

L'ouverture du foyer a aussi une grande influence sur la rapidité avec laquelle l'air froid s'y précipite. Il est facile de voir, en effet, que la vitesse du courant sera d'autant plus grande que l'étendue de cette ouverture sera moins large. C'est la raison pour laquelle on adapte au-devant des cheminées des rideaux ou obturateurs en tôle à feuillets mobiles, qui permettent de diminuer ou d'augmenter l'ouverture du foyer, et, par suite, d'activer ou de ralentir le tirage.

On a calculé que la chaleur envoyée dans un appartement par le foyer d'une bonne cheminée ne représente guère que le dixième de la quantité de chaleur produite par le combustible brûlé. Le reste accompagne en pure perte l'air et la fumée qui s'échappent au dehors. Sous le rapport du chauffage, les cheminées sont donc de beaucoup inférieures aux divers poêles en fonte ou en faïence, dont les parois, en contact par toute leur surface avec l'air de l'appartement, lui transmettent la plus grande partie de la chaleur dégagée par la combustion.

122. *Aérage, ventilation.* — Si les cheminées sont défectueuses comme moyen de chauffage, elles présentent par contre un très-grand avantage au point de vue de la ventilation. Quand une cheminée tire bien, elle entretient dans l'appartement un renouvellement incessant de l'air, qui s'introduit du dehors par les fissures des portes et des fenêtres, les trous des serrures, etc. Aussi la présence d'une bonne cheminée est-elle une des meilleures conditions que puisse offrir, pour l'aérage, toute salle dans laquelle doivent séjourner un grand nombre de personnes.

Quand deux cheminées communiquent avec un espace entièrement clos, si l'on fait du feu dans l'une, un courant descendant s'établit aussitôt dans l'autre et amène dans cet espace l'air pur du dehors. C'est sur ce principe que repose l'aérage des mines, au moins de celles d'entre elles qui permettent l'emploi de ce procédé. Dans le cas contraire, soit qu'il y ait danger à entretenir du feu dans la mine, comme dans les houillères, par exemple, soit pour tout autre motif, on a recours pour l'aérage à des appareils mécaniques nommés *ventilateurs*. Ceux que l'on emploie le plus ordinairement sont des ventilateurs à force centrifuge, composés d'une caisse dans laquelle on fait mouvoir rapidement une roue portant à sa circonférence des ailes ou palettes en bois ou en métal. L'air chassé avec force par ces palettes est conduit par un large tube dans la galerie qu'il s'agit d'aérer.

Résumé.

I. Le principe d'Archimède s'applique aussi bien aux gaz qu'aux liquides. Par conséquent, tout corps plongé dans un gaz éprouve une poussée verticale, de bas en haut, égale en grandeur au poids du gaz déplacé, ou, en d'autres termes, perd une partie de son poids égale au poids du volume de gaz qu'il déplace. Ce principe se démontre à l'aide du baroscope.

II. Lorsqu'un corps est plongé dans l'air, il peut arriver trois cas :

1° Si le corps est plus pesant que l'air sous le même volume, il tombe avec une force égale à l'excès de son poids sur le poids du volume d'air qu'il déplace ;

2° Si le corps, sous le même volume, a un poids égal à celui de l'air, il reste suspendu en équilibre dans l'atmosphère ;

3° Si le corps, à volume égal, est moins pesant que l'air, il s'élève dans l'atmosphère avec une force ascensionnelle égale à la différence entre son poids et celui du volume d'air qu'il déplace. Les aérostats sont une application de ce dernier principe.

III. Lorsque les diverses parties d'une masse de gaz sont à des températures différentes, ces parties se superposent dans l'ordre de leurs températures. Le tirage des cheminées repose sur ce principe.

CHAPITRE XI.

CHALEUR.

Notions sommaires sur la théorie mécanique de la chaleur. — Sources de chaleur. — Dilatation. — Construction et usages des thermomètres. — Notions sur les coefficients de dilatation des solides, des liquides et des gaz ; leurs usages. — Poids spécifiques des gaz.

Chaleur. Notions sommaires sur la théorie mécanique de la chaleur. Sources de chaleur.

125. *Chaleur.* — Pendant longtemps la *chaleur*, c'est-à-dire la cause qui, suivant son plus ou moins d'énergie, produit en nous la sensation du chaud ou du froid, qui fait fondre la

glace, bouillir l'eau, rougir le fer, etc., a été attribuée à un fluide impondérable et incoercible, que l'on nommait *calorique*, et auquel on supposait la propriété de se transmettre directement d'un corps à un autre, soit au contact, soit à distance (hypothèse de l'*émission*). Mais il paraît aujourd'hui démontré que la chaleur n'est autre chose que le résultat d'un mouvement vibratoire, très-petit et très-rapide, des dernières molécules de la matière pondérable, lequel mouvement se propage entre les corps par l'intermédiaire d'un fluide nommé *ether*. Ce fluide éminemment élastique, répandu dans tout l'univers, transmet la chaleur d'un corps à un autre par des ondulations analogues à celles qui, dans l'air, propagent le son (système des *ondulations* ou théorie *thermodynamique*). Néanmoins, tout en admettant ce dernier système, les physiciens ont jusqu'à présent conservé le langage usité dans l'hypothèse de l'*émission*, parce qu'il simplifie les démonstrations et rend ainsi plus facile l'étude des phénomènes de la chaleur.

