

pareil précédent. Pour mettre l'appareil en expérience, on commence par remplir d'eau la boule A, en renversant l'appareil; on le redresse ensuite, de manière à introduire la colonne d'eau DaB, qui comprime l'air resté en cdA.

198. **Machine de Schemnitz.** — La machine célèbre qui a été construite à Schemnitz, en Hongrie, pour épuiser l'eau qui envahit les galeries de la mine, est une application directe de la fontaine de Héron. — La correspondance des lettres de la figure 180 avec celles des deux figures précédentes permet d'en saisir immédiatement l'action.

On fait arriver d'abord, en ouvrant le robinet R, l'eau de la galerie G dans un réservoir complètement clos A, placé au fond du puits de mine : pendant ce temps, le robinet S est ouvert, de manière à livrer passage à l'air qui est chassé du réservoir A par un tube cd; lorsque le réservoir A est plein d'eau, on ferme ces deux robinets R et S. On ouvre alors le robinet T, de manière à établir la communication entre le réservoir B, situé au niveau du sol, et un bassin D, qui est situé à une hauteur supérieure à la profondeur de la mine, et qui est alimenté par une source. La pression acquise par l'air dans le réservoir B, se transmettant au réservoir A par le tube cd, suffit pour élever l'eau de A jusqu'à la surface du sol, au moment où l'on ouvre le robinet U : cette eau s'écoule par l'orifice s, dans une canalisation ménagée pour la recevoir. — Lorsque toute l'eau du réservoir A a été ainsi élevée, on ferme les robinets T et U, on ouvre R et S, et on ouvre également le robinet V, qui sert à laisser échapper l'eau du réservoir B dans une autre canalisation; on peut alors recommencer une nouvelle opération.

Le *travail* correspondant à l'ascension d'un volume déterminé d'eau, à une hauteur égale à la profondeur de la mine, est ici produit par la dépense du travail correspondant à la descente d'un volume d'eau égal, tombant d'une hauteur plus grande. — La condition essentielle, pour qu'une pareille machine puisse fonctionner, c'est qu'on puisse disposer d'une source ayant, au-dessus du sol, une hauteur *supérieure* à la profondeur de la mine.

LIVRE DEUXIÈME

CHALEUR

CHAPITRE PREMIER

DILATATION

I. — DILATATION DES CORPS PAR LA CHALEUR.

199. **Accroissement de longueur des barres solides, sous l'action de la chaleur.** — Tous les corps, sauf quelques exceptions très rares, 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 181, 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.

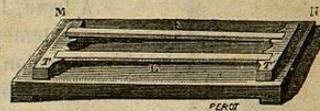


Fig. 181. — Pyromètre à talon.

Le *pyromètre à levier* (fig. 182) 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 co-

lonnes 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

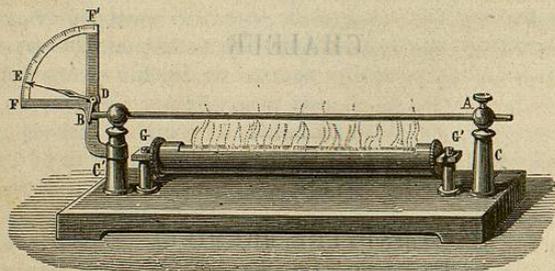


Fig. 182. — Pyromètre à levier.

A est fixe, l'autre extrémité se déplace et pousse la branche DB du 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.

200. 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.

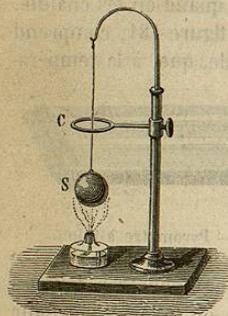


Fig. 183.
Anneau de S'Gravesande.

A froid, la sphère de cuivre S (fig. 183) 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 égales aux dimensions extérieures de la sphère.

On peut encore donner à cette expérience une forme un peu différente. — On introduit un anneau de cuivre C sur un tronc de cône du même métal A (fig. 184), 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.

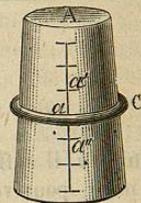


Fig. 184.

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.

201. 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. 185), 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 (200). — 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. — La même remarque est applicable à tous les liquides.



