE PARAÎTRE

Leçons sur les Bactéries pathogènes

FAITES A L'HOTEL-DIEU ANNEXE

PAR

P. DUFLOCQ

Un volume in-8°. 10 fr.

En publiant ces leçons faites aux élèves de son service et à quelques auditeurs étrangers, le Dr Duflocq a désiré être utile aux étudiants et aux médecins qui n'ont ni le temps, ni les moyens de recueillir et de coordonner les documents épars dans la littérature française et étrangère. Chacune de ces études se termine par un chapitre consacré aux applications à l'homme; c'est là une de ces tentatives d'alliance entre la Clinique et la Bactériologie que l'on doit aujourd'hui, pour le plus grand bien des malades, chercher à idéaliser.

Nomenclature des Bactéries étudiées. — *Les Staphylocoques pyogènes* (2 leçons). — *Le Streptocoque* (4 leçons). — *Le pneumocoque* (5 leçons). — *Tétrades et Sarcines* (1 leçon). — *Le Gonocoque* (2 leçons). — *Le Bactérium coli-commune* (4 leçons). — *Le Bacille typhique* (10 leçons). — *Le Vibrion cholérique* (9 leçons). — *Le Bacille diphtérique* (9 leçons). — *Le Bacille tétanique* (8 leçons).

VIENT DE PARAÎTRE**Précis****d'Obstétrique**

PAR

A. RIBEMONT-DESSAIGNESProfesseur agrégé de la Faculté de médecine de Paris,
Accoucheur de l'hôpital Beaujon.

ET

G. LEPAGEAncien chef de clinique obstétricale à la Faculté de médecine,
Accoucheur des hôpitaux.

TROISIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

avec 590 figures dans le texte dont 437 dessinées par A. RIBEMONT-DESSAIGNES

1 volume grand in-8° de 1396 pages, relié toile. . 30 fr.

Parue en janvier 1896, la seconde édition du *Précis d'Obstétrique* était épuisée dès le mois de novembre de la même année. Les auteurs ont tenu à revoir entièrement cette troisième édition et à la mettre au courant des travaux récents des accoucheurs français et étrangers. Les additions nombreuses qu'ils ont faites auraient donné à ce volume des proportions excessives, si l'on n'avait employé des caractères plus fins et si l'on n'avait diminué les dimensions de plusieurs figures. 80 figures ont été ainsi romaniées. Parmi celles qui ont été ajoutées, nous devons en signaler un certain nombre qui ont trait au développement de l'œuf et à la production des monstres, qui accompagnent un court résumé de tératologie placé à la fin du volume. Enfin on s'est en outre efforcé d'éliminer le plus possible, les figures schématiques et de ne prendre que des figures reproduisant des dessins d'après nature et des photographies. C'est seulement à l'aide de ces deux procédés que l'iconographie peut prêter à l'enseignement écrit un secours vraiment scientifique.

Tout en donnant sur plusieurs questions importantes de pratique obstétricale leur opinion personnelle, les auteurs ont continué à s'inspirer le plus possible de l'enseignement des professeurs S. Tarnier et A. Pinard.

VIENT DE PARAÎTRE

Précis de Géographie économique

Par **MARCEL DUBOIS**

PROFESSEUR DE GÉOGRAPHIE COLONIALE A LA FACULTÉ DES LETTRES DE PARIS
MAÎTRE DE CONFÉRENCES

A L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE JEUNES FILLES DE SÈVRES

et **J.-G. KERGOMARD**

PROFESSEUR AGRÉGÉ D'HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE AU LYCÉE DE TOURS

Un volume in-8° de 844 pages 8 fr.

Ce nouveau *Précis de Géographie économique* s'adresse à tous ceux qu'intéressent les graves problèmes de répartition et d'échange de la richesse. Les auteurs n'ont négligé aucun labeur pour donner un tableau exact des faits d'ordre économique, pour en faciliter l'interprétation impartiale. Ils ont surtout essayé de donner une idée juste de la condition de chaque peuple, de ses progrès, de ses tendances.