124. *Théorie mécanique de la chaleur.* — La théorie thermodynamique, ou *théorie mécanique* de la chaleur, entrevue par Rumford et Davy, qui les premiers reconnurent la transformation réciproque du mouvement en chaleur et de la chaleur en mouvement, n'a pris rang dans la science qu'en 1842, époque à laquelle M. Joule formula nettement le grand principe de l'*équivalence du travail mécanique et de la chaleur*.

Expliquons sommairement en quoi consiste cette théorie, l'une des plus belles conceptions de la physique moderne.

Toutes les fois qu'un corps en mouvement rencontre un obstacle qui l'arrête, son mouvement mécanique disparaît, mais il n'est pas anéanti : *il se transforme en un mouvement vibratoire qui engendre de la chaleur*. Ainsi le marteau qui frappe l'enclume s'échauffe plus ou moins, suivant la violence du choc ; le boulet de canon arrêté par les plaques métalliques des navires blindés devient rouge de feu.

Une bille d'ivoire qu'on laisse tomber sur un plan résistant, et qui rebondit à une hauteur à peu près égale à celle de sa chute, *ne s'échauffe pas* sensiblement, parce qu'en vertu de son élasticité elle reprend après le choc sa vitesse première ; mais si à cette bille d'ivoire on substitue une balle de plomb ou de toute autre matière non élastique, celle-ci, s'arrêtant contre l'obstacle, s'échauffe aussitôt par suite de la conversion en chaleur de la force vive dont elle était animée. Cet échauffement

est tel qu'une balle de plomb tombant dans le vide, d'une hauteur de 1275 mètres, prendrait une température de 100° en frappant le sol ; si elle tombait d'une hauteur de 4300 mètres, à peu près celle du Mont-Blanc, elle atteindrait son point de fusion.

Le frottement, la compression subite des solides, des liquides et surtout des gaz (briquet à air), sont encore autant d'exemples vulgaires de la transformation du mouvement en chaleur. En frottant vivement deux morceaux de glace l'un contre l'autre, Davy parvint à les fondre en grande partie ; le forage d'une masse de bronze immergée dans une certaine quantité d'eau parvient à mettre celle-ci en ébullition (expérience de Rumford). Or, dans tous ces phénomènes, l'observation démontre que *la quantité de chaleur produite est constamment proportionnelle au travail mécanique anéanti*.

Mais si le mouvement anéanti se transforme en chaleur, celle-ci peut à son tour se convertir en travail mécanique. Ainsi, une bande de caoutchouc préalablement étirée, et qu'on laisse revenir à sa longueur première, se refroidit d'une manière sensible au toucher ; un gaz comprimé, introduit dans un corps de pompe, se refroidit également dès qu'on le rend libre d'en soulever le piston. De l'air humide comprimé à 3 ou 4 atmosphères et qu'on laisse échapper par un orifice étroit, se refroidit assez pour couvrir d'une couche de glace une boule de verre que l'on présente au jet gazeux*. L'expansion des vapeurs s'accompagne également d'un refroidissement considérable. Or, la chaleur disparue dans ces expériences se convertit en travail mécanique, lequel a pour effet, soit de mettre en jeu le piston si le gaz ou la vapeur se détend dans un corps de pompe, soit de vaincre simplement la pression de l'atmosphère, si le jet gazeux se répand à l'air libre.

Nous verrons plus loin, à propos de la machine à vapeur, laquelle, en réalité, n'est autre chose qu'un appareil destiné à transformer la chaleur en mouvement, quel rapport existe entre la chaleur dépensée et le travail mécanique produit ; qu'il nous

* On voyait autrefois à Schemnitz, en Hongrie, une machine à air comprimé, dont on se servait pour épuiser les eaux des galeries d'une mine de plomb. L'air qui en constituait le moteur était comprimé à 4 ou 5 atmosphères par le poids d'une colonne d'eau haute d'environ 50 mètres. Lorsqu'on ouvrait un robinet donnant issue à cet air toujours humide, on voyait aussitôt des flocons de neige tourbillonner à peu de distance de l'orifice. Un bonnet de mineur ou tout autre objet placé dans le jet gazeux ne tardait pas à se couvrir d'une couche épaisse de glace, ce qui, dit-on, étonnait beaucoup les curieux qui venaient visiter la mine.

suffise, pour le moment, d'avoir établi l'identité de la chaleur et du mouvement, qui avec l'électricité, la lumière, le magnétisme, etc., ne sont en réalité que des modalités diverses d'une même cause universelle.

Sources de chaleur. Dilatation.