Fig. 185.
Dilatation des liquides.

202. **Accroissement du volume ou de la force élastique des gaz, sous l'action de la chaleur.**

— Prenons enfin un ballon de verre C (fig. 186), 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 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.

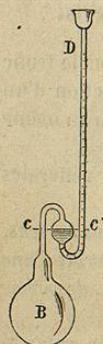


Fig. 186. — Dilatation des gaz.

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. 187) contient de l'air : le tube recourbé et la petite boule dont il est muni contiennent de l'eau colorée. Quand on approche la main du ballon, on voit le liquide monter dans la branche ouverte du tube, jusqu'à un certain niveau D, beaucoup 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 c'D.

Fig. 187.
Accroissement
de force élastique
des gaz.

II. — THERMOMÈTRE.

203. **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 dont il est facile de comprendre la généralité.

— Prenons deux corps différents, et mettons-les en présence, soit au contact, soit à une petite distance. S'il arrive que l'on voie l'un des deux corps augmenter de volume, comme sous l'action d'une source de chaleur, on verra en même temps l'autre corps diminuer de volume, comme sous l'influence d'une cause de refroidissement. On dira alors que les deux corps avaient, au moment où on les a mis en présence, des *températures différentes*, et que le second était à une *température plus élevée* que le premier. — Si les deux corps n'éprouvent, ni l'un ni l'autre, aucune variation de volume, on dira qu'ils sont à des *températures égales*.

Au lieu de mettre directement en contact les corps dont on veut comparer les températures, on se sert généralement d'instruments que l'on désigne sous le nom de *thermomètres*, et qui sont destinés à constater, par les variations de volume qu'ils éprouvent en présence des différents corps, les inégalités ou l'égalité des températures de ces corps. — L'emploi de ces instruments permet, en outre, d'établir des relations *numériques* entre les diverses températures, c'est-à-dire d'arriver à une mesure des températures elles-mêmes.

204. **Thermomètres à liquides.** — Le thermomètre le plus ordinairement employé (fig. 188) 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 (201), le liquide montera dans la tige, si la température s'élève ; il descendra, si la température s'abaisse. — Une graduation, marquée sur le tube lui-même, ou sur la planchette qui le supporte, permet de préciser la position du sommet de la colonne liquide, à chaque observation.

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

205. **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. 189), surmontée d'une pointe effilée, a été soudée à l'une des extrémités de la tige ; à l'autre extrémité, l'ouverture



Fig. 188.

(*) 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.

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.

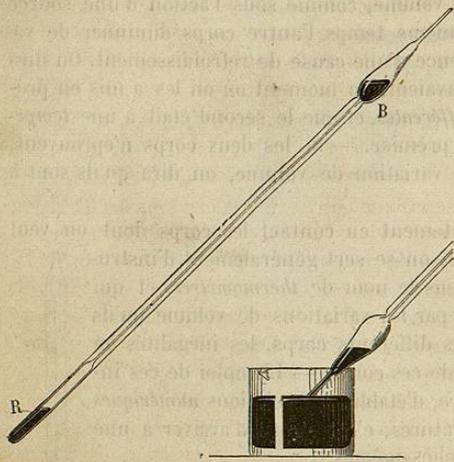


Fig. 189.

Construction du thermomètre à mercure.

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. 190) : 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 189. — 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.

206. Détermination des points fixes. — Pour que les divers instruments donnent des indications concordantes, on doit marquer

Fig. 190. Construction du thermomètre à mercure. The diagram shows the same glass tube as in Fig. 189, but now the bulb 'B' is inverted and submerged in a reservoir of mercury. The tube is held by tweezers.

Fig. 190.

d'abord sur la tige les niveaux qui correspondent à deux températures déterminées, adoptées comme *points fixes*. — La fixité des deux températures adoptées par les physiciens repose sur les principes suivants :

1° La température de la *glace fondante* est toujours la même, quel que soit l'état de l'air environnant ; elle demeure invariable pendant toute la durée de la fusion. — Pour le vérifier, il suffit de plonger un thermomètre, gradué ou non, dans une masse de glace fondante. Le sommet de la colonne liquide arrive en un point de la tige qui est toujours le même ; il y demeure fixe, pendant tout le temps que dure la fusion.

