

ne satisfait complètement. On l'a attribué 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.

On a dit aussi que le verre, après qu'on a soufflé la boule, ne revenait que lentement à son état d'agrégation primitif, en se fondant sur ce qu'on avait cru remarquer qu'au bout de deux ou trois ans, le zéro ne se déplaçait plus. Or, d'après des expériences de M. Despretz, ce déplacement paraît se continuer pendant un temps peut-être indéfini.

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 plus au zéro de l'échelle, et il n'y revient qu'au bout d'un certain temps.

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.

262. **Limites de l'emploi du thermomètre à mercure.** — Le mercure entre en ébullition à 350 degrés et se congèle à  $-40$ . Ce sont donc là deux limites qu'on ne peut dépasser dans l'emploi du thermomètre à mercure. Mais l'expérience ayant appris que la dilatation du mercure n'est régulière, c'est-à-dire proportionnelle à l'intensité de la chaleur, que de  $-36$  à 100 degrés, et qu'au delà, son coefficient de dilatation va toujours croissant depuis 100 jusqu'à 350 degrés, il s'ensuit que le thermomètre à mercure ne donne réellement des indications précises que de  $-36$  à 100 degrés; pour les températures plus élevées, ses indications ne sont qu'approchées, l'erreur pouvant s'élever à plusieurs degrés.

Du reste, il arrive souvent que deux thermomètres à mercure, d'accord à zéro et à 100 degrés, ne le sont plus entre ces deux points, quoique placés dans les mêmes conditions. Cela résulte de ce que tous les verres, n'ayant pas la même composition chimique, ne sont pas également dilatables. Par suite, la dilatation qu'on observe dans le thermomètre étant apparente (281), c'est-à-dire l'excès de la dilatation absolue du mercure sur celle du verre, toutes les fois que deux thermomètres ne sont pas formés d'un verre identique, il y a là une cause d'erreur, qui fait qu'ils ne marchent pas ensemble; ce qu'on exprime en disant qu'ils ne sont pas comparables.

Ces différentes remarques et celles faites dans le paragraphe précédent montrent combien la détermination des températures présente de chances d'erreur, et les soins qu'elle exige.

263. **Conditions de sensibilité.** — On peut considérer la sensibilité d'un thermomètre sous deux points de vue. En effet, un thermomètre est sensible : 1° lorsqu'il accuse de très-petites variations de température; 2° quand il se met promptement en équilibre de température avec les corps ambiants.

On obtient le premier genre de sensibilité en donnant au thermomètre une tige très-capillaire soudée à un réservoir un peu gros. La marche du mercure dans la tige est alors limitée à un petit nombre de degrés, par exemple de 10 à 20, ou de 20 à 30; et chaque degré occupe une grande longueur sur la tige, ce qui donne le moyen d'évaluer des fractions de degré très-petites. Sous le nom de *thermomètre métastatique*, M. Walferdin a construit un thermomètre qui permet d'apprécier les millièmes de degré.

Le second genre de sensibilité se réalise en donnant au thermomètre un très-petit réservoir, car moins celui-ci a de masse, plus il prend rapidement la température du milieu dans lequel on le place.

264. **Thermomètre à alcool.** — Le thermomètre à alcool ne diffère du thermomètre à mercure que parce qu'il est rempli d'alcool coloré en rouge avec de l'orseille. Mais la dilatation des liquides étant d'autant moins régulière qu'ils sont plus voisins de leur point d'ébullition, l'alcool, qui bout à 78 degrés, se dilate très-irrégulièrement entre zéro et 100 degrés. En sorte que si, après avoir pris les deux points fixes comme pour le thermomètre à mercure, on divisait leur intervalle en 100 degrés, on aurait un thermomètre qui ne serait d'accord avec le thermomètre à mercure qu'à zéro et à 100 degrés; entre ces deux points, il serait en retard de plusieurs degrés, et l'on trouve même qu'il ne marque que 44 degrés, lorsque le thermomètre à mercure en marque 50.