125. *Sources de chaleur.* — Les sources de chaleur peuvent être divisées en trois groupes : 1^o les *sources physiques*, comprenant la radiation solaire, la chaleur terrestre, les actions moléculaires et l'électricité ; 2^o les *sources mécaniques*, c'est-à-dire le frottement, la percussion et la compression ; 3^o les *sources chimiques*, où se placent les combinaisons moléculaires, notamment la combustion et la chaleur animale, laquelle n'est autre chose que le résultat d'une véritable combustion de carbone et d'hydrogène au sein de l'organisme*. De toutes ces sources de chaleur la plus puissante est la radiation solaire. Il résulte d'observations faites par Pouillet pour mesurer la quantité de chaleur que la terre reçoit du soleil pendant une année, que si cette chaleur était tout entière employée à fondre de la glace, elle serait capable d'en liquifier une couche d'environ 32 mètres d'épaisseur tout autour du globe.

126. *Dilatation.* — La chaleur appliquée à un corps quelconque se divise en deux parts : l'une qui se maintient à l'état sensible et échauffe le corps ; l'autre qui disparaît comme chaleur et se transforme en travail mécanique, lequel a pour effet l'augmentation de volume ou la *dilatation* du corps. Cette augmentation de volume, facile à démontrer par l'expérience, varie avec les divers corps ; ainsi les gaz se dilatent beaucoup plus que les liquides et ceux-ci beaucoup plus que les corps solides. Étudions d'abord la dilatation dans chacune de ces trois classes de corps.

1^o *Dilatation des solides.* — On distingue dans les solides deux sortes de dilatation : la dilatation *linéaire*, c'est-à-dire suivant une seule dimension, et la dilatation *cubique* ou en volume. Ces deux dilatations ont toujours lieu simultanément.

Pour démontrer la dilatation *linéaire* des solides, on se sert d'un instrument désigné sous le nom de *pyromètre à cadran*. Cet

* Voyez l'histoire naturelle.

instrument se compose (fig. 101) d'une tige métallique AB, fixée à l'une de ses extrémités par une vis de pression C, tandis que l'autre extrémité est libre et en contact avec le plus petit bras d'une aiguille coudée F, mobile autour du point O, sur un cadran divisé. L'aiguille étant placée au zéro de la division, on chauffe la tige en brûlant de l'alcool dans un réservoir R placé au-dessous ;

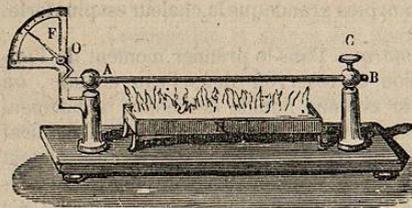


Fig. 101.

celle-ci s'allonge aussitôt dans le sens BA, et fait monter l'aiguille sur le cadran d'un certain nombre de degrés, d'autant plus grand que la chaleur est plus forte et la barre métallique plus dilatée.

On démontre la dilatation *cubique* au moyen de l'anneau

de S'Gravezende. Ce petit appareil se compose (fig. 102) d'un anneau métallique dans lequel peut passer librement, à la température ordinaire, une sphère en cuivre d'un diamètre à peu près égal. Mais si l'on chauffe cette boule à la flamme d'une lampe à alcool, elle ne peut plus franchir l'anneau ; ce qui prouve qu'elle a augmenté de volume.

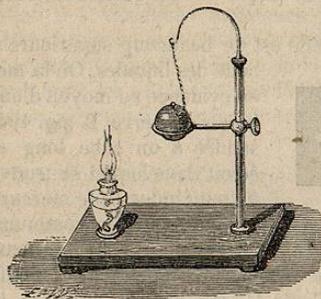


Fig. 102.

2^o *Dilatation des liquides.* — On considère dans les liquides deux sortes de dilatation : la dilatation *apparente*, qui consiste dans l'augmentation sensible de volume que prend le liquide dans le vase qui le renferme et dont les parois se dilatent beaucoup moins que lui ; et la dilatation *absolue*, qui est la dilatation réelle du liquide, abstraction faite de la dilatation de l'enveloppe.

On démontre la dilatation *apparente* des liquides à l'aide d'un appareil fort simple, composé (fig. 103) d'un réservoir en verre A

d'un assez grand diamètre, auquel est soudé un tube T long et étroit. La boule et le tube étant remplis de liquide jusqu'à la hauteur h , à la température ordinaire, si on plonge le réservoir dans de l'eau chaude, on voit bientôt le liquide, dilaté par la chaleur de l'eau environnante, monter rapidement dans le tube jusqu'à une certaine hauteur h' , d'autant plus grande que la chaleur est plus forte.

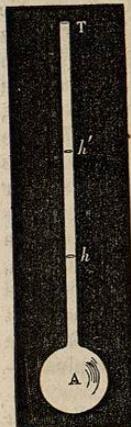


Fig. 103.

