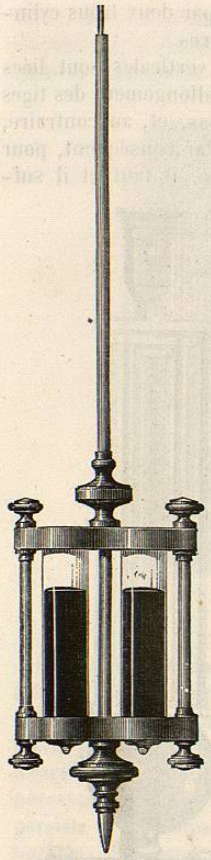

Fig. 687.

c'est-à-dire égale à $0^m,993866$), on peut déterminer les longueurs absolues l et l' de l'acier et du laiton nécessaires pour réaliser la compensation. Il suffit d'exprimer L en fonction de l et l'. Or on voit que la longueur totale du pendule se compose d'abord de la tige b, puis de la tige i (jusqu'au centre de la lentille), enfin des deux intervalles qui séparent les trois châssis. Or le premier de ces intervalles est évidemment égal à la différence des tiges d et c, et le second à la différence des tiges e et n. On a donc

$$L = a + a''' + (a' - c) + (a'' - c''),$$

d'où

$$[2] \quad L = (a + a' + a'' + a''') - (c + c') = l - l'.$$

Les équations [1] et [2] ci-dessus déterminent l et l'. En les résolvant, on trouve

$$[3] \quad l = \frac{L}{1 - \frac{k}{k'}} \quad \text{et} \quad l' = \frac{L}{\frac{k'}{k} - 1}.$$

Ces formules font voir que l et l' sont plus grands que L ; c'est pour satisfaire à cette condition qu'on est forcé, pour le pendule à seconde, de faire usage de plusieurs châssis d'acier et de laiton (k est pris généralement égal à 0,00001079 et k' à 0,00001878).

635. **Compensateur Graham.** — Ce pendule est formé d'une tige de fer (fig. 687) qui soutient, par l'intermédiaire d'un support en cristal, deux cylindres de cristal à peu près remplis de mercure. Le centre de gravité du pendule est donc abaissé par la dilatation de la tige, mais relevé par la dilatation du mercure. On calcule la hauteur de mercure qu'il faut employer pour obtenir une compensation parfaite. Graham, qui a inventé ce procédé de compensation, suspendait son pendule par une tige de verre, au lieu d'une tige de fer. On peut également ne mettre qu'un tube en verre au lieu de deux.

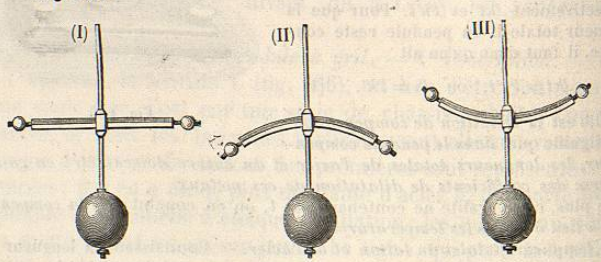

Fig. 688.

636. **Lames compensatrices. — Compensateur Martin.** — On arrive encore à compenser l'allongement de la tige des pendules au moyen de *lames compensatrices*. On nomme ainsi deux lames de cuivre et de fer soudées ensemble et fixées à la tige du pendule (fig. 688, I). La lame de cuivre qui est la plus dilatable, est au-dessous de la lame de fer. Quand la température s'abaisse, la tige du pendule se raccourcit et la lentille se relève ; mais alors les lames compensatrices se recourbent (fig. 688, II), ce qui est dû à ce que le cuivre se contracte plus que le fer. De la sorte, deux boules métalliques, placées à l'extrémité des lames, s'abaissent, et, si elles ont une masse convenable, il s'établit une compensation entre les points qui se rapprochent du centre de suspension et ceux qui s'en écartent, ce qui fait que le centre d'oscillation n'est pas déplacé. Si la température s'élève, la lentille descend, mais les boules remontent (fig. 688, III), et il y a encore compensation.

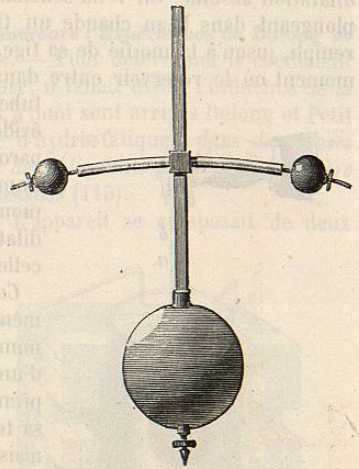

Fig. 689.

