

fermée, on ait rempli le vase presque complètement d'eau, jusqu'à une hauteur d au-dessus de l'extrémité B du tube, de manière à ne laisser à la partie supérieure qu'une petite quantité d'air.

Considérons d'abord ce qui se passe au moment où l'on débouche l'orifice A. Si l'on représente par H la pression atmosphérique évaluée en colonne d'eau, on voit que, au point A, la pression extérieure est H ; la pression intérieure est représentée par la somme de la force élastique de l'air intérieur et de la pression du liquide au-dessus de A : cette somme est $H + d + b$. Dès lors, à ce moment, l'eau s'écoule par l'orifice, sous une pression représentée par une colonne d'eau de hauteur $d + b$. — Mais, dès que cet écoulement se produit, le volume de l'air enfermé dans le flacon augmente; par suite, sa force élastique diminue, et l'on voit le niveau de l'eau s'abaisser rapidement à l'intérieur du tube T, sous l'action de la pression atmosphérique qui s'exerce dans ce tube. Il arrive, très promptement, que le niveau du liquide

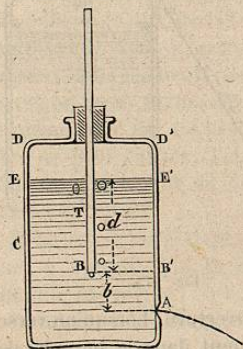


Fig. 175. — Vase de Mariotte.

dans le tube descend jusqu'à l'extrémité inférieure B, et alors l'air extérieur commence à pénétrer par cette extrémité, sous forme de bulles qui se rendent à la partie supérieure du flacon. — A partir de ce moment, la vitesse d'écoulement par l'orifice A devient constante. En effet, quel que soit l'abaissement progressif de la surface libre EE', la pression exercée sur les divers points du plan horizontal BB' reste toujours égale à la pression atmosphérique H , qui s'exerce directement en B; par suite la pression intérieure, au niveau de l'orifice A, est toujours représentée par $H + b$. En d'autres termes, la pression qui détermine l'écoulement est toujours représentée par une colonne d'eau de hauteur b .

Il en est ainsi tant que le niveau EE' de la surface libre dans le flacon n'est pas descendu au-dessous de l'extrémité B du tube; et en effet, si l'on observe la distance à laquelle arrive le jet sur un plan horizontal, on constate qu'elle reste constante. — C'est cette période de l'écoulement qu'on utilise dans les applications.

LIVRE DEUXIÈME

CHALEUR

CHAPITRE PREMIER

DILATATION

I. — DILATATION DES CORPS PAR LA CHALEUR.

196. **Accroissement de longueur des barres solides sous l'action de la chaleur.** — Tous les corps, sauf quelques rares exceptions, éprouvent, quand on les chauffe, un accroissement dans leurs diverses dimensions. C'est le phénomène désigné sous le nom général de *dilatation*. — Nous allons constater d'abord que les corps solides, pris sous la forme de barres, s'allongent quand on les chauffe.

Le *pyromètre à talon*, tel que le représente la figure 176, comprend deux barres métalliques dont la longueur est telle, que, à la température ordinaire, elles pénètrent exactement dans des encoches qui sont pratiquées dans des talons de métal T, T', fixés sur une planche MN. Lorsqu'on chauffe une de ces barres sur un fourneau, et qu'on la replace sur l'appareil, on constate que sa longueur est devenue trop grande pour qu'elle puisse pénétrer dans les encoches. — Elle y retombe d'elle-même, quand on la laisse refroidir jusqu'à la température ordinaire.

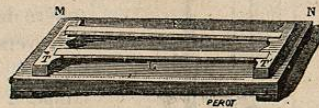


Fig. 176. — Pyromètre à talon.

Le *pyromètre à levier* (fig. 177) permet d'apprécier mieux encore les variations progressives de longueur qu'éprouve une tige, lorsqu'on fait varier sa température. — Une tige métallique AB traverse deux colonnes C et C'; elle est fixée en A au moyen d'une vis, passe librement dans

la colonne C' , et vient appuyer en B contre la petite branche d'un levier coudé BDE , mobile autour du point D . La grande branche DE de ce levier a la forme d'une aiguille, dont l'extrémité peut parcourir un cadran divisé FF' . — Quand on chauffe la tige, en enflammant de l'alcool placé dans le réservoir GG' , la tige s'allonge : comme son extrémité A est fixe, l'autre extrémité se déplace et pousse la branche DB du levier,

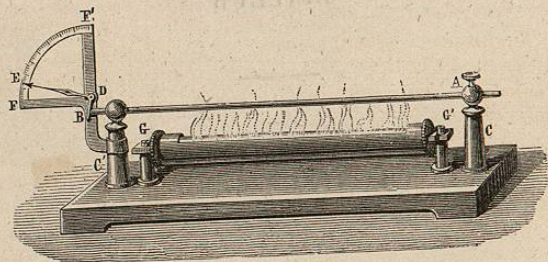


Fig. 177. — Pyromètre à levier.

en la faisant tourner autour du point D . Si DE est, par exemple, égal à dix fois DB , l'arc décrit par l'extrémité E a une longueur égale à dix fois celle de l'arc décrit par l'extrémité B de la petite branche, lequel se confond sensiblement avec le déplacement de l'extrémité de la tige. On voit donc que l'emploi du levier coudé permet d'amplifier la dilatation de la tige, et de la rendre ainsi facile à constater. — Si on laisse refroidir la tige, l'aiguille DE revient à sa position primitive.