Remarque. Dans le premier moment de l'immersion du réservoir dans l'eau chaude, on voit la colonne liquide descendre subitement au-dessous de son niveau primitif h . Cela tient à ce que les parois du réservoir se dilatent avant que le liquide ait eu le temps de ressentir l'influence de la chaleur. Cet effet n'a qu'une très-courte durée.

Quant à la *dilatation absolue* des liquides, elle se compose de la dilatation apparente augmentée de la dilatation cubique du vase qui les renferme.

3° *Dilatation des gaz.* — Elle est de beaucoup supérieure à celle des liquides. On la met en évidence au moyen d'une boule en verre B (fig. 104) soudée à un tube long et étroit dans lequel se trouve un petit index m de mercure qui intercepte la communication entre l'air extérieur et le gaz intérieur. La chaleur de la main appliquée sur la boule suffit pour dilater le gaz et faire avancer le petit index jusqu'en m' vers l'extrémité libre du tube.

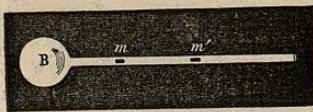


Fig. 104.

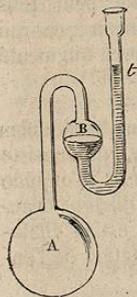


Fig. 105.

Remarque. Lorsqu'on échauffe un gaz en empêchant son volume de s'accroître librement, on voit aussitôt sa *force élastique augmenter*. Soit, en effet (fig. 105), un ballon de verre A communiquant avec un tube en S et à boule, Bt, contenant dans sa courbure un liquide coloré dont les deux niveaux sont d'abord à la même hauteur.

Dès qu'on approche la main du ballon, on voit le liquide s'élever rapidement dans la branche ouverte, tandis que son niveau ne s'abaisse que très-peu dans la boule B, dont les dimensions, par rapport au tube t , sont considérables. La chaleur a donc ici pour effet d'augmenter la force élastique du gaz, dont la dilatation ne peut librement s'opérer.

Construction et usages des thermomètres.

127. *Thermomètres.* — Ces instruments, dont l'invention remonte à la fin du seizième siècle, sont destinés à mesurer la *température* des corps, c'est-à-dire les différents degrés de chaleur sensible qu'ils peuvent avoir. Leur construction repose sur le principe général de la dilatation.

Presque tous les corps pourraient, à la rigueur, servir à la construction d'un thermomètre. On choisit de préférence les liquides, dont la dilatation, plus grande que celle des solides et moins grande que celle des gaz, se prête mieux à l'observation des variations moyennes de température. Les thermomètres à gaz ne sont employés que pour accuser de très-faibles changements dans l'intensité de la chaleur. Ceux que l'on construit avec les solides, et que l'on désigne sous le nom de *pyromètres*, servent à mesurer de très-hautes températures.

128. *Construction des thermomètres à liquides.* — Parmi les liquides dont on pourrait faire usage pour la construction des thermomètres, on choisit toujours le mercure et l'alcool : le mercure, parce qu'il se dilate plus uniformément que les autres liquides, qu'il ne bout qu'à une température très-élevée et ne se congèle qu'à un froid très-intense; l'alcool, parce qu'il résiste aux plus grands froids connus sans se congeler.

1° *Construction du thermomètre à mercure.* On prend (fig. 106) un tube capillaire t bien calibré, c'est-à-dire dont le diamètre intérieur est partout égal*, et terminé à l'une de ses extrémités par un réservoir cylindrique B.

* On s'en assure en faisant cheminer d'une extrémité du tube à l'autre une petite colonne de mercure d'environ un centimètre de longueur. Si le tube est bien calibré, les dimensions de la petite colonne mercurielle ne varient pas.



Fig. 106.

Pour introduire le mercure dans l'appareil, on soude à l'extrémité supérieure du tube un petit entonnoir C, que l'on remplit ensuite de mercure; puis, inclinant le tube comme le représente la figure, on chauffe à la flamme d'une lampe à alcool le réservoir B. L'air qu'il contient se dilate et sort en partie par l'entonnoir C, en traversant bulle à bulle le mercure. Si on laisse alors refroidir le réservoir en tenant le tube vertical, l'air qu'il contient encore se contracte, et la pression atmosphérique force le mercure à descendre de l'entonnoir C dans le réservoir B, où il tombe goutte à goutte, jusqu'à ce que l'air restant ait repris, par la diminution de son volume, une force élastique égale à la pression atmosphérique augmentée du poids de la colonne de mercure qui reste dans le tube. On chauffe une seconde fois le réservoir jusqu'à ce que le mercure qui vient de s'y introduire entre en ébullition. Les vapeurs mercurielles chassent aussitôt devant elles l'air qui se trouve encore dans l'appareil; et, par le refroidissement, le réservoir et le tube se remplissent totalement de mercure. Cela fait, on chauffe une dernière fois l'appareil; puis, au moment où le mercure qui le remplit est presque bouillant, on ferme à la lampe l'extrémité supérieure du tube et on enlève l'entonnoir C désormais inutile. Peu à peu l'instrument se refroidit, et la colonne mercurielle s'abaisse dans le tube, où elle finit par s'arrêter en un point variable selon la température du milieu ambiant.

