

la chaleur

1ère PARTIE

la thermométrie et les dilatations

Le repérage des températures.....	p. 1
Les dilatations.....	p. 15
- solides	p. 17
- liquides.....	p. 30
- gaz.....	p. 40
L'équation d'état des gaz parfaits.....	p. 54
L'Osmose.....	p. 65



"Je dis souvent que si vous pouvez mesurer ce dont vous parlez et l'exprimer par un nombre, vous savez quelque chose de votre sujet. Mais, si vous ne pouvez l'exprimer par un nombre, vos connaissances sont d'une bien pauvre espèce et bien peu satisfaisantes; ce peut être le commencement de la connaissance, mais, vous êtes, à peine, dans vos pensées, avancé vers la science, quelqu'en puisse être l'objet."

*Lord KELVIN
(S. W. Thomson)*

I. LE REPERAGE DES TEMPERATURES

A. LA NOTION DE TEMPERATURE.

La notion de température nous est fournie par les impressions de "froid" et de "chaud". Si un corps est plus chaud qu'un autre, sa température par définition, est plus élevée. La température est donc une grandeur physique qui caractérise l'état d'échauffement d'un corps. Une idée grossière de la température nous est fournie par les sensations du corps humain : les impressions ressenties par le visage, les mains, nous permettent d'apprécier à quelques "degrés" près, la température ambiante. Cependant, ces sensations personnelles peuvent être systématiquement faussées par l'agitation de l'air, l'hygrométrie, l'accoutumance (X). Ce mode de détermination n'est donc ni juste, ni fidèle, ni sensible; de plus, nous savons tous, (hélas), que son domaine est très limité.

Mais si nos sensations sont trompeuses nous avons par contre à notre disposition un instrument courant, déjà bien ancien : le thermomètre. L'honneur de son invention semble revenir à Galilée (1597) ; son appareil était, à proprement parler, non un thermomètre mais un thermoscope : il pouvait montrer l'existence et le signe d'une différence ou d'une variation de température sans en donner la grandeur.

Tous les appareils construits peu après, présentèrent un grave inconvénient : munis de graduations arbitraires, ils étaient incomparables; les mesures physiques ne pouvaient guère en profiter. Boyle eut le premier l'idée d'adopter un point fixe comme zéro (la température de la glace fondante, par exemple). Mais ceci était encore insuffisant. Newton, en particulier, devait montrer la nécessité de deux (XX) points fixes et, le premier, il indiqua comme avantageuses, les températures constantes de la glace fondante d'une part et de la vapeur d'eau bouillante sous une atmosphère d'autre part (XX)

B. LES PHENOMENES THERMOMETRIQUES

Comment définir le degré d'échauffement d'un corps, c'est-à-dire son degré de température ? Pour cela un certain nombre de choix sont nécessaires.

1°. Choix du phénomène thermométrique

Un très grand nombre de grandeurs physiques sont affectées par les changements de température. Telles sont, par exemple, certaines grandeurs :

- géométriques : longueur, surface, volume qui (à quelques rares exceptions près (XXX)) augmentent légèrement avec la température
- mécaniques : pression d'une masse gazeuse donnée dont le volume demeure constant.
- électromagnétiques ; couleur (XXXX) résistance électrique, magnétique.

Les phénomènes mis en jeu peuvent donc être choisis pour définir la température, à condition toutefois de répondre aux exigences suivantes :

- (X) l'eau tiède paraît chaude à la main qui sort de l'eau froide, froide à celle qui sort de l'eau chaude.
- (XX) et de deux seulement
- (XXX) "transactions philosophiques" Newton (1701)
- (XXXX) l'eau entre 0 et 4°C, le caoutchouc...
- (XXXXX) l'éclat d'un corps chauffé passe du rouge sombre au blanc brillant à mesure que la température s'élève.

- a) condition caractéristique : la grandeur dont on évalue la variation doit être telle que toutes choses restant égales par ailleurs, elle ne puisse varier sans que la température varie.
- b) condition d'unicité : à une valeur "x" de cette grandeur, ne doit correspondre qu'une seule température "t" (K).
- c) condition de fidélité : si l'on détermine successivement la température d'un corps maintenu à température constante, on doit trouver chaque fois la même valeur "x" de la grandeur.
- d) condition de sensibilité : à de petites variations de la température doivent correspondre des variations appréciables du phénomène observé.
- e) condition d'identité : le thermomètre doit être comparable aux autres thermomètres utilisant les variations de la même grandeur physique d'une même substance, c'est-à-dire donner la même indication pour une même température.