Tel est le principe du *compensateur Martin*. C'est un pendule ordinaire dont la tige porte un système de *lames compensatrices* (fig. 689) terminées par deux boules pesantes en or. On a calculé les dimensions de façon que la compensation soit parfaitement établie d'après le mécanisme indiqué ci-dessus. Comme les boules d'or peuvent glisser sur les lames, grâce aux vis de pression qui les y fixent, on peut, en les déplaçant, achever la compensation par tâtonnements.

CHAPITRE III

DILATATION DES LIQUIDES.

637. **Définitions préliminaires.** — *Dilatation apparente et dilatation absolue.* — Dans les liquides, il n'y a lieu de considérer que des dilatations cubiques ; mais l'on doit distinguer la *dilatation absolue* et la *dilatation apparente*. Cette dernière est l'accroissement de volume que *paraît* prendre un liquide dans une enveloppe qui se dilate moins que lui. Telle est la dilatation du mercure et de l'alcool qu'on observe dans les thermomètres. La

dilatation *absolue* ou *réelle* est l'augmentation de volume que le liquide subit *réellement* dans l'enveloppe.

La dilatation apparente est nécessairement plus petite que la dilatation absolue. On rend sensible l'influence de l'enveloppe en plongeant dans l'eau chaude un thermomètre à gros réservoir, rempli, jusqu'à la moitié de sa tige, d'alcool coloré (fig. 690). Au moment où le réservoir entre dans l'eau, l'alcool baisse dans le tube, de *b* en *a*, ce qui provient évidemment de la dilatation des parois; mais si le réservoir reste immergé, l'alcool s'échauffe et monte d'une quantité égale à sa dilatation absolue, diminuée de celle de l'enveloppe.

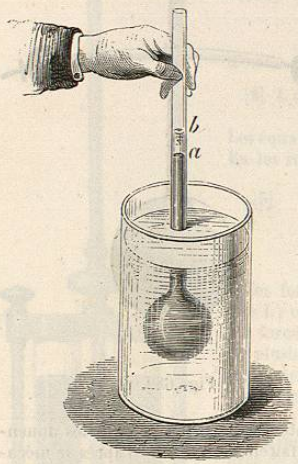

Fig 690.

Coefficients de dilatation. — De même que pour les solides, on nomme *coefficient de dilatation* d'un liquide l'accroissement que prend l'unité de volume lorsque sa température s'élève de 0° à 1°; mais on distingue alors le *coefficient de dilatation apparente* et le *coefficient de dilatation absolue.*

Relation entre les deux coefficients. — On peut démontrer rigoureusement que *le coefficient de dilatation absolue* Δ *d'un liquide est égal à son coefficient de dilatation apparente* δ, *augmenté du coefficient de dilatation* K *de l'enveloppe.* En effet, prenons pour unité de volume le volume *réel* d'une masse déterminée d'un liquide à 0°. Élevons de 1° la température de ce liquide: le volume *apparent*, dans l'enveloppe qui le contient, devient $1 + \delta$; mais chaque unité de capacité de l'enveloppe est devenue elle-même $1 + K$, en passant de la température 0° à la température 1° : donc la capacité *apparente* $(1 + \delta)$ est en réalité égale à

$$(1 + \delta)(1 + K).$$

On a donc

$$1 + \Delta = (1 + \delta)(1 + K) = 1 + \delta + K + \delta K$$

En supprimant l'unité de part et d'autre, ainsi que le produit δK, il reste

$$\Delta = \delta + K. \qquad \text{C. Q. F. D.}$$

Travail correspondant à la dilatation. — La force de cohésion entre les molécules des liquides étant très faible, le *travail interne* de la dilatation y est beaucoup moindre que dans les solides. Au contraire, le *travail externe* y est bien plus grand; car, pour un même accroissement de température, les liquides se dilatent beaucoup plus que les solides.

638. **Dilatation absolue du mercure : Expériences de Dulong et Petit.** — *Principe de la méthode.* — Pour déterminer le coefficient de dilatation absolue du mercure, il fallait éviter l'influence de la dilatation de l'enveloppe; c'est à quoi sont arrivés Dulong et Petit en s'appuyant sur ce principe d'hydrostatique : *dans deux vases communicants, les hauteurs de deux liquides qui sont en équilibre sont en raison inverse de leurs densités* (115).