197. Accroissement de volume des corps solides sous l'action de la chaleur. — L'anneau de *S'Gravesande* permet de constater l'augmentation de volume des corps solides qu'on chauffe. A froid, la sphère de cuivre S (fig. 178) passe exactement à travers l'anneau de cuivre C : lorsqu'on vient à chauffer la sphère à l'aide d'une lampe à alcool, sans chauffer l'anneau, on constate que la sphère ne traverse plus l'anneau, dans quelque sens qu'on la présente; elle a donc éprouvé un accroissement de volume. Quand on la laisse refroidir, ses dimensions redeviennent ce qu'elles étaient avant l'expérience. — Si l'on chauffe en même temps la sphère et l'anneau, on constate que les dimensions intérieures de l'anneau restent

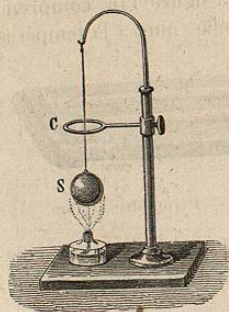


Fig. 178.
Anneau de *S'Gravesande*.

égales aux dimensions extérieures de la sphère. On peut encore donner à cette expérience une forme un peu diffé-

rente. — On introduit un anneau de cuivre C sur un tronc de cône du même métal A (fig. 179), qui présente, suivant l'une de ses génératrices, un certain nombre de traits de repère : on note le point a auquel arrive l'anneau, lorsque le tronc de cône et l'anneau sont à la température ordinaire. En retirant ensuite l'anneau, on peut faire les expériences suivantes : — Chauffer le tronc de cône seul; on constate que l'anneau ne peut plus pénétrer que jusqu'en un point tel que a' , plus éloigné de la grande base que a . — Chauffer l'anneau seul; on constate qu'il pénètre jusqu'en un point tel que a'' , plus voisin de la grande base que a . — Chauffer à la fois le tronc de cône et l'anneau, en les soumettant simultanément à l'action d'un même foyer de chaleur; on constate que l'anneau pénètre jusqu'au même point a qu'à la température ordinaire.



Fig. 179.

De ces diverses observations, on peut tirer les conclusions générales suivantes.

1° *Le volume des corps solides qu'on chauffe s'accroît dans tous les sens;*

2° *La capacité des espaces vides que ces corps présentent s'accroît d'une quantité égale à l'accroissement de volume d'un corps solide, de même nature, qui remplirait exactement cette capacité.*

Cette dernière remarque fait concevoir, par exemple, que la capacité intérieure d'un vase de verre doit augmenter, sous l'action de la chaleur, comme le volume d'une masse du même verre qui remplirait le vase. — C'est, en effet, ce que des expériences précises ont vérifié d'une manière rigoureuse.

198. Accroissement de volume des liquides sous l'action de la chaleur. — Pour constater l'accroissement de volume qu'éprouvent les corps liquides sous l'action de la chaleur, prenons un ballon de verre (fig. 180), surmonté d'un tube étroit, et contenant de l'eau colorée jusque vers le milieu du tube. Marquons ce niveau sur une feuille de papier fixée au tube, et plongeons le ballon dans l'eau chaude. — Nous voyons, au premier moment, le niveau du liquide s'abaisser un peu dans le tube : cela tient à l'échauffement du verre, qui augmente la capacité intérieure du ballon (197). Mais, au bout d'un instant très court, la chaleur se transmettant au liquide intérieur, nous voyons le niveau remonter et dépasser de beaucoup le point d'où il était parti. Cette observation montre que, sous l'influence d'une même élévation de température, le volume du liquide augmente plus que celui du verre.



Fig. 180.
Dilatation des liquides.

Dans la figure 180, AB représente la dilatation de l'enveloppe; BC est la dilatation réelle ou absolue du liquide; AC est la dilatation apparente. — On voit que la dilatation absolue d'un liquide est égale à la somme de la dilatation apparente et de la dilatation de l'enveloppe.

199. **Accroissement du volume ou de la force élastique des gaz sous l'action de la chaleur.** — Prenons enfin un ballon de verre B (fig. 181), soudé à un tube étroit recourbé horizontalement, et ne contenant que de l'air. Pour séparer cet air de l'air extérieur, introduisons dans le tube une petite colonne de

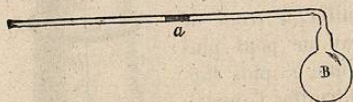


Fig. 181. — Dilatation des gaz.

liquide *a*. Il suffira d'échauffer légèrement le ballon, en y appliquant la main, pour voir la colonne liquide se mettre en mouvement vers l'extrémité du tube. — Les gaz sont donc encore plus dilatables par la chaleur que les liquides.