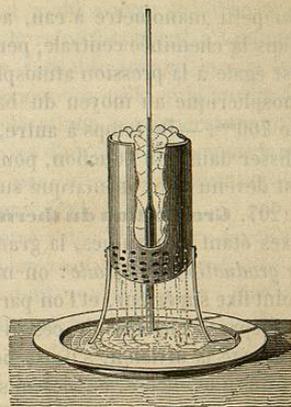


Fig. 191. — Détermination du zéro.

Pour déterminer, sur un thermomètre, la position de ce point fixe, on emplit de glace fondante un vase dont le fond est percé de trous (fig. 191), 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 pinceau ou avec un diamant, le point auquel il s'est arrêté. — Ce sera le *zéro* du thermomètre.

2° La température de la *vapeur d'eau bouillante* est toujours la même, pourvu que l'expérience soit faite sous la même pression : elle est invariable pendant toute la durée de l'ébullition. La vérification expérimentale de ce principe est semblable à la précédente.

Pour déterminer, sur un thermomètre, la position de ce second point fixe, on emploie généralement l'appareil qui est représenté en coupe par la figure 192. 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

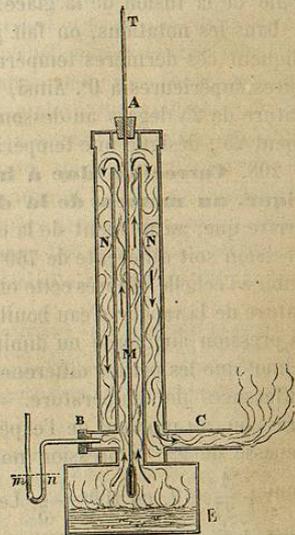


Fig. 192. — Détermination du point 100°.

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.

207. Graduation du thermomètre centigrade. — Les deux points fixes étant déterminés, la graduation le plus généralement adoptée est la *graduation centigrade* : 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, par exemple, — 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.

208. 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° 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.

209. 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 qu'il subit ensuite, par l'usage, et qui sont 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.

210. Échelles de Réaumur et de Fahrenheit. — L'échelle de Réaumur, dont on a fait longtemps usage en France, et qui est encore employée en Suisse et dans certaines parties de l'Allemagne, diffère de l'échelle centigrade, en ce que le point correspondant à l'ébullition de l'eau est marqué 80° ; l'intervalle entre ce point et le zéro est divisé en 80 parties égales. — La figure 195 montre le parallélisme des deux échelles (**).

L'échelle de Fahrenheit, construite d'après des idées théoriques aujourd'hui abandonnées, est fréquemment employée encore en Angleterre. Pour la construire, il suffit de marquer 32 degrés à la glace fondante, et 212 degrés à la vapeur d'eau bouillante. On partage l'intervalle en 212—32, ou 180 parties égales, et l'on continue à marquer, au-dessous de la glace fondante, 32 divisions égales aux précédentes, ce qui détermine le zéro de cette échelle. — La figure 194 montre la correspondance entre l'échelle de Fahrenheit et l'échelle centigrade (***) .

(*) 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 les thermomètres fermés.

(**) Il est facile 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 : 44° C. = 11° 2 R.

(***) On peut 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 fon-

211. **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 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 à mercure : il n'est plus nécessaire de souder une boule à la partie supérieure de la tige, comme dans la figure 189. — On chauffe simplement le réservoir, pour dilater l'air intérieur, et on plonge ensuite

dante et celle de la vapeur d'eau bouillante comprend 180 degrés de Fahrenheit et

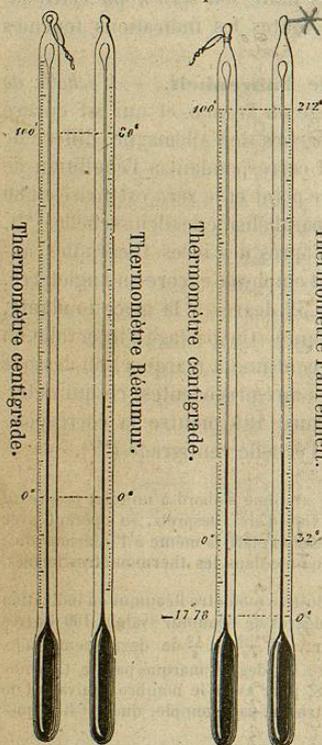


Fig. 193.

