d'une même couleur, ou plutôt de deux pénombres; — car la lumière du sodium s'efface en réalité dans l'appareil pour ne donner que deux pénombres dans le champ de l'oculaire — : ce qui permet à l'œil d'obtenir beaucoup plus exactement les moindres variations. C'est donc l'égalité de ces deux pénombres qui remplace la teinte de passage du saccharimètre de Soleil; et alors, de même que dans l'appareil de Biot (fig. 655), c'est l'angle de rotation qu'il faut imprimer à l'analyseur pour égaliser les deux pénombres qui fait connaître la richesse du liquide sucré.

602. **Analyse de l'urine des diabétiques.** — Dans la maladie connue sous le nom de *diabète sucré*, les urines sont chargées d'une forte quantité d'un sucre fermentescible qu'on nomme *sucre de diabète*. Ce sucre, à l'état naturel dans les urines, fait tourner le plan de polarisation à droite. Pour le doser dans les urines des diabétiques, on commence, si celles-ci ne sont pas assez limpides, par les clarifier par le sous-acétate de plomb; on filtre, on remplit le tube *m* de l'urine clarifiée, puis on tourne le bouton *b* jusqu'à ce qu'on obtienne, pour la plaque à deux rotations, la même teinte qu'avant l'interposition de l'urine. On sait d'ailleurs, par un essai préalable, que 100 parties de l'échelle du saccharimètre représentent le déplacement à donner aux quartz compensateurs lorsqu'il entre dans l'urine $225^{gr},6$ de sucre par litre; il en résulte que chaque division de l'échelle représente $2^{gr},256$ de sucre. Donc, pour obtenir la quantité de sucre contenue dans une urine donnée, il suffit de multiplier $2^{gr},256$ par le nombre qu'indique le vernier au moment où l'on retrouve la teinte primitive.

LIVRE VIII

CHALEUR

CHAPITRE PREMIER

EFFETS GÉNÉRAUX. — THERMOMÉTRIE.

603. **Définition et origine de la chaleur. — Théorie dynamique.** — La *chaleur* est, avant tout, la cause de nos sensations de *chaud* et de *froid;* mais cette cause a des effets plus variés et plus puissants, par lesquels on peut aussi la définir : c'est elle qui fait fondre les corps solides, tels que la glace, bouillir les liquides, tels que l'eau, qui fait dilater tous les corps, et qui rend le fer et les autres métaux incandescents.

De nombreuses hypothèses ont été émises sur l'origine et la cause de la chaleur; deux systèmes principaux, — les mêmes que pour la *lumière*, — ont été soutenus par les physiciens : le système de l'*émission* et celui des *ondulations*.

Dans le premier, on attribuait les phénomènes calorifiques à un fluide matériel, impondérable, incoercible, qu'on nommait *calorique*. D'après cette hypothèse, les atomes du calorique, étant dans un état constant de répulsion, seraient projetés dans toutes les directions et à toutes les distances, s'emmagasineraient en quantité variable dans les corps, et s'opposeraient au contact immédiat de leurs molécules. L'hypothèse de la matérialité de la chaleur fut adoptée par les savants les plus illustres, tels que Newton, Lavoisier, Laplace, Gay-Lussac. Elle est abandonnée aujourd'hui par tous les physiciens et remplacée par l'hypothèse des *ondulations*.

Les dernières molécules des corps sont animées d'un mouvement vibratoire de très faible amplitude, mais très rapide, *d'où résulte la chaleur;* ce mouvement est transmis à distance par l'intermédiaire d'un milieu infiniment élastique, l'*éther*, le même dont les phénomènes lumineux nous ont démontré l'existence. L'éther, répandu dans tout l'univers, et remplissant les espaces intermoléculaires, aussi bien que les espaces interplanétaires, est choqué par les molécules vibrantes des corps, et ce choc y fait naître des ondulations qui transmettent le mouvement et par suite la chaleur, de même que les ondes sonores de l'air propagent le son. En sorte que, dans la théorie des ondulations (ou *théorie dynamique*, ou *thermodynamique*), tous les phénomènes calorifiques sont ramenés à une cause unique, le *mouvement*, les corps les plus chauds étant ceux dont les molécules vibrent avec la plus grande vitesse et la plus grande amplitude, et les corps qui s'échauffent ou se refroidissent ne faisant que gagner ou perdre du mouvement.

La chaleur et la lumière seraient donc dues à une seule et même cause : les vibrations des molécules des corps, transmises par l'éther. Il n'y aurait entre les vibrations qui produisent la chaleur et celles que produisent la lumière qu'une différence dans leur vitesse : c'est la même différence qui existe, en acoustique, entre les vibrations qui produisent les sons graves et celles qui produisent les sons aigus.