Fig. 182.
Accroissement
de force élastique
des gaz.

Remarquons maintenant que, dans cette expérience, la force élastique de l'air intérieur, qui presse sur la colonne liquide d'un côté, reste toujours égale à la pression de l'atmosphère, qui presse sur elle de l'autre côté. Au contraire, quand le volume d'un gaz qu'on échauffe est maintenu sensiblement constant, l'échauffement produit un accroissement de force élastique. — C'est ce qu'on peut constater par l'expérience suivante. Le ballon de verre B (fig. 182) contient de l'air : le tube recourbé et la petite boule dont il est muni contiennent du mercure. Quand on approche la main du ballon, on voit le liquide monter dans la branche ouverte du tube, jusqu'à un certain niveau D, au-dessus du niveau *cc'* dans la boule. Par cette disposition, le volume de l'air intérieur varie donc très peu, mais sa force élastique augmente, car elle arrive à faire équilibre, non seulement à la pression atmosphérique qui s'exerce en D, mais encore à la pression produite par la colonne de liquide *cD*.

II. — THERMOMÈTRE.

200. **Températures. — Thermomètres.** — Le sens du toucher permet, dans certains cas, de décider si un corps est plus chaud qu'un autre, ou si un même corps est, à un instant déterminé, plus chaud qu'à un autre instant. Mais les impressions de chaud ou de froid que nous percevons au contact dépendent, en général, de la disposition dans laquelle se trouvent nos organes : par suite, ces impressions nous

exposent à des erreurs. Enfin, il est des circonstances où l'on ne peut employer le toucher comme moyen d'investigation.

Les phénomènes de variations de volume fournissent, au contraire, un moyen de comparaison à la fois plus sûr et plus général. Nous désignerons sous le nom général de *thermomètres*, des instruments disposés de manière à permettre d'évaluer facilement les variations de volume qu'ils éprouvent sous l'action de la chaleur. — Selon qu'un thermomètre, mis en contact avec tel ou tel corps, prendra un volume plus ou moins grand, on dira que ce corps est à une température plus ou moins élevée. — L'emploi de ces instruments permettra en outre, comme on va le voir, d'établir des relations numériques entre les diverses températures, c'est-à-dire d'arriver à la mesure des températures elles-mêmes.

201. **Échelles thermométriques.** — Pour faire un thermomètre de l'appareil représenté par la figure 180, il suffirait de tracer, sur la tige cylindrique, des traits équidistants, et de les numéroter : 0, 1, 2, 3, 4... — Si tous les thermomètres étaient identiques et identiquement gradués, cette échelle thermométrique, choisie arbitrairement, suffirait pour évaluer numériquement les températures; tous les thermomètres seraient comparables entre eux, c'est-à-dire que, plongés dans un même bain, ils marqueraient tous une même température. — Mais l'identité de forme et de dimensions étant irréalisable, on doit se contenter de chercher à réaliser, autant que possible, l'identité de nature des corps qui servent à former l'instrument. Le liquide sera, par exemple, du mercure pur, et on emploiera, pour former les enveloppes, des verres aussi peu différents que possible les uns des autres.

Pour que les instruments ainsi construits soient comparables entre eux, on devra d'abord marquer sur la tige les niveaux correspondants à des températures déterminées, adoptées comme *points fixes*. Pour qu'un corps puisse servir à déterminer un des points fixes du thermomètre, il suffit qu'il soit à une température constante, c'est-à-dire qu'un thermomètre quelconque, non gradué, placé au contact de ce corps prenne toujours le même volume. — La glace fondante remplit cette condition : elle est toujours à la même température, quel que soit l'état de l'air ambiant. — La vapeur d'eau bouillante, sous une pression atmosphérique équivalente à 76 centimètres de mercure, est aussi à une température constante, invariable pendant toute la durée de l'ébullition. — En général, une fois qu'on aura fait choix de deux points fixes, on portera successivement le thermomètre (fig. 180) à ces deux températures, et on marquera sur la tige deux nombres *a, b*, aux deux points où se seront arrêtés les niveaux du liquide; on divisera l'intervalle en $b - a$ parties égales, et on prolongera les divisions au delà de la division *b*, et en deçà de la division *a*. — Il est bon de remarquer que, puisque l'on peut choisir arbitrairement les deux points

fixes et les nombres a et b , les degrés d'une échelle thermométrique quelconque ont une valeur essentiellement conventionnelle; cette valeur n'est liée à aucune autre unité.

Newton graduait ses thermomètres à mercure en marquant 0° dans la glace fondante, et 12° à la température du corps humain.