C'est pourquoi la graduation du thermomètre à alcool doit se faire comparativement à celle d'un thermomètre à mercure étalon, en les chauffant ensemble graduellement dans un bain, et en marquant successivement, sur le thermomètre à alcool, les températures indiquées par le thermomètre à mercure. Ainsi gradué, le thermomètre à alcool est comparable au thermomètre à mercure, c'est-à-dire qu'il donne les mêmes températures, lorsqu'il est placé dans les mêmes conditions. Le thermomètre à alcool est surtout employé pour mesurer les très-basses températures, parce que ce liquide ne se congèle pas par les plus grands froids connus.

Quant au remplissage du thermomètre à alcool, par suite de la

température peu élevée à laquelle ce liquide entre en ébullition, il est plus simple que celui du thermomètre à mercure. En effet, après avoir chauffé légèrement le réservoir à la lampe pour faire sortir un peu d'air, on plonge l'extrémité ouverte de la tige dans l'alcool coloré en rouge; par le refroidissement l'air qui reste dans le réservoir se contracte, et la pression atmosphérique y fait monter une petite quantité d'alcool (fig. 198).



Fig. 198.

jusqu'à l'ébullition, les vapeurs d'alcool qui se dégagent avec abondance entraînent tout l'air qui se trouve dans le réservoir et dans la tige. Il suffit donc, après quelques instants d'ébullition, de retourner brusquement le thermomètre et d'en plonger de nouveau l'extrémité dans l'alcool. Les vapeurs se condensant, le vide se fait à l'intérieur, et par l'effet de la pression de l'atmosphère le réservoir et la tige se remplissent complètement. Faisant enfin sortir une certaine quantité de liquide de la tige, on ferme celle-ci en fondant l'extrémité à la lampe, et le thermomètre est construit. Il ne reste plus qu'à le graduer comme il a été dit ci-dessus.

265. **Thermomètre différentiel de Leslie.** — Leslie, physicien écossais, mort en 1832, a construit un thermomètre à air destiné à faire connaître la différence de température de deux lieux voisins; de là le nom de *thermomètre différentiel*. Cet instrument se compose de deux boules de verre remplies d'air, et réunies par un tube recourbé, d'un petit diamètre, fixé sur une planchette (fig. 199). Avant que l'appareil soit fermé, on y introduit un liquide coloré, en quantité suffisante pour remplir la branche horizontale du tube et la moitié environ des branches verticales. Il importe de choisir un liquide qui ne donne pas de vapeur aux températures ordinaires; c'est pourquoi on fait usage, en général, d'acide sulfurique coloré en rouge. L'appareil étant ensuite fermé, on fait passer de l'air d'une boule dans l'autre, en les chauffant inégalement, jusqu'à ce qu'après quelques tâtonnements, les deux boules

étant revenues à la même température, le niveau soit le même dans les branches verticales. On marque alors un zéro à chaque extrémité de la colonne liquide. Pour achever la graduation, on porte l'une des boules à une température qui surpasse de 10 degrés celle de l'autre. L'air de la première se dilate et refoule la colonne liquide *ba* qui s'élève dans l'autre branche. Lorsque cette colonne est devenue stationnaire, on marque 10, de chaque côté, au point où s'arrête le niveau du liquide; puis on partage les intervalles de zéro à 10 en dix parties égales, et l'on continue les divisions au-dessus et au-dessous du zéro, le long de chaque branche.

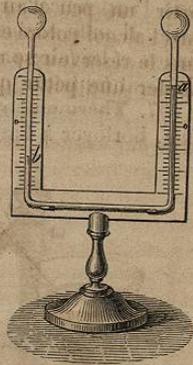


Fig. 199.