Remarque. — Tout en adoptant la théorie dynamique, on a conservé le langage usité dans la théorie de l'émission, et l'on dit encore, d'un corps qui s'échauffe ou se refroidit, qu'il *gagne* ou *perd* de la chaleur; mais en réalité on doit entendre par là que ses molécules reçoivent ou cèdent du mouvement, et tous les phénomènes de la chaleur peuvent s'expliquer par une communication ou une transformation de mouvement[1].

604. **Travail interne et travail externe de la chaleur.** — D'après la théorie dynamique, les molécules des corps possèdent toujours une certaine quantité de force vive; quand celle-ci se communique à un autre corps, elle se partage en deux parties : l'une qui échauffe le corps en augmentant la vitesse et l'amplitude des vibrations moléculaires; l'autre qui disparaît en tant que chaleur sensible, et n'échauffe pas le corps, mais le *dilate*, c'est-à-dire écarte ses molécules. Celles-ci se déplaçant alors, et exerçant un effort capable de vaincre les forces qui les lient, il y a un véritable *travail* produit, dans le sens qu'on attache à ce mot en mécanique (48). Or ce travail se divise évidemment en travail *interne* et en travail *externe*.

Le travail interne est celui qui est consommé pour vaincre les forces moléculaires unissant les dernières particules des corps. Ce travail est très grand dans les solides, faible dans les liquides, et nul dans les gaz.

Le travail externe est celui qui est employé à surmonter les résistances extérieures qui s'exercent sur les corps. Par exemple, un corps ne peut se dilater qu'en repoussant la pression atmosphérique qui le comprime en tous sens.

En résumé, le mouvement calorifique communiqué à un corps se résout : 1° en échauffement, ou chaleur sensible au thermomètre : c'est de la chaleur communiquée; 2° en travail interne, ou écartement des molécules : c'est de la chaleur transformée, insensible au thermomètre; 3° en travail externe, ou action contre les résistances extérieures : c'est encore de la chaleur transformée.

La portion de chaleur qui produit l'échauffement persiste donc à l'état de force vive moléculaire. Quant à celle qui disparaît pour produire le travail tant interne qu'externe, elle n'est pas détruite, mais *transformée en travail*; car tout mouvement est indestructible, et ne peut que se modifier ou se communiquer d'un corps à un autre. Dans tous les cas, la chaleur ainsi transformée en travail est soumise à cette loi qu'on observe dans tous les phénomènes de thermodynamique : *à toute quantité de chaleur disparue correspond un certain travail produit;* et réciproquement, *à tout travail dépensé correspond un dégagement de chaleur déterminé.* On verra, en outre, qu'il y a toujours *un rapport constant entre les quantités de chaleur et de travail ainsi transformées l'une dans l'autre* : c'est ce qu'on appelle l'*équivalent mécanique de la chaleur.*

1. Après Mayer et Joule (qui définirent et déterminèrent l'*équivalent mécanique* de la chaleur), les savants qui, par leurs travaux, leurs écrits ou leur enseignement, ont le plus contribué à l'adoption de la théorie dynamique de la chaleur sont : Colding, à Copenhague : M. Clausius, à Zurich; Macquorn Rankine, à Glascow; W. Thompson, à Edimbourg; Tyndall, à Londres; M. Hirn, à Colmar; Dupré, à Rennes; Cazin, Regnault et Verdet à Paris. Le livre qui a le plus popularisé la théorie dynamique est : *La chaleur considérée comme un mode de mouvement*, de M. Tyndall

605. **Effets divers de la chaleur sur les corps.** — Non seulement, comme on l'a vu ci-dessus, le mouvement vibratoire qui constitue la chaleur échauffe de plus en plus les corps à mesure que sa vitesse augmente, mais il produit en outre les effets suivants : 1° les molécules se repoussent et le volume des corps augmente de plus en plus : ce qu'on exprime en disant qu'*ils se dilatent;* 2° le mouvement continuant à s'accélérer, les corps *changent d'état*, c'est-à-dire passent de l'état solide à l'état liquide, et de celui-ci à l'état aériforme; 3° enfin, la vitesse de vibration atteint une limite au delà de laquelle, l'équilibre moléculaire étant détruit, les corps composés sont *dissociés*, c'est-à-dire que leurs éléments n'obéissent plus à l'affinité chimique qui les liait, et il y a décomposition. Quand la vitesse du mouvement vibratoire décroît, des phénomènes inverses se produisent.