Dans l'échelle de Réaumur, longtemps usitée en France, encore employée en Suisse et dans certaines parties de l'Allemagne, le point correspondant à la glace fondante est marqué 0; le point correspondant à l'ébullition de l'eau est marqué 80.

L'échelle de Fahrenheit est fréquemment employée en Angleterre; le degré 32 correspond à la glace fondante; le degré 212 au point d'ébullition de l'eau sous la pression normale; l'intervalle est divisé en 180 degrés égaux.

L'échelle centigrade, usitée en France depuis le commencement du siècle, a été adoptée par tous les savants. Pour la construire, on marque le degré 0 au point où s'arrête le niveau du liquide dans la glace fondante; le degré 100 correspond au point d'ébullition de l'eau.

202. Correspondance des échelles thermométriques. — La température du corps humain étant à peu près 36° centigrades, un degré des thermomètres de Newton vaut à peu près 5° centigrades.

Il est facile aussi de convertir une indication du thermomètre Réaumur en indication du thermomètre centigrade. — En effet, 80 degrés de Réaumur valent 100 degrés centigrades; il en résulte que 1 degré Réaumur vaut $\frac{100}{80}$ ou $\frac{5}{4}$ de degré centigrade. Il suffit donc de multiplier par 10 le nombre de degrés marqué par le thermomètre Réaumur, et de diviser le produit par 8, pour avoir le nombre équivalent de degrés centigrades. En opérant ainsi, on trouve, par exemple, que 32° R. équivalent à 40° C. — Réciproquement, pour convertir un certain nombre de degrés centigrades en degrés Réaumur, on multipliera ce nombre par 8 et on divisera le produit par 10. Exemple : 14° C. = $11^\circ,2$ R.

On peut enfin se proposer de traduire en degrés centigrades une indication du thermomètre Fahrenheit, ou réciproquement. — On remarquera d'abord que l'intervalle entre la température de la glace fondante et celle de la vapeur d'eau bouillante comprend 180 degrés de Fahrenheit et 100 degrés centigrades, en sorte que 18 degrés de Fahrenheit valent 10 degrés centigrades. — Cela posé, soit F une température évaluée au moyen de l'échelle Fahrenheit, et C cette même température évaluée en degrés centigrades. L'intervalle entre cette température et la glace fondante comprend $F - 32$ degrés de Fahrenheit, et C degrés centigrades, on a donc la proportion :

$$\frac{F - 32}{C} = \frac{18}{10}$$

Si F est donné, cette équation fera connaître C , et réciproquement.

Il est aisé de voir que, si F est supérieur à 32, C est un nombre positif; si F est inférieur à 32, ou si F est négatif, C est un nombre négatif.

203. Thermomètres à liquides. — Le thermomètre le plus ordinairement employé (fig. 185) se compose d'un petit réservoir en verre, surmonté d'un tube plus ou moins capillaire, qu'on appelle la tige. — Le réservoir et la partie inférieure de la tige contiennent du mercure ou de l'alcool : d'après ce que nous avons vu (198), le liquide montera dans la tige, si la température s'élève; il descendra, si la température s'abaisse. — La graduation est marquée sur le tube lui-même, ou sur la planchette qui le supporte.

Nous allons indiquer la série des opérations à effectuer pour construire un thermomètre à mercure, et pour le graduer.

204. Construction du thermomètre à mercure. —



Fig. 185.

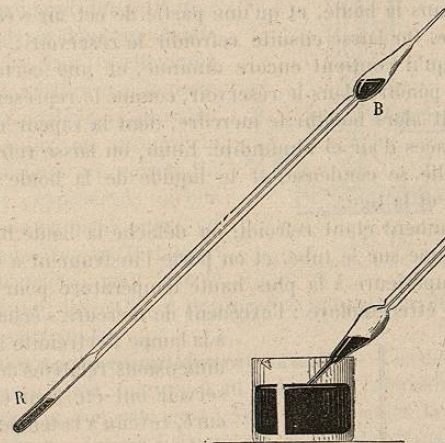


Fig. 184.

Fig. 185.

Construction du thermomètre à mercure.

Les ouvriers qui travaillent le verre fabriquent des enveloppes thermométriques, qu'il reste seulement à emplir et à graduer. Ces enveloppes ont été façonnées en choisissant, pour former la tige, un tube capillaire bien calibré, c'est-à-dire ayant une section intérieure bien uniforme (*).

Une boule de verre B (fig. 184), surmontée d'une pointe effilée, a

(*) On reconnaît qu'un tube satisfait à cette condition, en constatant qu'une petite colonne de mercure, introduite dans l'intérieur et promenée le long de ce tube, y présente toujours une longueur constante.

été soudée à l'une des extrémités de la tige; à l'autre extrémité, l'ouvrier a soufflé, aux dépens de l'épaisseur du tube, un réservoir R en forme d'olive. On laisse la pointe supérieure fermée, jusqu'au moment où l'on introduira le liquide, afin d'empêcher la poussière et l'humidité de pénétrer dans l'appareil.