Faite dans l'esprit le plus impartial, à l'abri des théories pures et des systèmes, avec le seul désir de servir les intérêts de notre pays, cette étude mettra aux mains de ceux qui étudient ou agissent des renseignements nombreux, exacts et commentés avec soin.

Leçons de Géographie physique

Par **Albert de LAPPARENT**

Professeur à l'École libre de Hautes Etudes
Ancien Président de la Commission centrale de la Société de Géographie

*1 volume in-8° contenant 117 figures dans le texte
et une planche en couleurs. . . . 12 fr.*

Dans les derniers jours de 1895, lors de la discussion du budget devant le Sénat, M. Bardoux appelait l'attention du Ministre de l'Instruction publique sur la situation actuelle de l'enseignement de la Géographie physique. L'honorable sénateur constatait qu'il n'y avait aujourd'hui en France qu'un seul cours complet sur la matière, celui que professait M. de Lapparent à l'École libre de Hautes Etudes. C'est ce cours que nous venons offrir au public. Après plusieurs années d'essais, l'auteur croit avoir réussi à unir en un véritable corps de doctrines ces intéressantes considérations, relatives à la genèse des formes géographiques, dont on peut dire qu'il a été en France le plus persévérant initiateur.

VIENT DE PARAÎTRE

La Céramique du Bâtiment

Par **Léon LEFÈVRE**

INGÉNIEUR (E. I. R.)

PRÉFACE DE J.-C. FORMIGÉ

Architecte du Gouvernement et de la Ville de Paris.

1 volume grand in-8° de 500 pages avec 5 planches hors texte,
950 figures dans le texte et de nombreux devis, **15 fr.**

Ce livre rendra de grands services aux fabricants de produits céramiques : briques, tuiles, tuyaux, terres cuites émaillées, carreaux ordinaires et incrustés, mosaïques en grès, faïences et grès architecturaux. Les indications techniques sur la fabrication, le séchage, la cuisson des produits céramiques seront appréciées par tous les fabricants. La céramique décorative fait l'objet de plusieurs chapitres importants où l'on trouve les procédés généraux de décoration des produits céramiques. A ce point de vue, il sera consulté avec fruit par les architectes.

Traité de Zoologie

PAR

Edmond PERRIER

Membre de l'Institut, Professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

VIENT DE PARAÎTRE

FASCICULE IV

VERS ET MOLLUSQUES

1 vol. gr. in-8 de 792 pages, avec 566 figures. **16 fr.**

ONT DÉJÀ PARU :

- FASCICULE I : **Zoologie générale.** 412 pages, 458 figures. . . **12 fr.**
 FASCICULE II : **Protozoaires et Phytozoaires.** 452 p., 243 fig. **10 fr.**
 FASCICULE III : **Arthropodes.** 480 pages, 278 figures. **8 fr.**

Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol.
 in-8° de 1344 pages, avec 980 figures **30 fr.**

Traité

des Matières colorantes

ORGANIQUES ET ARTIFICIELLES

de leur préparation industrielle et de leurs applications

Par **Léon LEFÈVRE**

Ingenieur (E. I. R.), Préparateur de chimie à l'École Polytechnique.

Préface de **E. GRIMAUX**, *membre de l'Institut.*

2 volumes grand in-8° comprenant ensemble 1650 pages, reliés toile anglaise, avec 31 gravures dans le texte et 261 échantillons.

Prix des deux volumes : 90 francs.