Description de l'appareil. — L'appareil se composait de deux

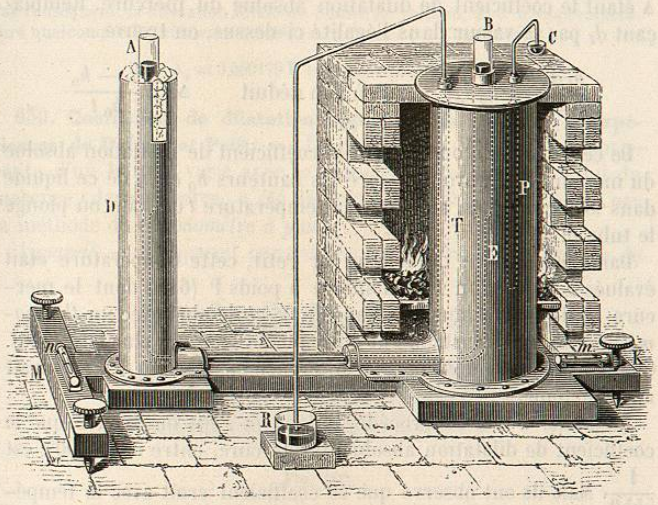

Fig. 691.

tubes de verre, A et B (fig. 691), réunis par un tube capillaire, et maintenus verticalement sur un support de fer KM. On pourrait disposer le support horizontalement à l'aide de vis calantes en se servant de deux niveaux à bulle d'air *m* et *n*. Les deux tubes étaient enveloppés chacun d'un manchon métallique, dont le plus petit, D, était rempli de glace pilée, et l'autre, E, d'huile qu'on chauffait graduellement au moyen d'un fourneau (la figure représente ce fourneau ouvert afin de laisser voir le manchon). Enfin

les tubes A et B étaient remplis de mercure : le niveau était le même de part et d'autre quand ils étaient à la même température, mais il s'élevait peu à peu dans le tube B à mesure qu'on chauffait ce dernier.

Méthode. — Soient h_0 la hauteur à 0° du mercure dans le tube A, au-dessus de l'axe du tube horizontal, et d_0 sa densité, et soient h_t et d_t les mêmes données pour le tube B, à la température t. D'après le principe d'hydrostatique rappelé ci-dessus, on a

$$h_0 d_0 = h_t d_t.$$

Or

$$d_t = \frac{d_0}{1 + \Delta t},$$

Δ étant le coefficient de dilatation absolue du mercure. Remplaçant d_t par sa valeur dans l'égalité ci-dessus, on trouve

$$\frac{h_t d_0}{1 + \Delta t} = h_0 d_0 ; \qquad \text{d'où l'on déduit} \qquad \Delta = \frac{h_t - h_0}{h_0 t}.$$

De cette formule on déduira le coefficient de dilatation absolue du mercure après avoir mesuré les hauteurs h_0 et h_t de ce liquide dans les deux tubes, ainsi que la température t du bain où plonge le tube B.

Dans l'expérience de Dulong et Petit, cette température était évaluée à l'aide d'un thermomètre à poids P (640) dont le mercure se déversait dans une capsule C, et de plus avec un *thermomètre à air* T, — instrument que nous étudierons plus loin (656). Quant à la hauteur h_0 et à la différence $h_t - h_0$, on les mesurait au cathétomètre.

Résultats. — Par ce procédé, Dulong et Petit ont trouvé que le coefficient de dilatation absolue du mercure, entre 0° et 100°, est $\frac{1}{5550}$. Mais ils ont observé que ce coefficient croît avec la température. Entre 100 et 200°, le coefficient moyen est égal à $\frac{1}{5425}$; entre 200 et 300°, il devient $\frac{1}{5300}$. Toutefois ils ont constaté que, de — 36° à 100°, sa dilatation est très sensiblement *régulière*.

Critique de la méthode. — Expériences de Regnault. — La méthode précédente comportait plusieurs causes d'erreur. D'abord la température t était toujours incertaine, parce qu'il n'était pas possible d'agiter le bain d'huile et, par suite, d'en égaliser la température au moment où l'on observait les thermomètres. De plus, les vases communicants A et B n'ayant qu'une hauteur de 0m,55 environ, la différence des niveaux $(h_t - h_0)$ était très petite en valeur absolue et l'erreur relative commise dans cette lecture était très grande.