2°) Choix d'une échelle thermométrique

Le phénomène thermométrique étant choisi, l'échelle thermométrique devra être fixée par le choix de :

- a) une relation arbitraire entre le nombre "t" qui mesure la température et le nombre "x" qui mesurera la grandeur thermométrique ; on la notera :

$$t = f(x) \quad (\text{K})$$

- Elle doit satisfaire aux exigences a et b du paragraphe précédent et comme on a tout intérêt à la prendre la plus simple possible (calculs simples, pas de températures privilégiées,) on choisira naturellement la fonction linéaire :

$$t = ax + b$$

- b) deux points fixes (si l'on choisit ainsi qu'il vient d'être dit une fonction linéaire) qui permettront de déterminer les deux constantes "a" et "b". Ils seront choisis parmi les températures de fusion ou d'ébullition des corps purs cristallins.

3°) Principe d'utilisation d'un thermomètre.

- a) l'équilibre thermique - principe fondamental.

La détermination des températures repose sur le principe suivant, indémontrable, qu'aucune expérience n'a pu infirmer et qui est également vérifiée par l'ensemble de ses conséquences :

Lorsque plusieurs corps sont en contact, ils finissent par avoir la même température.

Ceci indépendamment de leur nature, de leur masse, de leur température initiale. On dit alors qu'ils sont en équilibre thermique.

(K) les conditions 1 et 2 doivent définir ce qu'on appelle mathématiquement une relation réciproque (ou biunivoque).

(KX) on lit : "t est fonction de x".

b) utilisation

Lorsque l'on met en contact un thermomètre (κ) qui est à la température "t" avec un corps de masse et de nature quelconques ayant la même température, l'indication de l'appareil n'est pas modifiée. Le thermomètre indique donc sa propre température.

Mais si l'on met en contact deux thermomètres identiques ayant séjourné par exemple, l'un dans la glace l'autre dans la vapeur d'eau bouillante, le niveau du liquide s'élève dans le premier tandis qu'il s'abaisse dans le second. Quand l'équilibre est établi, les niveaux du liquide dans les deux appareils coïncident. Le second thermomètre a cédé de la chaleur au premier et les deux corps sont ainsi arrivés à une même température, intermédiaire aux deux températures initiales.

Supposons maintenant le premier thermomètre de masse négligeable par rapport à celle du second, mais cependant construit avec le même liquide contenu dans le même verre, de manière que les indications des deux instruments deviennent comparables. Alors la quantité de chaleur fournie au premier par le second pour établir l'équilibre de température est négligeable, et l'on vérifie en effet que la température finale indiquée par chacun des deux appareils se confond presque avec la température de l'eau bouillante ; à la limite, c'est-à-dire si la masse du premier était nulle, la coïncidence serait absolue.

Nous supposons toujours que la masse du thermomètre que l'on emploie est en effet extrêmement petite et alors son indication se confond avec la température initiale que l'on veut évaluer.

Il devient alors possible de définir l'égalité (ou l'inégalité de deux températures), mais la somme et le rapport restent inaccessibles (ils dépendent du thermomètre et de l'échelle choisie). Les températures ne se mesurent pas : elles se repèrent. ($\kappa\kappa$)

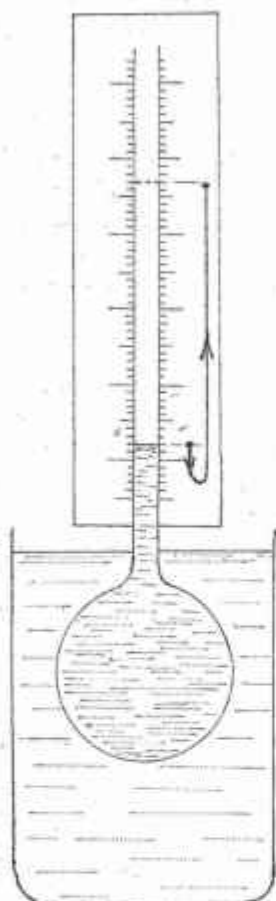
C. LE THERMOMETRE A DILATATION DE LIQUIDE

Le thermomètre à dilatation de liquide est un instrument familier à tout le monde ; mais on ignore bien souvent les conditions très strictes de construction et d'emploi, qui, seules peuvent faire de lui un instrument de haute précision.