2° *Construction du thermomètre à alcool.* La construction du thermomètre à alcool exige beaucoup moins de précautions que celle du thermomètre à mercure. Pour introduire le liquide, l'entonnoir précédent est inutile; il suffit de chauffer le réservoir, afin de dilater l'air qu'il contient, et de plonger aussitôt l'extrémité ouverte du tube dans un bain d'alcool coloré. A mesure que l'air intérieur se contracte par le refroidissement, la pression atmosphérique fait monter l'alcool dans le tube et dans le réservoir, qui se remplit en partie. On chauffe de nouveau celui-ci jusqu'à ce que l'alcool entre en ébullition; l'air est complètement chassé par la vapeur; en plongeant alors une seconde fois le tube dans l'alcool la vapeur se condense, et

l'appareil se remplit aussitôt. On ferme ensuite le tube à sa partie supérieure comme précédemment.

129. *Graduation du thermomètre à mercure.* — Cette graduation s'obtient à l'aide de deux points fixes de température toujours identiques et faciles à reproduire: la glace fondante, et l'eau bouillante sous la pression moyenne de $0^m,76$. La température de la fusion de la glace est, en effet, toujours la même, quelle que soit la source de chaleur qui la produise; il en est ainsi de l'ébullition de l'eau, dont la température, à la surface, reste constante tant que la pression ne change pas*. On représente par zéro le point de l'échelle de graduation correspondant à la glace fondante et par 100 celui qui correspond à l'eau bouillante.

Pour trouver ces deux points, on plonge d'abord le thermomètre dans un vase percé de trous à son extrémité inférieure et rempli de glace pilée ou de neige. La colonne de mercure s'abaisse d'abord rapidement, puis reste stationnaire. On marque alors zéro sur la tige au point qui correspond au niveau du mercure. Cela fait, on introduit l'instrument dans le tuyau d'un vase en fer-blanc dont la forme est représentée par la fig. 107, de manière que le réservoir thermométrique ne fasse qu'effleurer la surface liquide et qu'il soit constamment entouré par la vapeur de l'eau bouillante. Le mercure monte rapidement dans le tube et reste ensuite stationnaire. On marque alors 100 au point de la tige où il s'arrête.

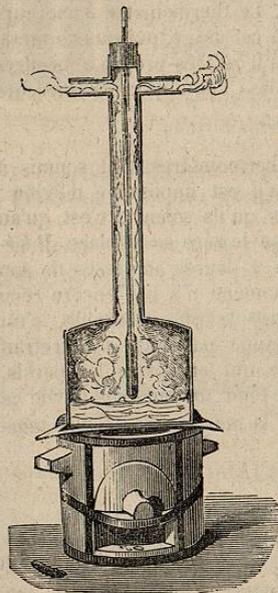


Fig. 107.

Les deux points fixes ainsi obtenus, on divise (fig. 108) l'intervalle qui les sépare en 100 parties égales que l'on appelle

* Voyez le chap. XIV.

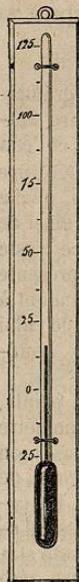


Fig. 108.

degrés; puis on prolonge la graduation, en portant ces degrés. au-dessus de 100° et au-dessous de 0°, sur toute la longueur de l'échelle. Le thermomètre ainsi gradué porte le nom de *thermomètre centigrade*. Pour distinguer les températures au-dessous de zéro de celles qui sont au-dessus, on les fait précéder du signe —. On les appelle vulgairement des degrés de froid.

La graduation du thermomètre à alcool se fait au moyen d'un thermomètre étalon à mercure. Le thermomètre à alcool est surtout employé pour mesurer de très-basses températures, parce que l'alcool ne se congèle pas sous l'influence des plus grands froids que nous connaissons. Le thermomètre à mercure ne pourrait pas servir à cet usage, puisque ce métal se congèle à —39°. Mais il est très-propre à mesurer des températures élevées, l'ébullition du mercure n'ayant lieu qu'à 360°.

Remarque. — Les thermomètres sont soumis à une cause d'erreur qu'il est impossible d'éviter, quelque bien construits qu'ils soient : c'est qu'au bout d'un certain temps le zéro se déplace. Il s'élève quelquefois jusqu'à 2 degrés au-dessus de son premier point. Ce phénomène n'a pas encore reçu d'explication satisfaisante. La cause la plus probable, c'est que la capacité du réservoir diminue par suite d'un retrait qu'éprouverait lentement le verre qui en forme les parois. Quoi qu'il en soit, il est essentiel de tenir toujours compte de ce déplacement du zéro, pour obtenir la mesure exacte des températures.