Regnault reprit ces expériences en y apportant toute la précision caractéristique de sa méthode expérimentale. Il fut d'ailleurs conduit à des résultats peu différents de ceux de Dulong et Petit, — ce qui prouve en faveur de l'habileté de ces derniers expérimentateurs. Il trouva que le coefficient de dilatation absolue du mercure est $\frac{1}{5547}$ entre 0° et 50°, et que ce coefficient croît d'une manière continue à mesure que la température s'élève. La dilatation totale de l'unité de volume entre les limites 0° et T° peut se représenter par la formule empirique

$$\Delta_T = aT + bT^2.$$

Les coefficients a et b dépendent de la température T. Entre les limites 0° et 300°, leurs valeurs, déterminées par des expériences directes, sont

$$a = 0{,}000179 \quad \text{et} \quad b = 0{,}00000002522.$$

Par conséquent, la dilatation totale de l'unité de volume, de 0° à une température quelconque T (inférieure à 300°), sera donnée par l'équation

$$\Delta_T = 0{,}000179\,T + 0{,}00000002522\,T^2.$$

639. **Coefficient de dilatation apparente du mercure : Expériences de Dulong et Petit.** — Le coefficient de dilatation apparente d'un liquide varie avec la nature de l'enveloppe. Celui du mercure, dans le verre, a été déterminé par Dulong et Petit, par la méthode du *thermomètre à poids.*

Appareil. — L'appareil consiste en un réservoir cylindrique de

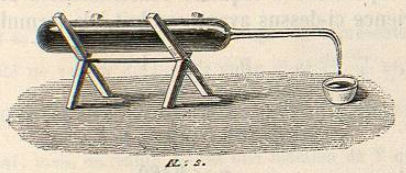

Fig. 692.

verre auquel est soudé un tube capillaire recourbé à angle droit et ouvert à son extrémité (fig. 692).

Méthode. — On pèse l'instrument d'abord vide, puis rempli de mercure à 0°; la différence des deux pesées donne le poids P du mercure contenu dans l'appareil à 0°. Si on le porte ensuite à une température connue t, le mercure se dilate, et il en sort une certaine quantité qu'on recueille dans une petite capsule et qu'on pèse. Si l'on représente par p le poids du mercure sorti, celui du mercure resté dans l'appareil est $P - p$.

Le volume occupé à 0° par cette masse de mercure est évidem-

ment $\frac{P-p}{d_0}$, en appelant d_0 le poids spécifique à 0° du mercure. Cette même masse occupait à t^0 le *volume apparent* du thermomètre. Ce volume apparent a été jaugé à 0° et trouvé égal à $\frac{P}{d_0}$. La dilatation apparente totale du mercure a donc été

$$\left(\frac{P}{d_0}-\frac{P-p}{d_0}\right) \quad \text{ou} \quad \frac{p}{d_0}.$$

et le coefficient de dilatation apparente, c'est-à-dire la dilatation apparente qui correspond à l'unité de volume et à une élévation de 1°, sera

$$\delta=\frac{\frac{p}{d_0}}{\frac{(P-p)\,t}{d_0}} \quad \text{ou} \quad \delta=\frac{p}{(P-p)\,t}.$$

Telle est la formule dite du *thermomètre à poids*.

Résultats. — Dulong et Petit ont ainsi trouvé que le coefficient de dilatation apparente du mercure dans le verre est $\frac{1}{6480}$.

640. **Thermomètre à poids.** — Cet appareil a reçu le nom de *thermomètre à poids*, parce que du poids de mercure sorti on peut déduire la température à laquelle l'instrument a été porté. En effet, l'expérience ci-dessus ayant conduit à la formule

$$\frac{p}{(P-p)\,t}=\frac{1}{6480},$$

on en tire

$$p\times 6480=(P-p)\,t,$$

d'où

$$t=\frac{p\times 6480}{(P-p}.$$

formule qui donne t lorsque P et p sont connus.

641. **Coefficient de dilatation du verre.** — On le déduit du coefficient de dilatation absolue du mercure, obtenu directement, et du coefficient de dilatation apparente, mesuré par la méthode précédente, dans une enveloppe de ce verre. Soit $\frac{1}{6480}$ le coefficient de dilatation apparente dans un verre déterminé, on aura

$$K=\frac{1}{5550}-\frac{1}{6480}=\frac{1}{38671}=0{,}00002585.$$

Regnault a constaté que *ce coefficient de dilatation varie avec les différentes espèces de verre*, et, en outre, *suivant la forme des enveloppes*. Pour le verre ordinaire des tubes de chimie, il a trouvé un coefficient égal à 0,0000254.

642. **Coefficients de dilatation des divers liquides.** — 1° *Méthode de détermination.* — La méthode générale de détermination est également fondée sur la relation $\Delta=k+\delta$, qui lie le coefficient absolu d'un liquide à son coefficient apparent et au coefficient de l'enveloppe. Le coefficient de dilatation apparente des liquides peut se déterminer par le procédé du thermomètre à poids (640). Pour avoir ensuite le coefficient de dilatation absolue, on ajoute au coefficient de dilatation apparente le coefficient de l'enveloppe.