Pour introduire le mercure, on brise l'extrémité de la pointe, et, après avoir chauffé légèrement le réservoir R et la boule B pour dilater l'air intérieur, on plonge dans le mercure la pointe renversée (fig. 185) : l'air intérieur se contracte par le refroidissement et laisse entrer dans la boule une certaine quantité de mercure. Quand on juge cette quantité suffisante pour emplir au moins le réservoir R et la tige, on redresse l'instrument. — A ce moment, le mercure pénètre un peu dans la tige, mais, comme la tige est capillaire, l'air intérieur empêche le liquide de descendre jusque dans le réservoir R. On chauffe alors le réservoir, de manière que l'air, en se dilatant, fasse remonter tout le liquide dans la boule, et qu'une partie de cet air s'échappe dans l'atmosphère. On laisse ensuite refroidir le réservoir : la force élastique de l'air qu'il contient encore diminue, et une certaine quantité de mercure pénètre dans le réservoir, comme le représente la figure 184. — On fait alors bouillir le mercure, dont la vapeur entraîne les dernières traces d'air et l'humidité. Enfin, on laisse refroidir : la vapeur mercurielle se condense, et le liquide de la boule vient remplir le réservoir et la tige.

L'instrument étant refroidi, on détache la boule B, en donnant un trait de lime sur le tube, et on porte l'instrument à une température un peu supérieure à la plus haute température pour laquelle il doit plus tard être employé : l'excédent de mercure s'échappe, et on ferme

à la lampe l'extrémité supérieure. Si les dimensions relatives de la tige et du réservoir ont été bien choisies, le mercure, revenu à la température ordinaire, doit rester encore dans la tige à une certaine distance du réservoir.

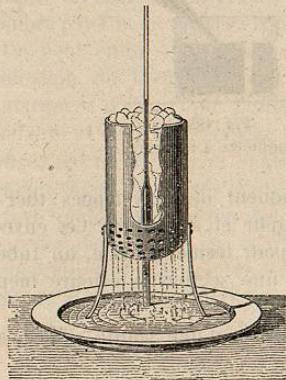


Fig. 186. — Détermination du zéro.

205. Détermination des points fixes. — Pour déterminer sur un thermomètre la position du degré zéro, on emplit de glace fondante un vase dont le fond est percé de trous (fig. 186), et l'on y enfonce l'instrument, de manière que la colonne liquide soit entièrement plongée dans la glace. De temps en temps, on soulève la tige pour observer le sommet de la colonne de mercure : quand il est devenu tout à fait stationnaire, on marque, avec un pin-

ceau ou avec un diamant, le point auquel il s'est arrêté. Ce sera le zéro du thermomètre.

Pour déterminer la position du second point fixe, on emploie généralement l'appareil qui est représenté en coupe par la figure 187. La vapeur se produit dans une petite chaudière E, placée sur un fourneau; elle s'élève dans la cheminée centrale M, redescend dans l'espace NN qui enveloppe le tube M, et s'échappe par l'ouverture C. Le thermomètre T est fixé dans la cheminée centrale par un bouchon A, son réservoir étant à une petite distance de la surface de l'eau bouillante. La vapeur qui circule autour de la tige est ainsi préservée de toute cause extérieure de refroidissement. Un petit manomètre à eau, adapté dans une tubulure B qui débouche dans la cheminée centrale, permet de vérifier que la pression intérieure est égale à la pression atmosphérique; enfin on mesure la pression atmosphérique au moyen du baromètre : nous supposons qu'elle soit de 760^{mm}. — De temps à autre, on soulève le thermomètre, en le faisant glisser dans son bouchon, pour voir le sommet de la colonne; lorsqu'il est devenu fixe, on marque sur la tige le point qui lui correspond.

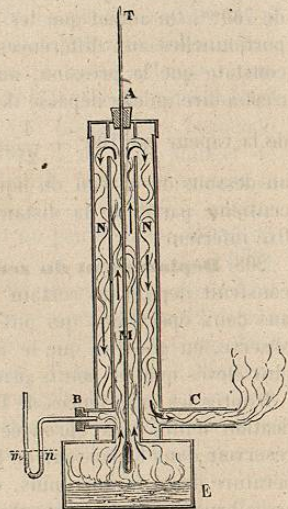


Fig. 187.
Détermination du point 100°.

206. Graduation du thermomètre centigrade. — Les deux points fixes étant déterminés, on marque 0 au point fixe inférieur, 100 au point fixe supérieur, et l'on partage en 100 parties égales la distance qui les sépare; chacune de ces divisions est un degré de l'instrument. On prolonge la division, s'il y a lieu, au-dessus du centième degré. Enfin, on marque encore, au-dessous du zéro, des divisions égales aux précédentes, et on les désigne par les chiffres 1, 2, 3, etc., qui forment ainsi une échelle descendante, pour les températures inférieures à celle de la fusion de la glace.