1°) Principe

Si le phénomène thermométrique initialement choisi a été la dilatation apparente d'un liquide contenu dans une enveloppe de verre ($\kappa\kappa\kappa$) c'est qu'un tel thermomètre présente, du moins en apparence, une simplicité de construction et d'utilisation.

- (κ) on supposera ici qu'il s'agit de thermomètres à liquide que nous définirons au paragraphe suivant, mais que chacun connaît.
($\kappa\kappa$) autrement dit : la température ainsi définie, n'est pas une grandeur mesurable
($\kappa\kappa\kappa$) l'enveloppe se dilate elle aussi (moins que le liquide). L'étude détaillée de ce phénomène sera faite à propos de la dilatation des liquides.



L'augmentation de la température produit une augmentation du volume de l'enveloppe et une augmentation du volume du liquide plus importante que la précédente. Mais l'échauffement du verre précédant celui du liquide, il s'ensuit une augmentation de la capacité de l'enveloppe avant que le contenu ait commencé à se dilater : le niveau s'abaisse puis, remontant, dépasse largement le niveau initial, après quoi il se fixe lorsque l'équilibre thermique est atteint.

L'observation de la dilatation apparente du liquide nous permet de suivre les variations de la température. Celle-ci entraîne en effet, une variation de volume qui se traduit par une variation du niveau du liquide facile à mesurer. Le phénomène répond parfaitement aux exigences a et b (nous étudierons après les conditions c, d, et e).

Remarquons que si l'on choisit pour définir l'échelle thermométrique une relation linéaire ($t = ax + b$) les variations de température, sont proportionnelles aux variations de niveau du liquide. Soient en effet deux températures données, quelconques " t_1 ", et " t_2 " correspondant respectivement aux niveaux " α_1 " et " α_2 ", on a :

$$t_1 = a \alpha_1 + b$$

$$t_2 = a \alpha_2 + b$$

et en faisant la différence de ces deux égalités membre à membre

$$t_2 - t_1 = a (\alpha_2 - \alpha_1)$$

ou autrement dit :

$$\Delta t = a \Delta \alpha$$

Δt est bien proportionnel à $\Delta \alpha$; le coefficient de proportionnalité est "a".

Il s'ensuit qu'une variation de température est une grandeur mesurable : il est possible de définir, en plus de l'égalité, le rapport ou la somme de deux variations de température

Lorsque l'on a choisi deux points fixes la différence de niveau du liquide pour les deux températures correspondantes définit un intervalle qui sera, par conséquent, divisé en parties égales : le degré de l'échelle.

La graduation a donc bien un caractère arbitraire; elle dépend d'une part des points fixes adoptés, d'autre part du nombre de parties égales qui séparera l'intervalle correspondant.

2°) Les échelles thermométriques usuelles.

a) l'échelle Fahrenheit (1724)

L'allemand Fahrenheit fit du thermomètre un véritable instrument de précision. Il étudia le thermomètre à alcool et mit au point le premier thermomètre à mercure. Il adoptait comme point fixe :

- 0° F pour un mélange réfrigérant précis d'eau, de sel et d'ammoniac,
- 32° F pour la glace fondante.

Il devait préciser deux repères pour prolonger sa graduation : 96° F pour le corps humain et 212° F pour la vapeur d'eau bouillante.

b) L'échelle Réaumur (1730)

En 1730 le français Réaumur imagine un nouveau thermomètre à alcool, dont les graduations sont établies avec le plus grand soin et avec le souci d'obtenir entre les divers appareils des indications comparables. Il est le premier à donner de la température une définition pratique vraiment scientifique.

Il adopte pour point fixe :

- 0° R pour la glace fondante
- 80° R pour la vapeur d'eau bouillante

c) l'échelle Celsius (1742)

Le physicien suédois Celsius fait à son tour l'étude approfondie des points fixes de la solidification et de l'ébullition de l'eau et observe, en particulier, l'influence de la pression atmosphérique sur le second de ces points fixes. L'échelle qu'il proposa est aujourd'hui presque exclusivement adoptée dans tous les pays (π). Ses points fixes sont les mêmes que ceux choisis par Réaumur mais il pose :

- 0°C pour la glace fondante
- 100°C pour la vapeur d'eau bouillante sous 1 atm.

d) rapports entre ces différentes échelles

La différence de température entre le point de solidification et celui d'ébullition de l'eau est donc divisée respectivement en :

- 212 - 32 = 180 parties ou degrés dans l'échelle Fahrenheit
- 80 - 0 = 80 parties ou degrés dans l'échelle Réaumur
- 100 - 0 = 100 parties ou degrés, dans l'échelle Celsius.