2° *Résultats généraux.* — La loi suivant laquelle la dilatation des divers liquides croît avec la température, s'écarte beaucoup plus de la proportionnalité que pour le mercure. Elle est exprimée, pour chaque liquide, par une formule *empirique* qui est de la forme

$$\Delta_T=aT+bT^2+cT^3.$$

Les coefficients a, b et c sont des *constantes* dont on a déterminé la valeur par un certain nombre d'observations directes (trois au minimum). Ces valeurs numériques des constantes ne sont valables que pour les limites de température entre lesquelles on a fait les observations directes. Voici, comme exemple, la formule empirique représentant la dilatation de l'alcool vinique entre la température 0° et celle de l'ébullition :

$$\Delta_T=0{,}0010486\,T+0{,}0000017510\,T^2+0{,}000000001345\,T^3.$$

3° *Coefficient de dilatation moyen.* — Puisque Δ_t représente la dilatation totale de l'unité de volume du liquide entre 0° et T°, $\frac{\Delta_T}{T}$ représentera son coefficient de dilatation. Si Δ_T était proportionnel à T, le quotient $\frac{\Delta_T}{T}$ serait un nombre *constant ;* mais, en réalité, $\frac{\Delta_T}{T}$ est une fonction de T qu'on déduit de la formule empirique précédente, en divisant les deux membres par T. On a ainsi

$$\frac{\Delta_T}{T}=a+bT+cT^2=\gamma_T.$$

γ_T s'appelle le *coefficient de dilatation moyen* entre 0° et T°.

Voici les coefficients moyens de dilatation absolue, mesurés par Isidore Pierre, pour quelques liquides importants de la chimie organique.

	Coefficient moyen jusqu'à la température d'ébullition	Température d'ébullition.
Alcool ordinaire.	0,001195	78°
Ether ordinaire..	0,001647	36°
Chloroforme.	0,001320	63°
Aldéhyde..	0,001827	22°

4° *Énorme dilatabilité des liquides très volatils. — Expériences de Drion.* — Certains liquides très volatils, et qui entrent en ébullition à de basses températures, — tels que les gaz liquéfiés, — possèdent une dilatabilité comparable et même supérieure à celle des gaz.

Thilorier avait signalé dès 1836 l'énorme dilatation que subit l'acide carbonique liquide entre 0° et 30° ; il l'estimait égale à 4 fois la dilatation de l'air dans les mêmes conditions. Les expériences de Drion ont confirmé cette curieuse anomalie pour trois liquides volatils, de nature très différente, l'éther chlorhydrique, l'acide hypoazotique et l'acide sulfureux.

Pour l'éther chlorhydrique, le coefficient de dilatation *atteint* celui de l'eau à la température de 110°, et il devient *trois fois plus grand* à 930°. Pour l'acide hypoazotique, le coefficient est *plus grand* que celui de l'eau dès 110°. Pour l'acide sulfureux, le coefficient est égal à celui de l'air dès 80°, et il est *triple* de celui de l'air à 130°.

Les mesures de Drion ont porté sur les *coefficients apparents* de ces trois liquides ; mais l'anomalie qu'il a mise en évidence serait encore plus accusée pour les *coefficients réels*, qui sont encore plus grands que les coefficients apparents.

643. **Maximum de densité de l'eau.** — La loi de dilatation de l'eau est complètement différente de celle des autres liquides. L'eau présente, en effet, ce phénomène remarquable que, lorsque sa température s'abaisse, elle ne se contracte que jusqu'à 4° ; au-dessous de ce point, quoique le refroidissement continue, non seulement la contraction cesse, mais le liquide se dilate jusqu'au point de congélation, qui a lieu à zéro; de sorte qu'à 4° l'eau éprouve un maximum de contraction.

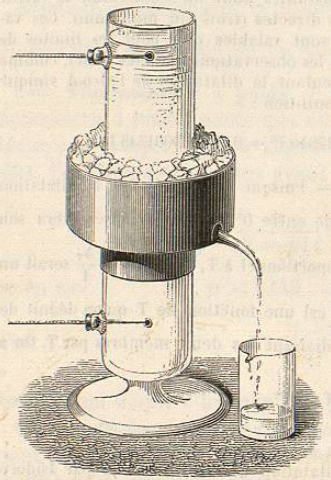

Fig. 693.