266. **Thermoscope de Rumford.** — Dans le même temps que Leslie inventait le thermomètre différentiel, le comte de Rumford, américain, mort à Auteuil, près Paris, en 1814, adoptait un thermomètre analogue qui a reçu le nom de *thermoscope de Rumford*. Cet instrument diffère peu du précédent; seulement, les boules en sont plus grosses, la branche horizontale est plus grande, et c'est le long de cette branche qu'est la graduation. L'index *E* (fig. 200) n'a que deux centimètres de

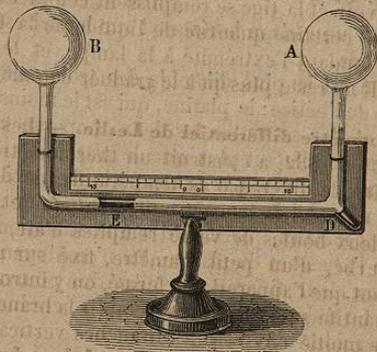


Fig. 200 (h = 43).

longueur environ, et l'on marque encore un zéro à chaque extrémité, lorsque les deux boules étant à la même température, l'index occupe le milieu de la branche horizontale. Le reste de la gra-

duction se fait ensuite entièrement comme pour le thermomètre de Leslie. Quant à l'appendice D, il est destiné à régler l'appareil; lorsqu'il y a trop d'air dans l'une des boules, on fait passer l'index dans l'appendice, ce qui permet à l'air de se rendre dans l'autre boule. Il suffit ensuite d'incliner le thermomètre pour faire sortir l'index et lui faire prendre la position qu'il doit occuper; ce qu'on n'obtient toutefois qu'après quelques essais.

267. **Thermomètre métallique de Bréguet.** — Abraham Bréguet, horloger à Paris, mort en 1823, a imaginé un thermomètre fondé sur l'inégale dilatabilité des métaux, et remarquable par son extrême sensibilité. Cet instrument est formé de trois lames superposées, de platine, d'or et d'argent. Soudées ensemble dans toute leur longueur, elles sont ensuite passées au laminoir de manière à ne former qu'un ruban métallique très-mince. On contourne ce ruban en hélice, comme le montre la figure 201; puis ayant fixé l'extrémité supérieure à un support, on suspend à l'autre extrémité une aiguille légère de cuivre, libre de

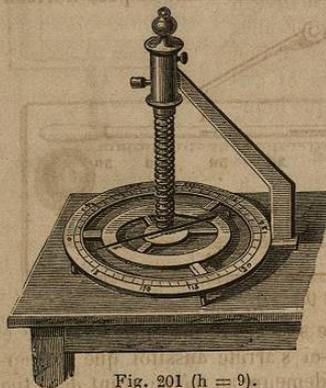


Fig. 201 (h = 9).

se mouvoir sur un cadran horizontal sur lequel est graduée une échelle centigrade.

L'argent, qui est le plus dilatable des trois métaux, forme la face intérieure de l'hélice; le platine, qui est le moins dilatable, est à l'extérieur, et l'or est entre les deux. Lorsque la température s'élève, l'argent se dilate plus que le platine et l'or, l'hélice se déroule de gauche à droite par rapport à la figure ci-dessus. L'effet contraire a lieu quand la température baisse. L'or est placé entre les deux autres métaux, parce qu'il a une dilatation intermédiaire entre celles de l'argent et du platine. En n'employant que ces deux derniers métaux, leur différence de dilatation pourrait occasionner une rupture. Le thermomètre de Bréguet se gradue comparativement à un thermomètre étalon à mercure.

\* 268. **Thermomètre à maxima et à minima de Rutherford.** — Dans les observations météorologiques, il est nécessaire de connaître la plus haute température du jour et la plus basse température de la nuit. Les thermomètres ordinaires ne pourraient conduire à la connaissance de ces températures que par une obser-

vation continue, ce qui serait tout à fait impraticable. Aussi a-t-on imaginé, à cet effet, un assez grand nombre d'instruments. Le plus simple est celui de Rutherford. Sur une glace rectangulaire (fig. 202) sont fixés deux thermomètres dont les tiges sont recourbées horizontalement. Le premier, A, est à mercure; le second, B, est à alcool. Dans le thermomètre à mercure est un petit cylindre de fer A, qui peut glisser librement dans le tube. Ce petit cylindre, qui sert d'index, étant mis en contact avec l'extrémité de la colonne de mercure, et l'instrument étant disposé horizon-