Le Traité des matières colorantes s'adresse à la fois au monde scientifique par l'étude des travaux réalisés dans cette branche si compliquée de la chimie, et au public industriel par l'exposé des méthodes rationnelles d'emploi des colorants nouveaux. L'auteur a réuni dans des tableaux qui permettent de trouver facilement une couleur quelconque, toutes les couleurs indiquées dans les mémoires et dans les brevets. La partie technique contient, avec l'indication des brevets, les procédés employés pour la fabrication des couleurs, la description et la figure des appareils, ainsi que la description des procédés rationnels d'application des couleurs les plus récentes. Cette partie importante de l'ouvrage est illustrée par un grand nombre d'échantillons teints ou imprimés, fabriqués spécialement pour l'ouvrage.

VIENT DE PARAÎTRE

Chimie

des Matières colorantes

PAR

A. SEYEWETZ

Chef des travaux
à l'École de chimie industrielle de Lyon

P. SISLEY

Chimiste - Coloriste

1 volume grand in-8° de 822 pages. 30 fr.

Les auteurs, dans cette importante publication, se sont proposé de réunir sous la forme la plus rationnelle et la plus condensée tous les éléments pouvant contribuer à l'enseignement de la chimie des matières colorantes, qui a pris aujourd'hui une extension si considérable. Cet ouvrage est, par le plan sur lequel il est conçu, d'une utilité incontestable non seulement aux chimistes se destinant soit à la fabrication des matières colorantes, soit à la teinture, mais à tous ceux qui sont désireux de se tenir au courant de ces remarquables industries.

**Cours
de Chimie**
MINÉRALE, ORGANIQUE

Par **Armand GAUTIER**
Membre de l'Institut
Professeur de Chimie à la Faculté de
Médecine de Paris
Membre de l'Académie de Médecine

DEUXIÈME ÉDITION

Revue et mise au courant des travaux les plus récents

Tome I. — CHIMIE MINÉRALE. 1 vol. grand in-8° avec 244 figures. 16 fr.
Tome II. — CHIMIE ORGANIQUE. 1 vol. grand in-8° avec 72 figures. . . 16 fr.

LEÇONS DE CHIMIE BIOLOGIQUE, NORMALE ET PATHOLOGIQUE

Par A. GAUTIER

Ces leçons complètent le *Cours de Chimie* du professeur GAUTIER. Elles sont publiées avec la collaboration de MAURICE ARTHUS, professeur à l'Université de Fribourg.

1 volume grand in-8° de 826 pages avec 110 figures. . . 48 fr.

VIENT DE PARAÎTRE

**Éléments de
Chimie physiologique**

Par **Maurice ARTHUS**

Professeur de physiologie et de chimie physiologique à l'Université de Fribourg (Suisse)

DEUXIÈME ÉDITION, REVUE ET CORRIGÉE

1 vol. in-16 diamant, avec figures dans le texte. Cartonné toile. 4 fr.

Dans la préface de la première édition, l'auteur disait : « Actuellement, il n'existe pas d'ouvrage qui, intermédiaire aux traités de chimie physiologique et aux traités de physiologie, contienne toutes les notions chimiques et rien que les notions chimiques nécessaires à l'étudiant en physiologie. Je me suis proposé de combler cette lacune. »

Le succès a répondu à l'attente, puisque la première édition a été épuisée en moins de deux ans. Dans cette seconde édition, le plan général et l'étendue de la première ont été conservés. On s'est borné à rectifier les quelques erreurs de détail qui s'étaient glissées dans le premier travail, et à introduire les modifications rendues nécessaires par le développement de la science.

PASTEUR

Histoire d'un Esprit

Par **E. DUCLAUX**

Membre de l'Institut de France, Professeur à la Sorbonne,
Directeur de l'Institut Pasteur.

1 volume in-8 de 400 pages avec 22 figures 5 fr.

EXTRAIT DE LA PRÉFACE DE L'AUTEUR

... C'est moins pour faire un panégyrique que pour en tirer un enseignement que j'ai essayé d'écrire son histoire, dans laquelle je laisse de côté tout ce qui est relatif à l'homme pour ne parler que du savant. J'ai voulu, dans l'ensemble comme dans le détail, faire la genèse de ses découvertes, estimant qu'il n'avait rien à perdre de cette analyse, et que nous avons beaucoup à gagner.