Dans les notations, on fait précéder du signe — les chiffres qui indiquent ces dernières températures, pour les distinguer des températures supérieures à 0°. Ainsi, —25° désigne une température de 25 degrés au-dessous de zéro, tandis que +25°, ou simplement 25°, désigne une température de 25 degrés au-dessus de zéro.

207. Correction due à la valeur de la pression atmosphérique, au moment de la détermination du 100° degré. — S'il arrive

que, au moment de la détermination du point fixe supérieur, la pression soit différente de 760^{mm}, on peut calculer la correction à faire subir à l'échelle, d'après cette observation due à Wollaston, que la température de la vapeur d'eau bouillante s'élève ou s'abaisse de 1 degré quand la pression augmente ou diminue de 27^{mm}, au voisinage de 760^{mm}. On admet que les petites différences de pression sont proportionnelles aux différences de température. — Si, par exemple, on constate que la pression, au moment de l'expérience, est de 769^{mm}, c'est-à-dire qu'elle dépasse de 9^{mm} la pression normale, la température de la vapeur est $100^{\circ} + \frac{1}{27} \times 9$, ou $100^{\circ} + \frac{1}{3}$. Le 100^e degré est alors au-dessous du niveau du liquide à une distance égale au tiers de la centième partie de la distance comprise entre ce niveau et le point fixe inférieur.

208. Déplacement du zéro. — Lorsqu'on reprend un thermomètre construit depuis un certain temps, et qu'on le soumet de nouveau aux deux opérations qui ont servi à déterminer les points fixes, on observe, en général, que le mercure s'arrête en des points un peu plus élevés que les points primitivement obtenus.

D'après les expériences de Despretz, ce résultat est dû à une modification lente, qu'a éprouvée le verre du réservoir. Pour souffler le réservoir dans l'épaisseur de la tige, on a dû porter le verre à la température de sa fusion; puis, comme le refroidissement a toujours été assez brusque, le verre a subi une véritable *trempe*, qui a fait conserver au réservoir une capacité supérieure à celle qu'il aurait dû prendre à la température ordinaire. Les élévations de température plus ou moins considérables qu'il subit ensuite, par l'usage, et qui sont généralement suivies d'un refroidissement lent, font éprouver au réservoir un *recuit*, et par suite une diminution de capacité, qui explique le phénomène observé (*).

Lorsqu'on veut employer un thermomètre à des recherches précises, on doit donc d'abord déterminer, en replongeant l'instrument dans la glace fondante, le nombre de divisions dont son zéro a pu s'être déplacé : on retranchera ce nombre de toutes les indications fournies ultérieurement par l'instrument.

209. Thermomètre à alcool. — Le mercure se solidifie à la température de -40° C.; le thermomètre à mercure ne peut donc pas servir à évaluer les températures très basses, celles qu'on rencontre, par exemple, dans les contrées polaires. On remplace alors le mercure par l'alcool. — Dans les thermomètres grossièrement construits, on

(*) Le déplacement des points fixes avait été attribué d'abord à un effet progressif de la pression atmosphérique, sur l'enveloppe vide d'air : Despretz, en opérant avec des thermomètres ouverts, pour lesquels la pression était la même à l'intérieur qu'à l'extérieur, a vu le déplacement se produire comme dans des thermomètres fermés.

emploie de l'alcool coloré en rouge par la teinture d'orseille; mais cette matière a l'inconvénient de s'altérer à la longue.

Le procédé d'emplissage est plus simple que pour le thermomètre mercure : il n'est plus nécessaire de souder une boule à la partie supérieure de la tige, comme dans la figure 184. — On chauffe simplement le réservoir, pour dilater l'air intérieur, et on plonge ensuite dans l'alcool l'extrémité ouverte de la tige; lorsque le refroidissement a fait monter un peu de liquide dans le thermomètre, on le redresse, et on chauffe de manière à faire bouillir l'alcool dans le réservoir et à chasser ainsi tout l'air. L'ébullition s'effectuant à une température beaucoup plus basse que pour le mercure (environ 78^o C.), on peut plonger de nouveau la tige dans l'alcool, et laisser le liquide froid arriver dans le réservoir, sans craindre la rupture du verre (*). — On ferme ensuite à la lampe l'extrémité de la tige, en laissant un peu d'air au-dessus du liquide.

En général, on ne prolonge pas l'échelle jusqu'à la température d'ébullition de l'eau, car, à cette température (supérieure de 22 degrés à celle où l'alcool entre en ébullition), l'alcool émet des vapeurs dont la force élastique pourrait briser l'enveloppe. Pour graduer l'instrument, après avoir déterminé le zéro par le procédé ordinaire, on détermine un second point de l'échelle, en plongeant le thermomètre dans un bain plus ou moins tiède, dont la température est donnée exactement par un thermomètre à mercure.

210. De la sensibilité dans les thermomètres. — Dans les thermomètres, on distingue deux sortes de sensibilité, qui correspondent à des conditions de construction bien distinctes.