Expériences de Hope. — Pour vérifier ce fait expérimentalement, on fait usage de l'appareil suivant, dû à Hope, physicien écossais. Une éprouvette à pied est percée latéralement de deux trous, l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure, dans lesquels sont fixés deux thermomètres (fig. 693); un manchon rempli de glace, ou d'un mélange réfrigérant, entoure la partie moyenne de l'éprouvette. Or, celle-ci ayant été remplie d'eau à 10 ou 12°, on remarque que le thermomètre supérieur reste à peu près stationnaire, tandis que le thermomètre inférieur s'abaisse rapidement jusqu'à 4° ; puis celui-ci devient stationnaire à son tour, tandis que de son côté le thermomètre supérieur se met à descendre, non seulement à 4°, mais jusqu'à zéro. On conclut de là que, tant que l'eau se refroidit jusqu'à 4°, elle va en augmentant de densité, puisqu'elle se rend à la partie inférieure de l'éprouvette, mais qu'en se refroidissant davantage elle se dilate, puisqu'elle s'élève alors vers la partie supérieure. Donc *c'est à 4° qu'elle atteint son maximum de densité.*

Expériences d'Hallström. — Plus tard, Hallström pesa successivement, dans de l'eau, à différentes températures, une boule de verre lestée avec du sable. En tenant compte de la dilatation du verre, il trouva que c'était dans de l'eau à 4°,1 que la boule subissait la poussée maximum ; par conséquent, c'était à cette température que devait avoir lieu le maximum de densité de l'eau.

Expériences de Despretz. — Despretz, par une autre méthode, s'est assuré que c'est exactement à 4° que se produit ce phénomène. Il a fait usage d'un thermomètre à eau, c'est-à-dire contenant de l'eau au lieu de mercure. En le refroidissant graduellement dans un bain dont la température était donnée par un thermomètre à mercure, et en tenant compte de la contraction de l'enveloppe, il a trouvé que c'est à 4° qu'a lieu, dans le thermomètre à eau, le maximum de contraction, et, par suite, le maximum de densité de l'eau.

Résultats. — Despretz a construit une table des densités de l'eau depuis — 9° jusqu'à 100°, celle de l'eau à 4° étant prise pour unité. Nous extrayons de cette table les nombres ci-après, qui suffisent dans les limites de température où l'on exprimente dans les laboratoires.

Densités de l'eau de 0° à 30°, la densité à 4° étant prise pour unité.

TEMPÉRATURES.	DENSITÉS.	TEMPÉRATURES.	DENSITÉS.	TEMPÉRATURES.	DENSITÉS.
0	0,999873	11	0,999640	22	0,997784
1	0,999927	12	0,999527	23	0,997566
2	0,999966	13	0,999414	24	0,997297
3	0,999999	14	0,999285	25	0,997078
4	1	15	0,999125	26	0,996800
5	0,999999	16	0,998978	27	0,996562
6	0,999969	17	0,998794	28	0,996274
7	0,999929	18	0,998612	29	0,995986
8	0,999878	19	0,998422	30	0,995688
9	0,999812	20	0,998213	50	0,988095
10	0,999731	21	0,998004	100	0,958634

Remarque. — Cette table fait voir que la densité de l'eau décroît très irrégulièrement de 4° à 100°, et que, par suite, il y a une variation inverse, très irrégulière, de son coefficient de dilatation. C'est pourquoi il n'y aurait aucune

rigueur à faire usage dans les calculs du coefficient de dilatation moyen Δ de l'eau entre 0° et T° ni du binôme $1 + \Delta T$. Mais, la densité de l'eau à T degrés étant donnée par la table ci-dessus, on pourra toujours faire usage directement de la formule $P = VD$ pour calculer soit le poids à T degrés d'une masse d'eau dont le volume est connu, soit son volume si c'est le poids qui est donné.

Par exemple, si l'on veut calculer le poids P d'un volume d'eau V à T degrés, on cherchera dans la table ci-dessus la densité e_T de l'eau à T degrés, et l'on aura $P = Ve_T$, V étant exprimé en décimètres cubes, et P en kilogrammes.

644. **Maximum de densité des solutions salines.** — Despretz a démontré aussi que l'eau de mer et quelques dissolutions salines présentent l'anomalie du maximum de densité. Il a constaté que la présence des sels dissous dans l'eau abaisse la température au maximum de densité. Celle de la congélation de l'eau est également abaissée par la même cause, mais moins fortement. Ainsi l'eau de mer qui se congèle à — (1°,70) n'a son maximum de densité qu'à — (3°,67). De même certaine dissolution de sel marin, qui se congèle à — (2°,12), n'atteint son maximum de densité qu'à — (4°,75). Il en résulte que, pour ces liquides, l'observation du maximum est assez difficile, car il faut s'arranger de manière à éviter que le changement d'état ne se produise avant le maximum de densité. On y arrive en utilisant le phénomène de surfusion que nous étudierons plus loin. L'eau de la mer, qui est toujours plus ou moins agitée, se congèle toujours avant d'être assez refroidie pour atteindre son maximum de densité.