150. Différentes échelles thermométriques. — Indépendamment du thermomètre centigrade, on fait encore usage en France du *thermomètre de Réaumur*. En Angleterre, en Hollande, dans l'Amérique du Nord, on se sert d'un autre thermomètre appelé *thermomètre de Fahrenheit*, du nom de son inventeur, physicien de Dantzick, qui l'adopta en 1714.

Dans l'échelle du thermomètre de Réaumur, les deux points

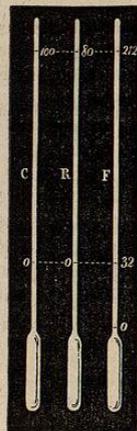


Fig. 109.

fixes sont encore la glace fondante et l'eau bouillante; mais l'intervalle qui les sépare est partagé en 80°. Dans celle du thermomètre de Fahrenheit, le zéro, au lieu d'être indiqué par la glace fondante, correspond au degré de froid qu'on obtient en mélangeant des poids égaux de sel ammoniac et de glace pilée. Le point fixe supérieur est encore donné par l'eau bouillante, et l'intervalle qui le sépare du zéro est divisé en 212°. La température de la glace fondante marque 32° à ce thermomètre. En comparant l'échelle centigrade aux deux échelles Réaumur et Fahrenheit, on voit que 100° centigrades équivalent à 80° Réaumur et à 212° — 32° ou 180° Fahrenheit. La *fig. 109* permet d'embrasser d'un coup d'œil les trois échelles : C est le thermomètre centigrade, R le thermomètre Réaumur, et F le thermomètre Fahrenheit.

Problèmes sur la conversion des échelles thermométriques. —
1° Convertir 17 degrés Réaumur en degrés centigrades.

100° cent. = 80° R. Donc 1° cent. égale les $\frac{4}{5}$ de 1° R. et 1° R. égale les $\frac{5}{4}$ de 1° cent.

Pour résoudre ce problème, il faudra par conséquent multiplier 17 par $\frac{5}{4}$, ce qui donne 21°,25. Réciproquement s'il s'agissait de convertir les degrés centigrades en degrés Réaumur, il faudrait multiplier leur nombre par $\frac{4}{5}$.

2° Convertir 72° degrés Fahrenheit en degrés centigrades.

En retranchant 32 de 212, pour avoir le nombre de degrés Fahrenheit compris entre la glace fondante et l'eau bouillante, on aura 180° pour l'échelle de ce thermomètre ramenée aux limites du thermomètre centigrade; donc 180° F = 100° cent. Par conséquent 1° F = $\frac{100}{180}$ ou les $\frac{5}{9}$ de 1° cent.

Retranchant alors 32 du nombre donné 72, et multipliant le reste 40 par $\frac{5}{9}$, on aura 22°,22 cent.

Si le nombre de degrés Fahrenheit à convertir en degrés centigrades était moindre que 32, on le retrancherait alors de ce dernier nombre pour avoir les degrés au-dessous de la glace fondante ; puis on multiplierait le reste par $\frac{5}{9}$. Par exemple, $14^{\circ} \text{ F.} = (32 - 14)$ ou $18^{\circ} \times \frac{5}{9} = -10^{\circ} \text{ cent.}$

151. *Thermomètre a maxima et a minima.* Ce thermomètre a pour but de faire connaître quelles ont été, dans un temps donné, la plus haute et la plus basse température d'un lieu et, par suite, la température moyenne de ce lieu*. Il se compose (fig. 110) de deux thermomètres ordinaires, coudés à angle droit et fixés horizontalement, l'un au-dessus de l'autre, sur une même planchette.

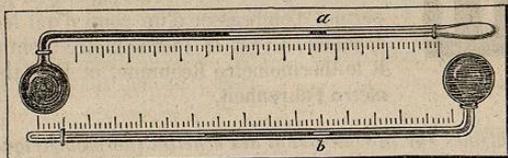


Fig. 110.

Le thermomètre supérieur (thermomètre *a maxima*) est à mercure, et contient dans sa tige, en contact avec la colonne mercurielle, un petit *index a* en acier. Quand le mercure se dilate, il pousse devant lui l'index. Quand, plus tard, la température s'abaisse, le mercure se retire, mais sans ramener avec lui l'index qu'il ne mouille pas, et avec lequel il n'a par conséquent aucune adhérence. Celui-ci reste donc en place et indique de la sorte la plus haute température éprouvée par l'instrument.

Le thermomètre inférieur (thermomètre *a minima*) est à alcool ; il contient également un petit *index b* en émail auquel adhère l'alcool en le mouillant. Quand la température s'abaisse, l'alcool en se retirant entraîne avec lui l'index ; mais si la température s'élève, le liquide passe entre celui-ci et les parois du tube, laissant ainsi cet index au point correspondant à la plus basse température. Quand on a pris note des degrés indiqués par les deux index, il suffit de redresser l'instrument pour remettre ceux-ci dans leur première position, c'est-à-dire aux sommets des colonnes mercurielle et alcoolique.

* Voyez plus loin, chap. XVI.