606. **Expériences de dilatation.** — Tous les corps se dilatent par l'effet de la chaleur. Les plus dilatables sont les gaz, puis viennent les liquides et enfin les solides. Dans ces derniers, on distingue la *dilatation linéaire*, qui a lieu suivant une seule dimension, et la *dilatation cubique*, qui porte sur le volume tout entier : d'ailleurs ces dilatations ne se produisent jamais l'une sans l'autre. Dans les liquides et dans les gaz, l'on n'a à considérer que des dilatations en volume.

1° *Dilatation des solides.* — La dilatation des solides étant trop faible pour être visible directement, on la rend apparente à l'aide des expériences suivantes.

Expérience du pyromètre à cadran. — Pour la dilatation li-

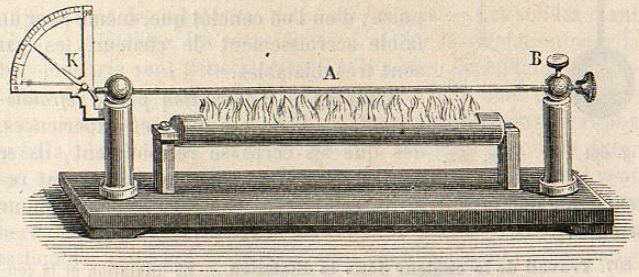

Fig. 660.

néaire, on prend une tige métallique A (fig. 660), qu'on fixe à l'une de ses extrémités par une vis de pression B, tandis qu'à l'autre elle reste libre et arrive au contact du plus petit bras d'un

levier K, mobile sur un cadran. Au-dessous de la tige est un réservoir dans lequel on brûle de l'alcool. L'aiguille K est d'abord au zéro du cadran; mais on la voit monter à mesure que la tige A s'échauffe, ce qui rend sensible la dilatation linéaire de la tige.

Anneau de 's Gravesande. — La dilatation cubique des solides peut se montrer au moyen de l'*anneau de s' Gravesande.* On nomme ainsi un petit anneau métallique dans lequel passe librement, à la température ordinaire, une boule de cuivre rouge, ayant à très peu près le même diamètre que lui. Lorsque cette boule a été chauffée à la flamme d'une lampe à alcool, elle ne peut plus passer à travers l'anneau, ce qui prouve l'accroissement de volume.

2° *Dilatation des liquides.* — Pour constater la dilatation des liquides, on soude à un petit ballon de verre un tube capillaire (fig. 661). Le ballon et une partie du tube étant remplis d'un liquide coloré, aussitôt qu'on l'échauffe, ce liquide s'élève dans le tube, de *a* en *b* par exemple : cette dilatation est toujours beaucoup plus grande que dans les solides.

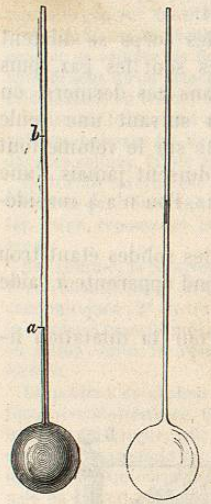

Fig. 661. Fig. 662.

3° *Dilatation des gaz.* — Le même appareil sert à montrer la dilatation des gaz. Pour cela, on remplit le ballon d'air, et l'on introduit dans le tube un index de mercure de 1 à 2 centimètres de longueur (fig. 662). Lorsqu'on échauffe le ballon, même en approchant la main, l'index est refoulé vers l'extrémité du tube, et finit par en être expulsé; d'où l'on conclut que, même pour un faible accroissement de chaleur, les gaz sont très dilatables.

Remarque. — *Contraction par le refroidissement.* — Dans ces diverses expériences, dès que les corps se refroidissent, ils se contractent, et lorsque la chaleur est revenue au même degré, ils reprennent exactement leur volume primitif.

607. **Travail de la chaleur dans la dilatation.** — La dilatation et la contraction sont des forces énormes, et il faudrait un effort mécanique d'une intensité extraordinaire pour augmenter ou réduire le volume des corps dans la même proportion. Les solides étant peu dilatables, l'élévation de température n'y produit qu'un très petit accroissement de volume : par suite, dans les conditions ordinaires de pression atmosphérique que supportent les corps, le travail externe des solides pendant la dilatation est lui-même très faible. Le contraire a lieu pour le travail interne, car, la force qui unit les molécules étant considérable, il en est de même de l'effort nécessaire pour les écarter; d'où il résulte que travail interne, *dans la dilatation des solides*, est toujours très grand par rapport au travail externe.

Dans les liquides et dans les gaz, on verra que c'est le contraire qui a lieu : le travail externe l'emporte sur le travail interne.