Loi des Équivalents

et Théorie nouvelle de la Chimie

Par **Gustave MARQFOY**

1 volume in-8 de xxxii-712 pages.. . . . 7 fr. 50

En considérant les divers éléments du monde physique, l'auteur a été naturellement amené à étudier la matière. Comme synthèse de cette étude, il a acquis la conviction que la matière est une. En faisant, dès lors, sur la loi de la formation des corps, la seule hypothèse qui lui ait paru simple et rationnelle, il a découvert la loi naturelle qui enchaîne les équivalents de la chimie dans une formule arithmétique. Après avoir exposé la loi suivant laquelle tous les corps ont été formés, M. Marqfoy établit la théorie constitutive des corps, basée sur l'hypothèse que la matière est une. La concordance des formules et des lois trouvées par cette théorie avec les expériences de la physique et de la chimie confirment la vérité de l'hypothèse.

Leçonssur l'Électricité et le Magnétisme*De E. MASCART et J. JOUBERT*

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE

Par **E. MASCART**Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France
Directeur du bureau central de Météorologie

2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte 45 fr.

ON VEND SÉPARÉMENT :

TOME I. — PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX ET THÉORIES

1 volume grand in-8° avec 130 figures 25 fr.

TOME II. — MÉTHODES DE MESURE ET APPLICATIONS

1 volume grand in-8° avec 160 figures 25 fr.

L'accueil fait par le public à cet ouvrage, épuisé depuis plusieurs années, nous engageait à en donner une seconde édition, mais il a paru nécessaire d'en remanier presque entièrement la rédaction pour tenir compte des progrès accomplis dans le domaine de l'électricité. Les modifications introduites dans le texte primitif et les développements nouveaux qu'exige l'état actuel de la science, n'ont pas modifié le plan général de cet ouvrage.

Le premier volume continue à constituer une sorte de corps de doctrine, renfermant l'ensemble des faits et des conceptions qui ont servi à les coordonner. Le second volume est plus spécialement consacré à l'étude des méthodes d'observations, au détail des expériences et à l'examen des principaux caractères que présentent les applications si nombreuses de l'électricité dans l'industrie.

VIENT DE PARAÎTRE

Formulaire de l'Électricien

PAR

E. HOSPITALIER.

Ingénieur des Arts et Manufactures

Professeur à l'Ecole de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris

QUINZIÈME ANNÉE — 1897

augmentée d'un

VOCABULAIRE TECHNIQUE

FRANÇAIS, ANGLAIS, ALLEMAND

Par M. LEVYLIER

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges . . . 5 fr.

Le succès toujours croissant de cet excellent recueil plaide mieux que tous les arguments en faveur de cet ouvrage, que l'on doit rencontrer dans les mains de quiconque s'occupe d'électricité. L'auteur a su rassembler, sous la forme la plus réduite, tous les renseignements théoriques et pratiques. Définitions, lois, unités de mesures, appareils et méthodes, sont ainsi constamment sous la main de l'électricien, qui dispose également de tous les résultats aujourd'hui acquis par les nombreuses expériences que la science et l'industrie nous apportent tous les jours.

L'édition actuelle a été tenue au courant de la science avec un soin scrupuleux; elle a été augmentée d'un *Vocabulaire technique*, où les électriciens trouveront facilement la traduction en anglais et en allemand des mots se rapportant à toutes les branches de l'électricité.