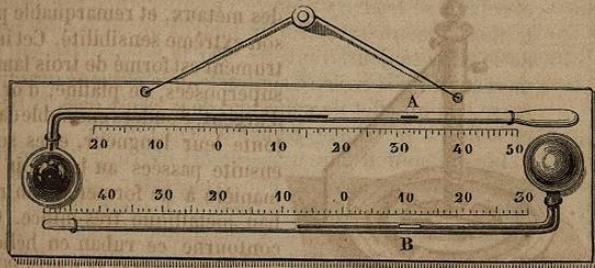


Fig. 202 (l = 39).

talement, lorsque la température s'élève, le mercure se dilate et pousse devant lui l'index. Celui-ci s'arrête aussitôt que le mercure cesse de se dilater, mais il demeure au même point de la tige lorsque le mercure se contracte, car il n'y a pas d'adhérence entre ce liquide et le fer. Le point où s'arrête l'index marque donc la plus haute température qui s'est produite: sur le dessin ci-dessus, l'index indique près de 31 degrés.

Le thermomètre inférieur est à minima; le liquide qu'il contient est de l'alcool dans lequel plonge entièrement un petit cylindre d'émail B destiné à servir d'index. Si la température baisse tandis que le cylindre est à l'extrémité de la colonne liquide, celle-ci, en se contractant, l'entraîne avec elle par un effet d'adhésion, et l'index avance ainsi jusqu'au point où a lieu le maximum de contraction du liquide. Lorsque la température s'élève, l'alcool se dilate, passe entre la paroi du tube et l'index, sans que celui-ci se déplace. Par conséquent, l'extrémité de l'index opposée au réservoir indique la plus basse température à laquelle a été porté l'instrument:  $9^{\circ} \frac{1}{2}$  au-dessous de zéro dans le dessin ci-dessus.

\* 269. **Thermomètre à maxima de M. Walferdin.** — Le thermomètre à maxima de M. Walferdin est un thermomètre à déversement. Cet instrument a la forme d'un thermomètre à mercure

ordinaire. Seulement, à la partie supérieure, il est terminé par un petit réservoir ou *panse*, où pénètre la tige, qui se termine en pointe effilée et ouverte (fig. 203). Dans cette *panse* est du mercure destiné à *amorcer* l'instrument, c'est-à-dire à remplir la tige complètement à chaque observation. Pour cela, on chauffe le réservoir inférieur jusqu'à ce que le mercure, se dilatant, commence à sortir par la pointe effilée qui termine la tige. Retournant alors l'instrument, le mercure qui est dans la *panse* descend vers la pointe, et celle-ci se trouve y plonger en entier. On laisse ensuite le thermomètre se refroidir lentement, en ayant soin de le tenir toujours renversé. Par le refroidissement, le mercure du réservoir se contracte, une certaine quantité passe, par un effet de cohésion, de la *panse* dans la tige, et celle-ci se trouve complètement remplie.



Fig. 203  
(h = 26).

Lorsqu'on doit faire usage de cet instrument, on commence par l'amorcer à une température inférieure à celle qu'il s'agit d'observer, puis on le place dans le lieu dont on veut connaître le maximum de température. Si le thermomètre vient d'abord à se refroidir, il n'y a aucun inconvénient, puisqu'il n'entre ni ne sort de mercure. Mais si la température s'élève, le mercure se dilate, une partie se déverse dans la *panse* sans pouvoir rentrer dans le thermomètre, parce qu'alors celui-ci est dans la position représentée dans la figure ci-contre. Pour déterminer ensuite la plus haute température à laquelle l'instrument a été porté, il suffit de le comparer à un thermomètre étalon, en les chauffant tous les deux graduellement dans un bain jusqu'à ce que le mercure, dans le thermomètre à déversement, remonte au sommet de la tige et soit près de sortir. Consultant alors le thermomètre étalon, la température qu'il indique est la plus haute à laquelle a été porté le thermomètre à maxima.

M. Wallerdin a aussi construit un thermomètre à minima; il est encore à déversement, mais à deux liquides et d'un usage moins facile que le précédent. Ces thermomètres sont surtout utilisés pour prendre les plus hautes ou les plus basses températures du fond des lacs, des mers ou des puits. Toutefois il faut alors les renfermer dans un tube de verre qu'on soude ensuite à la lampe, afin de les soustraire à la pression extérieure qui diminuerait le volume du réservoir et en ferait sortir un excès de mercure.