THERMOMÉTRIE.

608. **Température : définitions.** — On appelle *température* d'un corps son état calorifique actuel, caractérisé par la constance de son volume. Si ce volume vient à augmenter ou à diminuer, on dit que *la température du corps s'élève* ou *s'abaisse.*

Remarque. — Dans la théorie dynamique, la température est la représentation sensible de l'énergie de la force vive que possèdent les molécules, et c'est quand cette énergie croît ou décroît que la température s'élève ou s'abaisse

Thermométrie. — L'imperfection de nos sens ne nous permettant pas de mesurer la température des corps d'après les sensations plus ou moins vives de chaleur ou de froid qu'ils excitent en nous, on a dû recourir aux effets physiques que la chaleur produit sur les corps. Ces effets sont de plusieurs sortes. On a adopté les dilatations et les contractions, comme les plus simples à observer.

L'ensemble des méthodes et des procédés employées pour mesurer les températures constitue la *thermométrie.*

Thermomètres. — On appelle *thermomètres* les instruments qui servent à mesurer les températures[1].

609. **Choix des substances thermométriques.** — Les solides étant très peu dilatables, les corps dont on utilise la dilatation pour la thermométrie sont généralement les liquides. Cependant les physiciens font aussi usage de la dilatation des gaz dans un instrument, connu sous le nom de *thermomètre à air*, que nous décrirons après la dilatation des gaz (656). Pour le moment, il ne sera question que des thermomètres à liquides. Le mercure et l'alcool sont les liquides exclusivement employés. Le premier est le liquide thermométrique par excellence : d'abord, parce qu'il est de tous les liquides celui qui se dilate le plus régulièrement; puis, parce qu'il n'entre en ébullition qu'à une température très élevée; enfin, parce qu'il se met plus promptement que les autres liquides en équilibre de température avec les corps ambiants. Il doit

1. L'invention des thermomètres date de la fin du seizième siècle. Elle est attribuée par les uns à Galilée, par les autres à Drebbel, médecin hollandais, ou à Sanctorius, médecin vénitien.

cette dernière faculté à ce qu'il est un métal et que, par suite, 1° il est bien meilleur conducteur de la chaleur que tous les liquides, et 2° il exige moins de chaleur pour s'échauffer d'une quantité donnée. Quant à l'alcool, son usage est fondé sur ce que ce liquide ne se congèle pas par les plus grands froids *naturels* connus[1].

610. **Thermomètre à mercure : généralités.** — Le thermomètre à mercure est le plus répandu. Il se compose d'un tube capillaire, ou *tige*, de verre ou de cristal, soudé à un réservoir cylindrique ou sphérique de même matière. Le réservoir et une partie du tube sont remplis de mercure, et une échelle, graduée sur le tube même, ou sur une plaque de cuivre qui lui est parallèle, fait connaître la dilatation du liquide.

Outre *la soudure* de la tige au réservoir, laquelle se fait à la lampe d'émailleur, la construction d'un thermomètre comprend trois opérations : *la division du tube en parties d'égale capacité, l'introduction du mercure dans le réservoir,* et *la graduation.*

611. **Division du tube en parties d'égale capacité.** — Les indications du thermomètre n'étant exactes qu'autant que les divisions de la tige correspondent à des dilatations égales du mercure qui est dans le réservoir, il importe que la tige soit graduée en parties d'égale capacité. Si la tige était parfaitement *calibrée,* c'est-à-dire si elle était constituée par un tube bien cylindrique et d'un diamètre constant, il suffirait, pour obtenir des capacités égales, de diviser celui-ci en parties d'égale longueur. Mais les tubes de verre étant généralement mal calibrés, il en résulte que des capacités égales du tube sont représentées, sur l'échelle, par des longueurs inégales. Ce sont ces dernières qu'il s'agit de déterminer.

Pour cela, avant que le tube soit soudé au réservoir, on y introduit une colonne de mercure de 2 à 3 centimètres, qu'on a soin de maintenir à zéro, et qu'on fait avancer dans le tube progressivement sur toute sa longueur. Une règle divisée en millimètres, sur laquelle le tube est appliqué, permet d'évaluer, à un dixième de millimètre près, la longueur que la colonne de mercure occupe dans toutes ses positions. Si cette longueur demeure invariable, c'est que le tube est *bien calibré;* si elle croît ou décroît, cela montre que le diamètre intérieur est variable. Lorsqu'on observe ainsi des variations de longueur de plusieurs millimètres, on rejette le tube, et l'on en cherche un plus régulier. Mais si ces

1. Nous verrons plus loin que l'alcool a été récemment congelé, à l'aide de froids *artificiels*, par M. Wroblewski.

variations sont peu sensibles, on colle le long du tube une bande de papier, et l'on marque un trait au crayon en regard des points occupés successivement par les extrémités de la colonne.