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 10955.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 250 volumes petit in-8 (30 à 40 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

- PICOU. — Distribution de l'électricité. (2 vol.).
A. GOULLY. — Air comprimé ou raréfié. — Géométrie descriptive (3 vol.).
DWELSHAUVERS-DERY. — Machine à vapeur. — I. Etude expérimentale calorimétrique. — II. Etude expérimentale dynamique.
A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur. — Détente variable de la vapeur. — Epures de régulation.
M. DE LA SOURCE. — Analyse des vins.
ALHEILIG. — I. Travail des bois. — II. Corderie. — III. Construction et résistance des machines à vapeur.
AIMÉ WITZ. — I. Thermodynamique. — II. Les moteurs thermiques.
LINDET. — La bière.
TH. SCHLÖSSING fils. — Chimie agricole.
SAUVAGE. — Moteurs à vapeur.
LE CHATELIER. — Le grisou.
DUDEBOUT. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.
CRONEAU. — I. Canon, torpilles et en-rasse. — II. Construction du navire.
H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.
LECOMTE. — Les textiles végétaux.
DE LAUNAY. — I. Les gîtes métallifères. — II. Production métallifère.
BERTIN. — Etat de la marine de guerre.
FERDINAND JEAN. — L'industrie des peaux et des cuirs.
BERTHELOT. — Calorimétrie chimique.
DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.
GUILLAUME. — Unités et étalons.
WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.
MINEL (P.). — Electricité industrielle. (2 vol.). — Electricité appliquée à la marine. — Régularisation des moteurs des machines électriques.
HÉBERT. — Boissons falsifiées.
NAUDIN. — Fabrication des vernis.
SINIGAGLIA. — Accidents de chaudières.
GUENEZ. — Décoration de la porcelaine au feu de moule.
VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.
MEYER (Ernest). — L'utilité publique et la propriété privée.
WALLON. — Objectifs photographiques.

Section du Biologiste

- FAISANS. — Maladies des organes respiratoires.
MAGNAN et SÉRIEUX. — I. Le délire chronique. — II. La paralysie générale.
AYVARD. — I. Séméiologie génitale. — II. Menstruation et fécondation.
G. WEISS. — Electro-physiologie.
BAZY. — Maladies des voies urinaires. (2 vol.).
TROUSSEAU. — Hygiène de l'œil.
FERRÉ. — Epilepsie.
LAYKRAN. — Paldusisme.
POLIN et LABIT. — Aliments suspects.
BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine.
MEGNIN. — I. Les acariens parasites. — II. La faune des cadavres.
DEMELIN. — Anatomie obstétricale.
CUNOT. — I. Les moyens de défense dans la série animale. — II. L'influence du milieu sur les animaux.
A. OLIVIER. — L'accouchement normal.
BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.
CEARRIN. — I. Les poisons de l'urine. — II. Poisons du tube digestif. — III. Poisons des tissus.
ROGER. — Physiologie normale et pathologique du foie.
BROCC et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie (5 vol.).
HANOT. — De l'endocardite aiguë.
WEILL-MANTOU. — Guide du médecin d'assurances sur la vie.
LANGLOIS. — Le lait.
DE BRUN. — Maladies des pays chauds. (2 vol.).
BROCA. — Tumeurs blanches des membres chez l'enfant.
DE CAZAL et CATRIN. — Médecine légale militaire.
LAPERONNE (DE). — Maladies des paupières et des membranes externes de l'œil.
KÖHLER. — Applications de la photographie aux Sciences naturelles.
BRAUREGARD. — Le microscope.
LESAGE. — Le choléra.
LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.
CORNEVIN. — Production du lait.
J. CHATIN. — Anatomie comparée (4 v.).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