Remarque. — L'index dans le thermomètre *a maxima* se trouve toujours immédiatement au delà de la colonne mercurielle, tandis que dans le thermomètre *a minima* il est toujours immergé dans l'alcool. Par conséquent la température *maxima* est indiquée par le bout de l'index qui regarde le réservoir et, la température *minima* par le bout opposé.

152. *Thermomètres à gaz.* — Ces thermomètres sont au nombre de deux : le thermomètre différentiel de Leslie et le thermoscope de Rumford.

1^o *Thermomètre différentiel de Leslie.* Cet instrument est destiné à faire connaître les différences de température entre deux points voisins. Il se compose (fig. 111) d'un tube recourbé ABCD fixé à une planchette et terminé par deux boules de verre A et C remplies d'air. Le tube contient une certaine quantité d'acide sulfurique coloré dont les deux niveaux E, F, doivent être à la même hauteur dans les deux branches verticales, quand les boules sont à la même température. On marque zéro en regard de chacun de ces niveaux. Pour achever la graduation, on porte l'une des boules à une température qui surpasse de 10° celle de l'autre. L'air qu'elle contient se dilate et fait aussitôt baisser le liquide dans la branche correspondante en l'élevant dans l'autre branche. Quand l'équilibre est établi, on marque 10 de chaque côté, au point où s'arrête le liquide, puis on divise les intervalles compris entre 0 et 10 en dix parties égales. On porte ensuite les mêmes divisions au-dessus et au-dessous du zéro sur toute la longueur des branches.

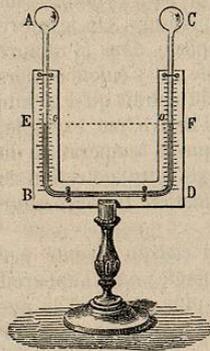


Fig. 111.

2^o *Thermoscope de Rumford.* Il ne diffère du précédent que par le volume plus considérable des boules, par la plus grande longueur de la branche horizontale qui porte la graduation, et par l'index dont la longueur ne dépasse pas 2 centimètres, et qui se tient au milieu de la branche horizontale quand les deux boules sont à la même température. Sa graduation et ses usages sont les mêmes que ceux du thermomètre de Leslie.

153. Pyromètres. — Ces instruments sont destinés à mesurer des températures très-élevées. On les emploie dans les fourneaux d'usines. Le pyromètre le plus en usage est celui de Wedgwood.

Pyromètre de Wedgwood. Il est fondé sur le retrait qu'éprouve l'argile par l'action de la chaleur, lequel provient probablement d'un commencement de vitrification.

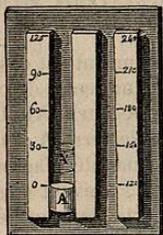


Fig. 112.

Il se compose (fig. 112) d'une plaque de cuivre sur laquelle sont fixées trois barres du même métal légèrement inclinées l'une à l'autre, afin de former deux rainures coniques se faisant suite, et divisées en 240 parties égales. Pour faire usage de cet instrument, on prend un petit cylindre d'argile A, préalablement desséché à la chaleur du rouge obscur, et d'un diamètre tel, qu'il entre dans la rainure juste au zéro de l'échelle. On porte alors ce petit cylindre dans

le fourneau dont on veut connaître la température. On le retire ensuite, et, lorsqu'il est refroidi, on le replace dans la rainure en le faisant glisser le plus loin possible. Il s'enfonce alors plus ou moins profondément en vertu du retrait qu'il a subi et qu'il a conservé en se refroidissant. S'il arrive, par exemple, en A' jusqu'au degré 30, on en conclura que la température du fourneau est à 30 degrés du pyromètre. Mais cette indication ne peut faire connaître qu'avec une approximation très-grossière la température réelle du fourneau.

On emploie quelquefois le *pyromètre à cadran* inventé par M. Brongniart, et qui a beaucoup d'analogie avec l'appareil représenté fig. 101. Mais le pyromètre le plus exact est le *pyromètre à air*, de Pouillet, ou thermomètre à air avec réservoir de platine.

**Coefficients de dilatation des solides, des liquides et des gaz ;
leurs usages. Poids spécifiques des gaz.**

154. Coefficients de dilatation des corps solides. — Nous avons vu que l'on distingue, pour les corps solides, deux espèces de dilatation : la *dilatation linéaire*, c'est-à-dire suivant une seule dimension, et la *dilatation cubique* ou en volume, c'est-à-dire

suivant les trois dimensions. Or, on appelle coefficient de dilatation linéaire d'une règle solide le nombre qui exprime l'allongement que prend l'unité de longueur de cette règle lorsque sa température s'élève de 1° centigrade, et coefficient de dilatation cubique d'un corps solide le nombre qui exprime l'accroissement de volume que prend l'unité de volume de ce corps lorsque sa température s'élève de 1° centigrade.