Les divisions ainsi formées indiquent nécessairement des capacités égales, puisqu'elles correspondent à un même volume de mercure. Les intervalles de ces divisions étant assez rapprochés pour qu'on puisse regarder le diamètre du tube comme constant dans chacune d'elles, on passe à des divisions plus petites, en partageant les premières en un certain nombre de parties égales. Cette dernière opération s'effectue à l'aide d'une machine à diviser.

612. **Remplissage du thermomètre.** — Pour introduire le mercure dans le thermomètre, on soude, à l'extrémité supérieure de la tige, un entonnoir de verre C (fig. 663), qu'on emplit de mercure; puis, inclinant un peu le tube, on dilate l'air qui est dans le réservoir, en chauffant celui-ci avec une lampe à alcool, ou bien en le plaçant sur une grille inclinée, comme pour le baromètre (fig. 224), et l'entourant de charbons incandescents. L'air dilaté sort en partie par l'entonnoir C. Si on laisse alors refroidir le tube tout en le maintenant dans une position verticale, l'air qui reste se contracte, et la pression atmosphérique force le mercure à passer dans le réservoir D, quelque capillaire que soit le tube. Mais le mercure cesse de pénétrer dans le réservoir dès que l'air y a atteint, par suite de la diminution de volume, une pression capable de faire équilibre à la pression extérieure. On chauffe alors de nouveau et on laisse refroidir comme prédemment : il entre une nouvelle quantité de mercure, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il ne reste plus dans le réservoir D qu'un très petit volume d'air. Pour le chasser, il faut chauffer le mercure jusqu'à ce qu'il entre en ébullition. Les vapeurs mercurielles, en se dégageant, entraînent alors tout ce qui restait d'air et d'humidité dans le tube et dans le réservoir.

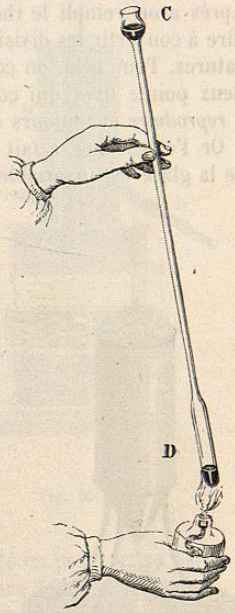

Fig. 663.

L'instrument étant ainsi rempli de mercure sec et pur, on

enlève l'entonnoir C, puis on ferme le tube à la lampe d'émailleur. On a soin de chauffer auparavant le réservoir D, de manière à chasser la moitié ou les deux tiers du mercure qui est dans le tube; sinon, ce liquide ne pourrait se dilater sans briser le thermomètre. La quantité de mercure à expulser est d'autant plus grande, que l'instrument est destiné à mesurer des températures plus élevées. On a soin, en outre, au moment où l'on ferme le tube, de chauffer le réservoir D de manière que le liquide dilaté atteigne le sommet du tube. De la sorte, il ne reste pas d'air dans le thermomètre, ce qui est nécessaire; car l'air comprimé, lorsque le mercure monte, pourrait faire éclater le tube.

613. **Graduation du thermomètre : points fixes de l'échelle.** — Après avoir rempli le thermomètre, il reste à le *graduer*, c'est-à-dire à convertir les divisions de la tige en une échelle des températures. Pour cela, on commencera par marquer, sur cette tige, deux points fixes qui correspondent à deux températures *faciles à reproduire* et toujours *identiques à elles-mêmes*.

Or l'expérience a fait connaître que la température de fusion de la glace est invariable quelle que soit la source de chaleur qui produise la fusion, et que l'eau distillée, sous une même pression et dans un vase de métal, entre en ébullition toujours à la même température. En conséquence, on a pris pour premier *point fixe* la température de la glace fondante et l'on en a fait *le zéro de l'échelle des températures;* on a pris pour second *point fixe* la température à laquelle l'eau distillée, chauffée dans un vase métallique, entre en ébullition sous la pression normale de $0^m,76$, et l'on en a fait *le degré* 100. La graduation du thermomètre comprend donc trois opérations : la détermination du zéro, celle du point 100, et le tracé de l'échelle.

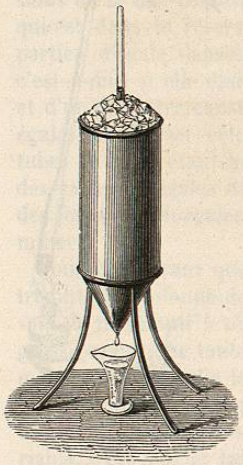

Fig. 664.