645. **Application du thermomètre à poids à la mesure des dilatations cubiques.** — Dulong et Petit ont appliqué la méthode du thermomètre à poids à la recherche des coefficients de dilatation cubique des solides. Pour cela, ils prenaient un tube de verre un peu gros, et y introduisaient la substance sous la forme d'un prisme allongé, après en avoir déterminé le poids et la densité, et par suite le volume. Puis ils étiraient l'extrémité du tube à la

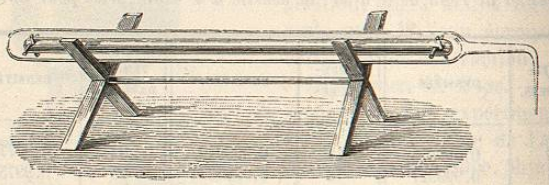

Fig. 694.

lampe et la recourbaient de manière à lui donner la forme d'un thermomètre à poids (fig. 694). Ils remplissaient ensuite de mercure l'espace resté libre dans le tube, et déterminaient le poids de ce liquide *qui y était contenu à zéro*. Cela fait, opérant comme avec le thermomètre à poids, on portait l'appareil à une température connue t; le mercure et le corps contenus dans le tube se dilatant alors plus que le verre, il en sortait un poids p de mercure qu'on pesait. Il ne restait plus qu'à exprimer que *le volume du mercure sorti égalait la dilatation du corps, plus celle du mercure, moins celle du verre.*

Soient P le poids du mercure qui remplit le tube à 0°, P′ le poids du métal introduit, m le coefficient de dilatation absolue du mercure, x celui du métal, et K celui du verre, d et d' les densités du mercure et du métal. La dilatation du mercure est évidemment $\frac{P}{d}mt$, celle du corps $\frac{P'}{d'}xt$, celle du verre $\left(\frac{P}{d}+\frac{P'}{d'}\right)Kt$; enfin le volume dilaté du mercure sorti est $\frac{p}{d}mt$. On a donc l'équation

$$\frac{P}{d}mt + \frac{P'}{d'}xt - \left(\frac{P}{d}+\frac{P'}{d'}\right)kt = \frac{p}{d}mt,$$

où toutes les quantités sont connues, sauf x.

Cette méthode ne peut évidemment s'appliquer qu'aux corps non attaquables par le mercure, tels que le fer ou certains oxydes métalliques.

646. **Correction des poids spécifiques des solides et des liquides.** — Dans les différentes méthodes qui ont été données pour la détermination des poids spécifiques (169-175), on a supposé les corps solides ou liquides à la température de zéro, et l'eau à celle de 4°. Or, en général ces conditions n'étant pas satisfaites, on a plusieurs corrections à effectuer. Considérons, par exemple, le procédé de la balance hydrostatique, et admettons qu'on fasse également les corrections aux pesées dans l'air (212).

Méthode de la balance hydrostatique. — Soient p le poids réel du corps, d son poids spécifique à zéro, K son coefficient de dilatation cubique, t la température de l'air ambiant et, par suite, celle du corps et de l'eau distillée sur lesquels on expérimente.

On pèse le corps dans l'air, en employant la méthode des doubles pesées : soit P le poids marqué correspondant. On le plonge ensuite dans l'eau à t degrés; l'équilibre est détruit. Soit P′ le poids nécessaire pour le rétablir : ce poids représente, comme on sait, la poussée de l'eau.

1° Le volume du corps à zéro étant $\frac{p}{d}$, son volume à t degrés est $\frac{p}{d}(1+Kt)$; en supposant que les poids p, P et P′ soient mesurés en kilogrammes ou fractions de kilogramme, si a est le poids d'un litre d'air dans les conditions atmosphériques de l'expérience (c'est-à-dire à t degrés et sous la pression barométrique H), la perte de poids du corps dans l'air est $\frac{p}{d}(1+Kt)\,a$, et son poids apparent est

$$[A] \qquad p - \frac{p}{d}(1+Kt)\,a \quad \text{ou} \quad p\left[1 - \frac{(1+Kt)\,a}{d}\right].$$

Or, si l'on représente par D le poids spécifique et par K′ le coefficient de dila-

tation cubique du métal dont les poids P et P′ sont formés, on trouve de même que le *poids apparent* du *poids marqué* est

$$[B] \qquad P\left[1-\frac{(1+K't)\,a}{D}\right].$$

Égalant les expressions [A] et [B], on a une première équation qui exprime l'égalité des deux poids apparents, et où entre l'*inconnue d* :

$$[1] \qquad p\left[1-\frac{(1+Kt)\,a}{d}\right]=P\left[1-\frac{(1+K't)\,a}{D}\right].$$

Passons à la deuxième pesée, celle qu'on effectue le corps étant plongé dans l'eau. On a vu ci-dessus que le volume du corps, et par suite celui de l'eau déplacée, est à t degrés $\frac{p}{d}(1+Kt)$. Or le poids apparent P′ représente ici la différence entre la poussée actuelle que l'eau exerce sur le corps et la poussée que l'air y exerçait précédemment. Cherchant dans la table de Despretz la densité e_t de l'eau à t degrés, le produit $\frac{p}{d}(1+Kt)\,e_t$ est le poids réel de l'eau déplacée, et par suite représente la poussée.