\* 270. **Pyromètre de Wedgwood.** — On appelle *pyromètres*, des

instruments destinés à mesurer les hautes températures pour lesquelles le thermomètre à mercure ne saurait être employé, parce que ce liquide serait vaporisé et le verre fondu. On n'a pas de bons pyromètres; tous ceux qu'on a construits jusqu'ici sont loin de donner la mesure exacte des températures.

Wedgwood, fabricant de poterie en Angleterre, adopta un pyromètre fondé sur le retrait qu'éprouve l'argile par l'action de la chaleur. Cet instrument est formé d'une plaque de cuivre sur laquelle sont fixées trois barres de même métal (fig. 204). La longueur de chacune est d'un demi-pied anglais. Les deux premières, distantes d'abord de six lignes anglaises, convergent d'une ligne d'une extrémité à l'autre. La seconde et la troisième, dont l'écartement fait suite à celui des deux premières, convergent aussi

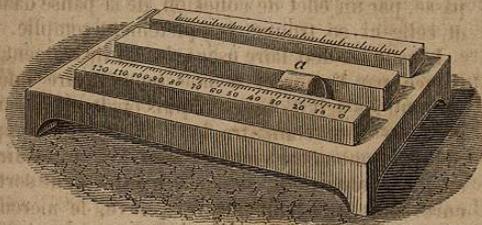


Fig. 204 (l = 21).

d'une ligne. En sorte que la longueur totale de la *jauge* est d'un pied, et la convergence, d'un bout à l'autre, de deux lignes.

Chaque pouce de la *jauge* est divisé en 20 degrés, ce qui donne 240 degrés sur la longueur totale. Pour faire usage de cet instrument, on a de petits cylindres d'argile séchés dans une étuve à 100 degrés, et d'un diamètre tel, qu'à la température ordinaire, ils entrent dans la *jauge* juste au zéro de l'échelle. Portés à une température élevée, dans un four, ces cylindres éprouvent un retrait qui provient d'un commencement de vitrification; refroidis et mis dans la *jauge*, à cause du retrait, ils entrent au delà du zéro, et le point où ils s'arrêtent indique, en degrés du pyromètre, la température du four dans lequel ils ont été placés. Dans la figure ci-dessus, le cylindre *a* marque 32 degrés.

Wedgwood a évalué approximativement, en admettant que le zéro de son pyromètre corresponde déjà à 580 degrés centigrades, que chaque degré de cet instrument en vaut 72. C'est-à-dire que, pour convertir en degrés centigrades une température donnée en degrés du pyromètre, il faut multiplier ceux-ci par 72 et ajouter 580 au produit. Mais, outre que ces évaluations ne sont pas pré-

cises, les cylindres ne pouvant être tous d'une argile identique, leur retrait n'est pas le même, et leurs indications ne sont pas comparables.

271. **Pyromètre de Brongniart.** — Brongniart avait fait construire, pour les fours de la fabrique de Sèvres, un pyromètre qui a du rapport avec l'appareil représenté dans la figure 188. Il consiste en une barre d'acier ou d'argent placée dans une rainure pratiquée sur une plaque de porcelaine. D'un bout, la barre bute contre l'extrémité de la rainure; de l'autre, elle est en contact avec une tige de porcelaine, qui sort à l'extérieur du four où est placé l'appareil. Enfin, cette dernière tige s'appuie sur le petit bras d'un levier coudé dont la grande branche se meut sur un arc de cercle gradué; à mesure que la barre métallique placée dans le four s'allonge par l'élévation de température, elle pousse la tige de porcelaine, et celle-ci fait marcher le levier coudé. Ce pyromètre, qui était abandonné à Sèvres, même du vivant de son auteur, ne peut servir à déterminer avec précision les températures; cependant il est plus exact que celui de Wedgwood.