- BLOCH. — Eau sous pression.
 DE MARCHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.).
 PRUD'HOMME. — Teinture et impression.
 SOBREL. — I. La rectification de l'alcool. — II. La distillation.
 DE BILLY. — Fabrication de la fonte.
 HENNEBERT (C.). — I. La fortification. — II. Les torpilles sèches. — III. Bouches-à-feu. — IV. Attaque des places. — V. Travaux de campagne. — VI. Communications militaires.
 CASPARI. — Chronomètres de marine.
 LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.
 DUDEBOUT et CRONEAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.
 C. BOURELET. — Bicycles et bicyclettes.
 H. LÉAUTÉ et A. BÉRARD. — Transmissions par câbles métalliques.
 DE LA BAUME PLEUVINEL. — La théorie des procédés photographiques.
 HATT. — Les marées.
 H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie.
 C. VALLIER. — Balistique (2 vol.). — Projectiles. Fusées. Cuirasses (2 vol.).
 LÉLOUTRE. — Le fonctionnement des machines à vapeur.
 DARIES. — Cubature des terrasses et mouvement des terres.
 SIDERSKY. — Polarisation et saccharimétrie.
 NIEWENGLOWSKI. — Applications scientifiques de la photographie.
 ROCQUES (X.). — Analyse des alcools et eaux-de-vie.
 MOËSSARD. — Topographie.
 BOURSALUT. — Calcul du temps de pose en photographie.
 SEGUERA. — Les tramways.
 LÉFÈVRE (J.). — I. La Spectroscopie. — II. La Spectrométrie. — III. L'éclairage électrique. — IV. Éclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras.
 BARRILOT (E.). — Distillation des bois.
 MOISSAN et OUYRARD. — Le nickel.
 URBAIN. — Les succédanés du chiffon en papeterie.
 FOPPE. — I. Accumulateurs électriques. — II. Transformateurs de tension.
 ARIÈS. — Chaleur et énergie.
 FABRY. — Piles et circuits.
 HENRIOT. — Les gaz de l'atmosphère.
 DUMONT. — Electromoteurs.
 MINRT (A.). — L'Electro-métallurgie.
 DUBOIS. — Étude d'un tracé de chemin de fer.

Section du Biologiste

- CASTEX. — Hygiène de la voix parlée et chantée.
 MERKLEN. — Maladies du cœur.
 G. ROCHÉ. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.
 OLLIER. — I. La régénération des os et les réssections sous-périosteales. — II. Réssections des grandes articulations.
 LETULLIE. — Pus et suppuration.
 CRITZMAN. — Le cancer.
 ARMAND GAUTIER. — La chimie de la cellule vivante.
 SÉGLAN. — Le délire des négations.
 STANISLAS MIGNIER. — Les météorites.
 GREHANT. — Les gaz du sang.
 NOCARD. — Les tuberculoses animales et la tuberculose humaine.
 MOUSSOU. — Maladies congénitales du cœur.
 BERTHAULT. — Les prairies (2 vol.).
 TRUQUART. — Parasites des habitations humaines.
 LAMY. — Syphilis des centres nerveux.
 RECLUS. — La cocaïne en chirurgie.
 THOULET. — Oceanographie pratique.
 HOUDAILLE. — Météorologie agricole.
 VICTOR MEUNIER. — Sélection et perfectionnement animal.
 HENNEQUE. — Spectroscopie du sang.
 GALEFFE et BARRÉ. — Le pain (2 v.).
 LE DANTEC. — I. La matière vivante. — II. La Bactériologie charbonneuse. — III. La Forme spécifique.
 L'HOTE. — Analyse des engrais.
 LANBALETRIER. — Les tourteaux. Résidus industriels employés comme engrais (2 vol.).
 LE DANTEC et BÉRARD. — Les sporozoaires.
 DEMMLER. — Soins à donner aux malades.
 DALEMAGNE. — Études sur la criminalité (3 vol.).
 BRAULT. — Des artérites (2 vol.).
 RAVAZ. — Reconstitution du vignoble.
 EHLEK. — L'Ergotisme.
 BONNIER. — L'oreille (3 vol.).
 DESMOULINS. — Conservation des produits et denrées agricoles.
 LOVERDO. — Le ver à soie.
 DUBREUILH et BRILLE. — Les parasites animaux de la peau humaine.
 KAUSER. — Les levures.
 COLLET. — Troubles auditifs des maladies nerveuses.
 GASSER. — Analyse des eaux potables.