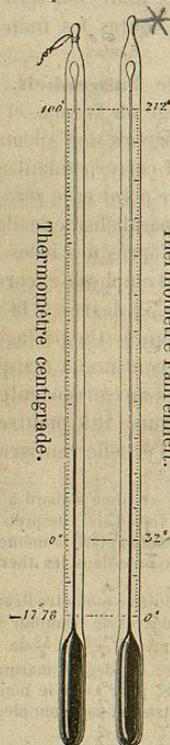


Fig. 194.

comptés à partir de la glace fondante, on remarquera que l'intervalle entre ce point et la température donnée vaut, en degrés de Fahrenheit, $25 \times \frac{18}{10}$ ou 45,4; comme l'échelle de Fahrenheit marque 32° à la glace fondante, la température proposée correspond à celle de $41,4 + 32$ ou de $73,4$ F.

Se marca el 0 en el Fahrenheit en una m...
da de hielo y sal amoniac en la cual...
ca. centígrados 17,8

100 degrés centigrades, en sorte que 1 degré de Fahrenheit vaut $\frac{100}{180}$ ou $\frac{10}{18}$ de degré centigrade. — Cela posé, quelle que soit la question à résoudre, il suffira toujours de considérer d'abord l'intervalle compris entre la glace fondante et la température donnée, de l'évaluer en degrés de la nouvelle échelle, et de compter ensuite ces degrés à partir de leur zéro.

Soit, par exemple, une température marquée 95° F., à évaluer au moyen de l'échelle centigrade. L'intervalle entre la glace fondante et cette température est de $95 - 32$, ou 63 degrés de Fahrenheit; cet intervalle vaut, en degrés centigrades, $63 \times \frac{10}{18}$ ou 35 degrés, et comme les degrés centigrades se comptent à partir de la glace fondante, la température donnée correspond à celle de 35° C.

Soit encore une température marquée 5° F. à évaluer au moyen de l'échelle centigrade. L'intervalle compris entre la glace fondante et cette température est de $52 - 5$ ou 47 degrés de Fahrenheit; cet intervalle équivaut à $47 \times \frac{10}{18}$ ou 26 degrés centigrades, et comme cette température est inférieure à la glace fondante, elle correspond à celle de -13° C. — En raisonnant de la même manière, on trouvera encore que le zéro de Fahrenheit correspond approximativement à $17,78$ C.

Inversement, soit une température marquée 25° C., à évaluer au moyen de l'échelle de Fahrenheit. Les degrés centigrades étant comptés à partir de la glace fondante, on remarquera que l'intervalle entre ce point et la température donnée vaut, en degrés de Fahrenheit, $25 \times \frac{18}{10}$ ou 45,4; comme l'échelle de Fahrenheit marque 32° à la glace fondante, la température proposée correspond à celle de $41,4 + 32$ ou de $73,4$ F.

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 le 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° 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.

212. **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, le rapport de la capacité du réservoir à celle de la capacité d'une division 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.

213. **Remarques générales sur le choix des corps employés dans la construction des thermomètres.** — Le thermomètre à mercure est, ainsi que nous l'avons dit, celui dont l'usage est le plus répandu. Il est facile de se rendre compte des raisons qui l'ont fait adopter, de préférence à d'autres.

(*) 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.

Et d'abord, pourquoi prend-on comme corps thermométrique un liquide, plutôt qu'un solide, ou plutôt qu'un gaz?

Les corps *solides*, moins dilatables que les liquides, donneraient des thermomètres moins sensibles : cet inconvénient pourrait être atténué par l'emploi d'une disposition analogue à celle du pyromètre à levier (fig. 182), qui amplifierait la dilatation du corps; mais, dans bien des circonstances, cette disposition rendrait difficile l'usage de l'instrument. — Enfin, il faut surtout remarquer que 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, donner des indications qui ne seraient pas comparables entre elles.

Les corps *gazeux*, beaucoup plus dilatables que les solides et les liquides, se présentent comme éminemment propres à l'évaluation des petites variations de température. Ainsi, un appareil semblable à celui de la figure 186 semble devoir fournir un *thermomètre à air* d'une grande sensibilité. — Nous étudierons plus loin différents thermomètres à air, mais l'emploi de ces instruments constitue une véritable expérience, et exige un opérateur exercé. — Pour la pratique, il y a avantage à employer des instruments qui donnent, comme les thermomètres à liquides, des indications immédiates, par une simple lecture.