Dilatation linéaire. Les coefficients de dilatation linéaire des solides s'obtiennent par une méthode générale qui consiste à mesurer d'abord la longueur d'une barre d'un solide quelconque à 0° ; puis à porter cette barre à une température connue, et à mesurer de nouveau la longueur qu'elle prend à cette température. La différence entre cette seconde longueur et la première représentera évidemment la dilatation linéaire que la barre a subie en passant de 0° à la température donnée. Pour obtenir le coefficient, c'est-à-dire l'allongement qui correspond à un seul degré et à l'unité de longueur, on divisera alors la dilatation obtenue par la longueur de la barre et par la température à laquelle cette barre a été portée.

Désignons par δ le coefficient de dilatation linéaire, l la longueur de la barre à 0° et l' la longueur à la température t ; on aura

$$\delta = \frac{l' - l}{lt}$$

Cette méthode a été pour la première fois employée par Laplace et Lavoisier.

Leur appareil (fig. 113) consistait en une auge dans laquelle on pouvait mettre à volonté de la glace fondante, de l'eau bouillante ou de l'huile. Une barre AB du corps dont on voulait mesurer la dilatation était posée au fond de la cuve sur des rouleaux de verre. L'une des extrémités B s'appuyait contre un talon fixe, tandis que l'autre extrémité A était en contact avec une tige verticale OA mobile autour du point O et portant une lunette L. A une distance d'environ 200 mètres était placée verticalement et dans le plan du mouvement de la lunette une mire divisée EF. La barre étant d'abord environnée de glace fondante, on déterminait sur la mire la position du point C dans le prolongement de l'axe de la lunette. On versait ensuite de l'eau bouillante dans l'auge. La barre s'allongeant, la tige verticale OA prenait une nouvelle position OD, et on

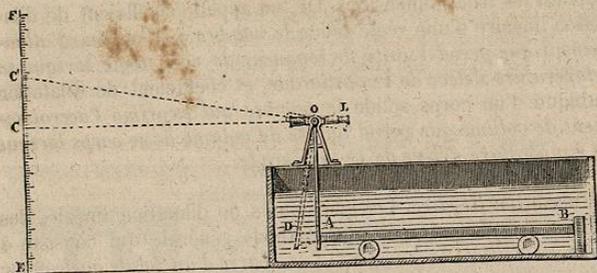


Fig. 113.

déterminait alors sur la mire le nouveau point C' dans le prolongement de l'axe de la lunette. En raison des triangles semblables AOD et COC' on a

$$\frac{DA}{CC'} = \frac{OA}{OC},$$

d'où l'allongement de la barre

$$DA = CC' \times \frac{OA}{OC}.$$

OA et OC étant déterminés une fois pour toutes, on voit qu'il était facile d'obtenir l'allongement de la barre, lequel allongement, divisé par la longueur de la barre à 0° et par le nombre indiquant l'accroissement de température, donnait le coefficient de dilatation linéaire du corps soumis à l'expérience.

Dilatation cubique. Le coefficient de dilatation cubique d'un corps est sensiblement le triple de son coefficient de dilatation linéaire.

Soit, en effet, l la longueur de l'une des dimensions d'un corps à 0°, l' la longueur de cette même dimension à la température de t °, et δ le coefficient de dilatation linéaire de ce corps, on aura

$$l' = l + l\delta \text{ ou plus simplement } l' = l(1 + \delta).$$

Soit maintenant V le volume du corps à 0°, V' son volume à

la température de t °, et k son coefficient de dilatation cubique; on aura de même

$$V' = V + Vk \text{ ou } V' = V(1 + k).$$

Or, le corps en se dilatant étant resté semblable à lui-même, les volumes V et V' sont proportionnels aux cubes des dimensions homologues l et l' : on aura par conséquent

$$\frac{V'}{V} = \frac{l'^3}{l^3},$$

en remplaçant V' et l' par leurs valeurs, il vient

$$\frac{V(1+k)}{V} = \frac{l^3(1+\delta)^3}{l^3},$$

d'où l'on déduit, en supprimant les facteurs communs V et l^3 ,

$$1+k = (1+\delta)^3.$$

En élevant au cube le binôme $(1+\delta)$ on a

$$1+k = 1 + 3\delta + 3\delta^2 + \delta^3$$

et enfin

$$k = 3\delta + 3\delta^2 + \delta^3.$$

Or, δ étant toujours, comme on peut le voir dans le tableau qui suit, une fraction très-petite, le carré et le cube de cette fraction peuvent être négligés, et l'on a sensiblement

$$k = 3\delta,$$

ce qu'il fallait démontrer. On démontrerait de la même manière que le coefficient de dilatation superficielle d'un corps solide est sensiblement le double de son coefficient de dilatation linéaire.

Les solides se dilatent plus ou moins selon leur nature; chaque solide a, par conséquent, son coefficient particulier de dilatation. Ce coefficient est sensiblement le même pour chaque degré entre 0 et 100°; mais, d'après les recherches de Petit et Dulong, il augmente et devient irrégulier à partir de 100° jusqu'au point de fusion.