I. *Détermination du zéro.* — Pour trouver le zéro, on remplit de glace pilée un vase dont le fond est percé d'un trou pour laisser écouler l'eau provenant de la fusion de la glace (fig. 664). On plonge le réservoir du thermomètre et une partie de la tige dans cette glace, pendant un quart d'heure environ. La colonne de mercure s'abaisse graduellement, puis reste stationnaire. Alors, au point où s'arrête le mercure, on

marque un trait au crayon sur une bande de papier préalablement collée sur la tige : c'est la place du zéro.

Remarque. — Ce zéro est arbitraire. Le *zéro absolu* serait celui qui correspondrait à l'absence de toute chaleur dans les corps, c'est-à-dire au repos absolu des molécules vibrantes. On verra plus tard comment on peut l'évaluer théoriquement, et de combien il est au-dessous de la température de la glace fondante (660).

II. *Détermination du point* 100. — Le second point fixe se dé-

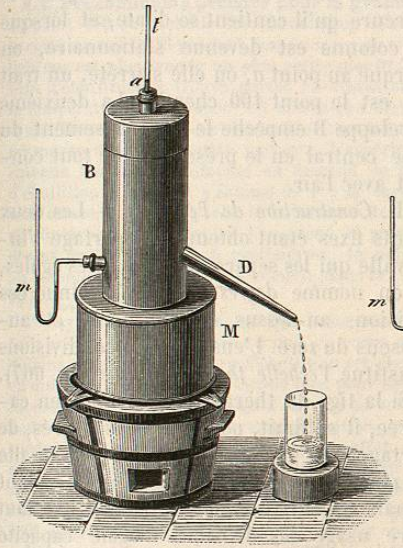

Fig. 665.

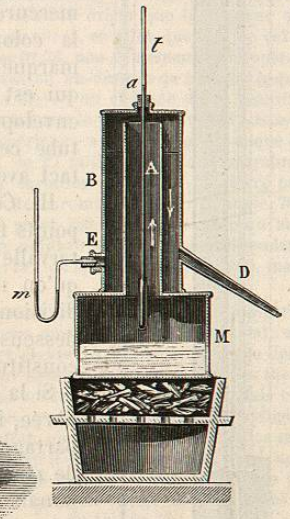

Fig. 666.

termine au moyen de l'appareil représenté en perspective par la figure 665 et en coupe verticale par la figure 666.

Tout l'appareil est en cuivre rouge. Un gros tube central A, ouvert à ses deux bouts (fig. 666), est fixé sur un vase cylindrique M, contenant de l'eau; une sorte de manchon B, concentrique au tube A, et l'entourant en entier, est fixé sur le même vase M. Cette seconde enveloppe, fermée à ses deux extrémités, est munie de trois tubulures *a*, E, D : dans la première est un bouchon au centre duquel passe la tige *t* du thermomètre dont on cherche le point 100; à la seconde est adapté un manomètre tronqué en verre, destiné à mesurer la tension de la vapeur dans l'appareil;

enfin, la troisième tubulure D permet à la vapeur de se dégager dans l'atmosphère après qu'elle a circulé autour du thermomètre.

L'appareil étant placé sur un fourneau est chauffé jusqu'à l'ébullition de l'eau : la vapeur produite s'élève dans le tube A et se rend entre les deux enveloppes, comme le montrent les flèches, jusqu'à la tubulure D, par où elle s'échappe dans l'atmosphère. Le thermomètre *t* se trouvant ainsi entouré par la vapeur, le mercure qu'il contient se dilate, et lorsque la colonne est devenue stationnaire, on marque au point *a*, où elle s'arrête, un trait qui est le point 100 cherché. La deuxième enveloppe B empêche le refroidissement du tube central en le préservant de tout contact avec l'air.

Fig. 667.

Fig. 668.

III. *Construction de l'échelle.* — Les deux points fixes étant obtenus, on partage l'intervalle qui les sépare en 100 parties égales, qu'on nomme *degrés*, et l'on continue ces divisions au-dessus du point 100 et au-dessous du zéro. L'ensemble de ces divisions constitue l'*échelle thermométrique* (fig. 667).

Si la tige du thermomètre était bien calibrée, il suffirait, pour avoir les degrés, de partager en 100 parties égales l'intervalle de zéro à 100; mais, cette condition n'étant jamais rigoureusement satisfaite, il faut faire usage des divisions d'égale capacité qui ont été tracées préalablement. Pour cela, on compte le nombre de ces divisions comprises entre les deux points fixes, et, divisant ce nombre par 100, on a le nombre de divisions et fraction de division qui équivaut à 1 degré; on en déduit ensuite, à partir du zéro, la position de chaque degré.