La première est la propriété de se mettre *rapidement* en équilibre de température avec les corps environnants : elle est d'autant plus grande que les dimensions *absolues* du réservoir sont moindres.

La seconde est la propriété d'apprécier, avec exactitude, de *petites variations* de température. A ce point de vue, un thermomètre est d'autant plus sensible, que le degré occupe sur la tige une plus grande longueur, et peut se subdiviser en un plus grand nombre de parties perceptibles. Cette condition exige, contrairement à la précédente, que l'on augmente, autant que possible, la capacité du réservoir, tout en diminuant le diamètre de la tige.

Suivant les usages auxquels l'instrument est destiné, on cherche à lui donner l'une ou l'autre de ces espèces de sensibilité.

(*) En procédant ainsi, on observe que l'alcool s'élève dans l'instrument renversé, de manière à remplir la capacité de la tige et du réservoir; il reste cependant toujours, dans le réservoir, une petite bulle de gaz, provenant de l'air qui était dissous dans l'alcool et qui s'en est dégagé. Pour chasser cette bulle, on redresse l'instrument, on l'attache à l'extrémité d'une ficelle, et on le fait tourner comme une fronde : ce mouvement, chassant l'alcool vers les points les plus éloignés du centre de rotation, force la bulle d'air à se dégager par la surface libre du liquide.

211. Choix de la substance thermométrique. — Thermomètre normal. — Nous avons pris jusqu'ici, comme substance thermométrique, un *liquide*, mercure ou alcool, enfermé dans une enveloppe de verre. — On pourrait aussi construire des thermomètres *solides*, présentant une disposition semblable à celle de la figure 177; les points 0 et 100 seraient marqués sur le cadran, devant les positions occupées par l'aiguille, lorsque la barre thermométrique serait placée dans la glace fondante ou dans la vapeur d'eau à l'ébullition; mais il serait difficile de donner à de pareils thermomètres une sensibilité suffisante. — Au contraire, un thermomètre à *gaz*, disposé comme l'appareil de la figure 181, présenterait une très grande sensibilité.

Tous ces thermomètres, solides, liquides ou gazeux, seraient évidemment d'accord aux températures des deux points fixes; mais il n'est pas certain qu'ils dussent fournir toujours les mêmes indications numériques, quand ils seraient plongés dans un milieu à une température quelconque. Il est donc nécessaire de choisir l'un de ces appareils, qui prendra le nom de *thermomètre normal*, et qui seul définira exactement les températures. — Le choix de la substance thermométrique repose sur les principes suivants :

1° Le thermomètre normal doit être toujours *comparable à lui-même*, aux différentes époques; c'est-à-dire que, dans un milieu à température invariable, il doit toujours, à quelque époque que ce soit, marquer le même degré;

2° Les divers instruments doivent être *comparables entre eux*; c'est-à-dire qu'ils doivent marquer simultanément la même température, quand ils sont placés dans un même milieu.

La plupart des corps solides, et les métaux en particulier, lorsqu'ils sont soumis à des alternatives de dilatation et de contraction, éprouvent, dans leur structure, des changements qui modifient leur dilatabilité; dès lors un thermomètre formé d'une barre métallique pourrait, à des époques diverses, ne pas rester comparable à lui-même.

Un liquide, lorsqu'il est pur, est toujours identique à lui-même; il ne présente point les variations d'état moléculaire que présentent les corps solides; mais le liquide est nécessairement contenu dans une enveloppe solide, et comme on n'observe que des variations apparentes du volume, variations qui dépendent de la dilatation de l'enveloppe (198), les indications fournies par un thermomètre à liquide pourraient varier d'un instrument à un autre, et, pour un même instrument, d'une époque à une autre. Dès lors, le thermomètre normal ne peut être pris parmi les thermomètres à liquides (*).

(*) Le phénomène du déplacement du zéro (208) prouve qu'un même thermomètre à mercure ne reste pas comparable à lui-même aux différentes époques. — D'autre part, deux thermomètres à mercure, construits, l'un avec du verre ordinaire, l'autre avec du cristal, et récemment gradués, sont sensiblement d'accord

Le thermomètre *normal* sera donc un thermomètre à gaz.

Un gaz étant toujours enfermé dans une enveloppe, on pourrait craindre que l'inconvénient signalé pour les liquides ne se présentât encore. Mais, en raison de la grande dilatabilité des gaz, les irrégularités de la dilatation de l'enveloppe sont négligeables par rapport à la dilatation observée; l'expérience prouve que deux thermomètres à gaz sont toujours comparables entre eux, quelle que soit la nature du verre qui forme leur enveloppe.

On a choisi l'*air sec*, plutôt qu'un autre gaz, parce qu'on peut facilement se le procurer toujours identique à lui-même.

212. Thermomètre à air. — Degré de température. — On peut donner au thermomètre à air deux dispositions différentes; les figures 181 et 182 suffisent pour en faire comprendre le principe.