Nous avons vu d'ailleurs que la poussée de l'air était $\frac{p}{d}(1+Kt)\,a$. On a donc pour deuxième équation

$$[2] \qquad \frac{p}{d}(1+Kt)\,(e_t-a)=P'\left[1-\frac{(1+K't)\,a}{D}\right].$$

Divisant membre à membre l'équation [1] par l'équation [2] afin d'éliminer p, qui est inconnu, et supprimant le facteur commun $\left[1-\frac{(1+K't)\,a}{D}\right]$, il vient

$$\frac{d-(1+Kt)\,a}{(1+Kt)\,(e_t-a)}=\frac{P}{P'}, \qquad \text{d'où} \qquad d=(1+Kt)\left[a+\frac{P}{P'}(e_t-a)\right].$$

Cette équation, relativement simple, suppose implicitement que les conditions atmosphériques de température et de pression n'ont pas changé d'une expérience à l'autre.

Quant à a, on verra que, pour le déterminer rigoureusement, il faut tenir compte non seulement de la température et de la pression, mais de la vapeur d'eau contenue dans l'air.

Remarque. — Si, au lieu de la balance hydrostatique, on faisait usage du flacon, ou des aréomètres, la marche à suivre pour les corrections serait la même.

CHAPITRE IV

DILATATION DES GAZ.

647. **Expériences de Gay-Lussac.** — Nous avons vu précédemment que les gaz sont les plus dilatables de tous les corps. En même temps ce sont les corps dont la dilatation présente le plus

de régularité, et dont les divers *coefficients* présentent entre eux le moins de différences. On a même longtemps admis que tous les gaz se dilataient également pour une même variation de température. Cela résultait, ou semblait résulter, d'expériences entreprises, presque à la même époque, par Gay-Lussac en France et par Dalton en Angleterre.

Appareil de Gay-Lussac. — C'est un tube thermométrique AB (fig. 695), dont la tige a été divisée en parties d'égale capacité (611). En pesant successivement le mercure contenu dans la boule A, et celui que contient la tige, on déterminait le rapport de la capacité d'une division de la tige à la capacité du réservoir. Pour introduire de l'air sec dans le tube, Gay-Lussac le remplissait d'abord de mercure qu'il faisait bouillir pour chasser l'humidité.

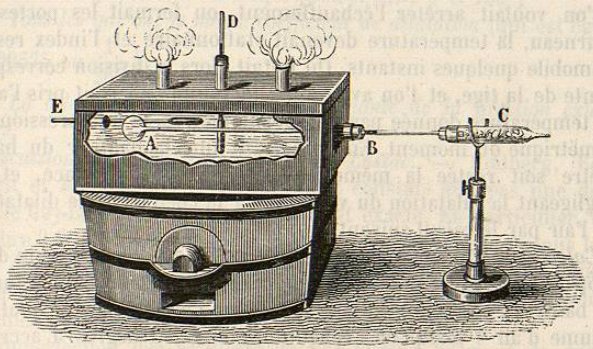

Fig. 695.

Il fixait ensuite l'extrémité de la tige, au moyen d'un bouchon, à un tube plus gros C, rempli de chlorure de calcium, substance très avide d'eau. Tenant le système des tubes AB et C dans une direction verticale, le tube C en bas, on introduisait dans celui-ci et dans la tige un fil fin de platine. En l'agitant légèrement, ce fil entraînait des gouttelettes de mercure, lesquelles étaient remplacées par des bulles d'air qui rentraient par le tube C après s'être desséchées sur le chlorure de calcium. La boule et la tige une fois remplies d'air sec, on retirait le fil de platine, en ayant soin de conserver dans la tige une petite colonne de mercure destinée à servir d'index.

Opération. — On plaçait alors le tube dans une caisse de fer-blanc (fig. 695), en faisant passer la tige dans un bouchon adapté à une tubulure latérale, et en conservant le tube à chlorure de calcium pour empêcher la rentrée de l'humidité. La caisse étant