Dans les thermomètres de précision, l'échelle est tracée sur le verre même de la tige (fig. 668). Elle ne peut ainsi se déplacer, et sa longueur reste sensiblement constante, le verre étant très peu dilatable. Dans ce cas, pour obtenir sur le verre des traits permanents, on recouvre, à chaud, la tige thermométrique d'une légère couche de vernis ; puis, avec une pointe d'acier, on marque sur le vernis les traits de l'échelle et les chiffres correspondants.

On expose enfin la tige, pendant dix minutes, à des vapeurs d'acide fluorhydrique qui attaquent le verre et gravent les traits en creux partout où le vernis avait été enlevé.

Remarque. — Les degrés se désignent par un petit zéro placé à droite du nombre qui marque la température, et un peu au-dessus. Pour distinguer les températures au-dessous de zéro de celles au-dessus, on les fait précéder du signe — (*moins*) : 15 degrés au-dessous de zéro se représentent donc par — 15°.

614. **Précautions à prendre pour la graduation.** — 1° La détermination du point 100 de l'échelle thermométrique semble exiger que la hauteur du baromètre soit $0^m,76$ pendant l'expérience; on verra, en effet, que lorsque cette hauteur est plus grande ou plus petite que $0^m,76$, non seulement la température d'ébullition se trouve portée au-dessus ou au-dessous de 100°, mais que la température de la vapeur est elle-même élevée ou abaissée d'une quantité égale. Toutefois on peut obtenir, dans tous les cas, le point 100 avec exactitude au moyen de la correction suivante. L'expérience a fait voir que, lorsque la colonne barométrique monte ou descend de 27 millimètres, la température d'ébullition s'élève ou s'abaisse de 1° : la variation est donc $\frac{1}{27}$ de degré par millimètre. Par conséquent, si la hauteur du baromètre est, par exemple, 766 millimètres au moment où l'on prend le point 100, l'excès de pression au-dessus de 760 étant de 6 millimètres, le nombre de degrés correspondant au sommet de la colonne mercurielle dans le thermomètre n'est pas 100, mais $100 + \frac{1}{27} \times 6 = 100 + \frac{2}{9}$.

2° Gay-Lussac avait observé que l'eau entre en ébullition à une température un peu plus haute dans un vase de verre que dans un vase de métal, et, de plus, que la température d'ébullition est élevée par les sels que l'eau tient en dissolution ; aussi admettait-on que, pour déterminer le point 100 des thermomètres, il fallait faire usage d'un vase de métal et d'eau distillée. Mais ces deux précautions ont été rendues inutiles par la découverte du physicien suédois Rudberg. Ce savant a reconnu, en effet, que la nature du vase et les sels en dissolution influent bien sur la température d'ébullition de l'eau, mais *non sur celle de la vapeur qui se produit*. C'est-à-dire que, l'eau étant à plus de 100°, par l'une des causes ci-dessus, la vapeur qui s'en dégage est néanmoins à 100°, *pourvu que la pression atmosphérique soit égale à* $0^m,76$.

Dès lors, pour prendre le point 100, il n'est pas nécessaire de faire usage d'eau distillée, ni d'un vase de métal. Il suffit, la pression étant $0^m,76$ — sinon la correction se fait comme ci-dessus — que le thermomètre plonge tout entier dans la vapeur et non dans l'eau chaude. Du reste, même en faisant usage d'eau distillée, le réservoir du thermomètre ne doit pas plonger dans l'eau bouillante; car il n'y a que la surface de celle-ci qui soit réellement à 100° : la température de l'eau croît de tranche en tranche vers le fond, à cause de l'excès de pression.

615. **Différentes échelles thermométriques.** — On en distingue trois principales : l'*échelle centigrade*, l'*échelle de Réaumur* et l'*échelle de Fahrenheit*.

1° *Échelle centigrade.* — L'échelle centigrade est celle dont nous avons indiqué ci-dessus la construction; elle est généralement adoptée en France. Elle est due au physicien suédois Celsius.

2° *Échelle Réaumur.* — Dans une seconde échelle, proposée en 1731 par le physicien français Réaumur, les deux points fixes cor-

respondent encore à la température de la glace fondante et à celle de l'eau bouillante, mais leur intervalle est partagé en 80 degrés.