Enfin, parmi les liquides, on a choisi le *mercure*, pour de nombreuses raisons. Les principales sont : 1° que ce corps peut être obtenu dans un état de pureté parfaite (note de la page 96), condition indispensable pour que les liquides de tous les instruments soient toujours identiques entre eux; 2° que le point de congélation du mercure (-40° C.) est très éloigné de son point d'ébullition ($+360^{\circ}$ C.), et que la plupart des températures usuelles sont comprises dans l'intervalle de ces deux points; 3° que le mercure se met rapidement en équilibre de température avec les corps environnants.

214. Thermomètres à maxima et à minima. — Il est intéressant, pour les études météorologiques, de connaître les limites extrêmes entre lesquelles varie la température d'un lieu, pendant une journée, sans s'assujettir à observer l'instrument d'une manière continue : les thermomètres à *maxima* et à *minima* sont destinés à conserver l'indication de ces températures extrêmes.

Le thermomètre de Six, modifié par Bellani, offre la réunion, dans un même instrument, d'un thermomètre à maxima et d'un thermomètre à minima. La figure 195 représente cet instrument, tel qu'on le construit aujourd'hui. — Le réservoir R, et la tige recourbée qui se continue avec lui, contiennent de l'alcool jusqu'en *b* : de *b* en *a* est une colonne de mercure; enfin, au-dessus de *a* et jusqu'à la chambre C, est une seconde colonne d'alcool : à chacune des extrémités *a* et *b* de

la colonne de mercure, sont deux petits cylindres d'émail, servant d'index, α et β . Lorsque la température s'élève, la dilatation de l'alcool contenu dans le réservoir R et dans la branche de gauche, et celle de la colonne de mercure, ont pour effet de soulever le cylindre α ; le cylindre β , maintenu contre la paroi du tube par un petit cheveu qui y est fixé et qui forme ressort, reste immobile au milieu de l'alcool. Lorsque la température s'abaisse, la contraction de l'alcool entraîne la colonne de mercure en sens inverse; c'est le cylindre β qui est soulevé, le cylindre α restant en place. Le cylindre de droite indique donc les *maxima*; celui de gauche, les *minima* : chacune des deux branches porte une échelle, indiquant les degrés. — Pour permettre de ramener facilement les index au contact du mercure, on a placé, dans chacun d'eux, une tige de fer très fine, qu'on attire avec un aimant.

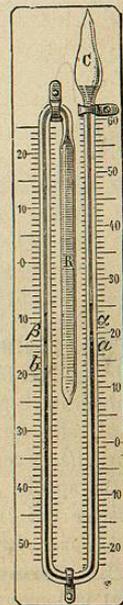


Fig. 195. — Thermomètre à maxima et à minima.

Mais, pour que la tige d'un thermomètre puisse livrer passage à un index solide, il faut toujours qu'elle ait un assez grand diamètre intérieur, ce qui permet difficilement de donner à l'instrument une sensibilité suffisante pour des observations précises. Aussi, les météorologistes emploient-ils préférablement, pour la détermination des *maxima* en particulier, un thermomètre dans lequel on se sert, comme index, d'une très petite colonne de mercure, séparée du reste liquide par une bulle d'air. — Cet instrument est en réalité, un thermomètre à mercure ordinaire, à tige très fine, et à la partie supérieure duquel on a laissé un peu d'air. Pour le transformer en un thermomètre à maxima, il suffit de faire passer, de la tige dans la chambre supérieure, une gouttelette de mercure : on la fait redescendre ensuite dans la tige, comme si on voulait la réunir au reste de la colonne; la réunion est empêchée par la petite quantité d'air qui est restée dans la tige. — Pour mettre l'instrument en expérience, on le place dans une position horizontale, après avoir amené l'index de mercure aussi près que possible de l'extrémité de la colonne. Lorsque la température s'élève, la dilatation de la colonne pousse devant elle l'index; quand la température s'abaisse, l'index reste immobile; on pourra donc lire, au bout d'un temps quelconque, la température la plus haute à laquelle aura été soumis l'instrument.