\* 272. **Thermométrographe.** — Les thermomètres à maxima et à minima ne font connaître, à chaque observation, que les températures extrêmes, sans laisser de trace des températures intermédiaires. Le thermomètre à hélice de Bréguet (fig. 201) a été modifié par M. Bréguet neveu, de manière à indiquer les températures d'heure en heure. Pour cela, l'aiguille porte un petit stylet rempli d'encre, et au-dessous est une plaque mobile sur laquelle sont tracés 24 arcs égaux et équidistants, portant la même graduation centigrade que le cadran du thermomètre. A chaque heure, un mouvement d'horlogerie fait avancer la plaque d'une quantité égale à l'intervalle de deux arcs, et, en même temps, frappe un petit coup sur le stylet de l'aiguille, qui marque un point noir sur l'arc. Le numéro de l'arc indique l'heure, et la position du point noir donne la température correspondante.

## CHAPITRE II.

### DILATATION DES SOLIDES.

273. **Dilatation linéaire et dilatation cubique, coefficients de dilatation.** — On a déjà vu (251) qu'on distingue, dans les corps solides, deux sortes de dilatations: la *dilatation linéaire*, c'est-à-

dire suivant une seule dimension, et la *dilatation cubique*, c'est-à-dire en volume.

On nomme *coefficient de dilatation linéaire*, l'allongement que prend l'unité de longueur d'un corps, lorsque sa température s'élève de zéro à 1 degré, et *coefficient de dilatation cubique*, l'accroissement que prend, dans le même cas, l'unité de volume.

Ces coefficients varient d'un corps à l'autre; mais, pour un même corps, il existe entre eux cette relation simple, que le *coefficient de dilatation cubique est triple du coefficient de dilatation linéaire*. On peut donc, en multipliant ou en divisant par 3, trouver l'un de ces coefficients lorsque l'autre est connu.

Pour démontrer que le coefficient de dilatation cubique est triple du coefficient de dilatation linéaire, soit un cube dont le côté égale 1 à zéro. Si l'on représente par  $k$  l'allongement que prend ce côté en passant de zéro à 1 degré, sa longueur à 1 degré sera  $1 + k$ , et le volume du cube, qui était 1 à zéro, sera actuellement  $(1 + k)^3$ , c'est-à-dire  $1 + 3k + 3k^2 + k^3$ . Or, l'allongement  $k$  étant toujours une fraction très-petite (page 230, tableau), son carré  $k^2$  et son cube  $k^3$  sont des fractions assez petites pour ne pas influencer sur la dernière décimale des nombres qui représentent les coefficients de dilatation cubique. On peut donc négliger les termes en  $k^2$  et en  $k^3$ , et le volume à 1 degré devient très-approximativement  $1 + 3k$ . L'accroissement de l'unité de volume est donc  $3k$ , c'est-à-dire triple du coefficient de dilatation linéaire.

On démontrerait de même que le coefficient de dilatation superficielle est double du coefficient de dilatation linéaire.

274. **Mesure des coefficients de dilatation linéaire, méthode de Lavoisier et Laplace.** — De nombreux expérimentateurs se sont occupés de mesurer les coefficients de dilatation linéaire, et ont imaginé divers appareils à cet usage. Nous décrirons d'abord celui dont se servirent Lavoisier et Laplace en 1782.

L'appareil de ces deux physiciens, représenté en perspective dans la figure 205 et en coupe dans la figure 206, se compose d'une cuve de cuivre placée sur un fourneau entre quatre bâtis de pierre. Entre les deux bâtis qui occupent la droite du dessin est un axe horizontal traversé par une règle de verre  $v$ , et à l'extrémité du même axe est fixé un bras  $m$  tournant avec lui, et destiné à diriger une lunette  $L$  mobile sur deux tourillons. Aux deux autres bâtis sont fixées des traverses de fer qui maintiennent fixe une seconde règle de verre  $r$ . Enfin, dans la cuve est un bain d'eau ou d'huile, dans lequel on place la barre  $ac$  dont on cherche le coefficient de dilatation.

Cette barre est en contact d'un bout avec la règle de verre  $r$ , de l'autre avec la règle  $v$ ; d'où il résulte qu'elle ne peut s'allonger que dans le sens  $ac$ , puisque la règle  $r$  est invariablement liée au bâti. De plus, pour qu'elle ne soit pas gênée dans sa dilatation, la barre repose sur deux rouleaux de verre. Enfin, dans la lunette