80° Réaumur équivalent donc à 100° centigrades : il en résulte que 1° R. est égal à $\frac{100}{80}$ ou $\frac{5}{4}$ de degré C. Réciproquement, 1° C. est égal à $\frac{80}{100}$ ou $\frac{4}{5}$ de degré R. Donc, pour convertir un nombre de degrés R. en degrés C., 20 degrés par exemple, il faut multiplier ce nombre par $\frac{5}{4}$. De même, pour convertir les degrés C. en degrés R., il faut les multiplier par $\frac{4}{5}$.

3° *Échelle Fahrenheit.* — Fahrenheit propagea, en 1714, une échelle dont l'usage s'est répandu depuis en Hollande, en Angleterre et dans l'Amérique du Nord. Le point fixe supérieur de cette échelle correspond encore à la température de l'eau bouillante; mais le zéro correspond au degré de froid qu'on obtient en mélangeant des poids égaux de sel ammoniac pilé et de neige : l'intervalle des deux points est divisé en 212 degrés. Le thermomètre F., dans la glace fondante, marque 32°; par conséquent, 100° C. équivalent, en degrés F., à 212 moins 32, ou 180°; 1° C. vaut donc $\frac{180}{100}$ ou $\frac{9}{5}$ de degré F., et, réciproquement, 1° F. égale $\frac{100}{180}$ ou $\frac{5}{9}$ de degré C.

4° *Conversion des échelles.* — Soit à convertir en degrés C. une température en degrés F., par exemple 95°. On doit d'abord retrancher 32 du nombre donné, afin de comparer les deux échelles à partir d'un même point. Le reste est ici 63; or, 1° F. valant $\frac{5}{9}$ de degré C., 63° F. égalent $\frac{5}{9} \times 63$ ou 35° C.

Formules de conversion. — En représentant par t_f la température donnée en degrés F., et par t_c la température correspondante en degrés C., on a la formule

$$[1] \qquad t_c = (t_f - 32)\frac{5}{9},$$

qui indique les calculs à effectuer pour opérer la conversion. De cette égalité on tire

$$[2] \qquad t_f = t_c \times \frac{9}{5} + 32,$$

formule qui sert à convertir les degrés C. en degrés F.

Remarque. — Ces formules sont générales et s'appliquent à toutes les températures supérieures ou inférieures aux zéros des échelles à comparer; seulement il faut tenir compte des signes de t_f et de t_c. Par exemple, soit proposé de trouver quelle est la température en degrés C. lorsque le thermomètre F. marque 5°.

On a par la formule [1]

$$t_c = (5 - 32)\frac{5}{9} = \frac{27 \times 5}{9} = -15°.$$

De même, le thermomètre C. marquant -15, la formule [2] donne

$$t_f = (-15) \times \frac{9}{5} + 32 = -27 + 32 = 5°.$$

S'il s'agissait de convertir des degrés F. en degrés R., on trouverait de la même manière l'équation de correction

$$[2] \qquad t_r = (t_f - 32)\frac{4}{9}.$$

616. **Déplacement du zéro.** — Les thermomètres construits même avec le plus grand soin sont soumis à une cause d'erreur dont il importe de tenir compte : avec le temps, le zéro tend à se relever, c'est-à-dire que, le thermomètre étant plongé dans la glace fondante, le mercure ne descend plus au zéro de l'échelle : le déplacement va quelquefois jusqu'à 2 degrés.

On a d'abord attribué ce phénomène à une diminution du volume du réservoir, laquelle résulterait de la pression extérieure, le vide étant fait dans le thermomètre; mais on a observé que dans les thermomètres qui contiennent de l'air, ou qui sont ouverts à l'extrémité de la tige, le zéro se déplace comme dans ceux qui sont vides. Aujourd'hui, on explique le *déplacement du zéro* par un travail moléculaire que subit le verre du réservoir lorsque, après avoir été porté à la température d'ébullition du mercure, il se refroidit rapidement. Il s'opère une espèce de trempe qui augmente le volume du réservoir, et c'est parce que celui-ci revient peu à peu à son volume primitif que le zéro se trouve relevé. Ce travail moléculaire est lent; car, d'après les expériences de Despretz, le zéro remonte pendant plusieurs années.

Remarques. — 1° Outre le déplacement lent dont on vient de parler, on observe des variations brusques dans la position du zéro toutes les fois que le thermomètre a été porté à une température élevée. En effet, si on le plonge alors dans la glace fondante, le mercure ne descend pas au zéro, et n'y revient qu'au bout d'un certain temps.

2° Il importe donc, lorsqu'il s'agit de mesurer une température avec précision, de vérifier d'abord la position du zéro dans le thermomètre dont on veut faire usage.