Dans la première disposition, si l'on suppose que la pression atmosphérique reste constante, on évalue la température par la *variation de volume* de l'air, sous pression constante. Mais alors, plus la température s'élève, plus grande est la masse d'air qui sort du réservoir pour passer dans la tige; si, comme il arrive le plus souvent, la tige est placée en dehors du milieu dont on veut évaluer la température, il en résulte une cause d'erreur qui va en croissant avec la température.

Pour cette raison, on préfère donner au thermomètre à air une disposition semblable à celle de la figure 182, et sur laquelle nous reviendrons plus loin, avec plus de détails. On fait en sorte que le volume occupé par l'air reste toujours le même : à mesure que la température s'élève, on ajoute du mercure dans la branche CD; la température est alors évaluée par la *variation de force élastique* de l'air, sous volume constant. — Lorsque la masse d'air est dans la glace fondante, elle occupe le volume du thermomètre; sa force élastique est 76 centimètres. Dans la vapeur d'eau à l'ébullition, sous le même volume, la force élastique augmente de 27^{cent},854, c'est-à-dire de 0,3665 de sa valeur initiale.

Nous appellerons *degré de température* la variation de température qui produit, sur une masse d'air assujettie à conserver un volume constant, une variation de force élastique égale à la centième partie de celle qu'elle éprouve entre la température de la glace fondante et celle de la vapeur d'eau bouillante; la force élastique de cette masse d'air, dans la glace fondante, étant 76 centimètres.

213. Emploi du thermomètre à mercure, préalablement comparé au thermomètre normal. — L'évaluation d'une température au moyen d'un thermomètre à air constitue une véritable expé-

entre 0° et 100°; mais à des températures élevées, à 250°, par exemple, l'écart de leurs indications peut atteindre 5°. — Le défaut de comparabilité est encore bien plus accentué dans les thermomètres à alcool.

rience, et exige un opérateur exercé. Pour la pratique, il y a avantage à employer des thermomètres à *liquides*, qui donnent des indications immédiates par une simple lecture.

Parmi les liquides, on a choisi le *mercure*, pour de nombreuses raisons : 1° le mercure peut être obtenu dans un état de pureté parfaite, condition indispensable pour que les liquides de tous les instruments soient toujours identiques entre eux ; 2° le point de congélation du mercure (-40°) est très éloigné de son point d'ébullition ($+360^\circ$), et la plupart des températures usuelles sont comprises dans l'intervalle de ces deux points ; 3° le mercure se met rapidement en équilibre de température avec les corps environnants.

Quand on tient compte du déplacement du zéro (208), un thermomètre à mercure, soigneusement gradué, reste d'accord avec le thermomètre à air entre 0° et 100° ; il indique donc exactement les températures comprises entre ces limites. Il n'en est plus de même aux températures supérieures à 100° . Ainsi quand le thermomètre normal, plongé dans un bain, marque 500° , tel thermomètre à mercure marquera 298° , tel autre marquera 502° . Dès lors si l'on veut faire usage d'un thermomètre à mercure pour déterminer avec précision des températures notablement supérieures à 100° , on devra préalablement le comparer au thermomètre normal, et dresser une table indiquant les températures exactes qui correspondent aux indications de l'instrument.

CHAPITRE II

MESURE DES DILATATIONS

I. — DILATATIONS DES CORPS SOLIDES.

214. **Coefficients de dilatation linéaire.** — L'expérience montre que, si l'on fait subir à une même barre métallique des variations de température peu considérables, et comprises par exemple entre 0° et 150° , elle éprouve des variations de longueur sensiblement *proportionnelles* à ces variations de température.

On appelle *coefficient de dilatation linéaire* d'une barre solide, le nombre qui exprime l'allongement éprouvé par l'unité de longueur de cette barre, lorsque sa température s'élève d'un degré.

215. **Formules relatives aux dilatations linéaires.** — Connaissant la longueur L_0 d'une barre à 0° , et son coefficient de dilatation linéaire l , proposons-nous de calculer la longueur L de cette barre à t degrés. — Puisque l'unité de longueur de la barre s'allonge de l en passant de 0° à 1° , elle s'allonge de lt en passant de 0° à t degrés ; par suite, la longueur L_0 , pour cette même variation de température, s'allonge de la quantité L_0lt . La longueur totale de la barre devient donc $L_0 + L_0lt$, c'est-à-dire que l'on a

$$(1) \quad L = L_0(1 + lt).$$

La quantité $1 + lt$ a reçu le nom de *binôme de dilatation*.

Inversement, si l'on connaît la longueur L d'une barre à t degrés, et son coefficient de dilatation linéaire l , pour calculer la longueur L_0 de cette barre à 0° , on aura

$$(2) \quad L_0 = \frac{L}{1 + lt}.$$

Enfin, connaissant la longueur L à t degrés, il est facile d'en déduire la longueur L' à t' degrés. — En effet, si l'on prend pour inconnue