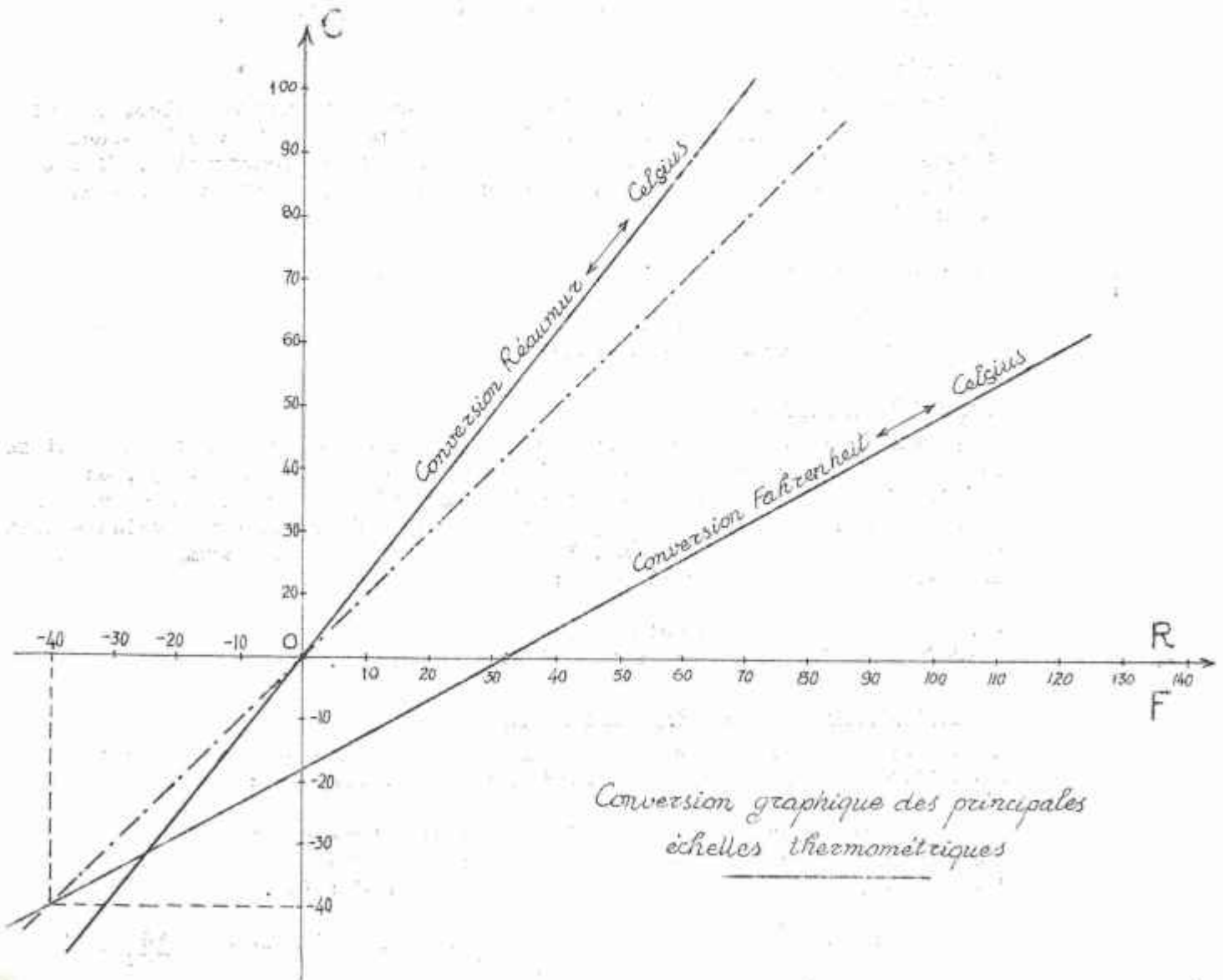
Un degré Celsius équivaut donc à $\frac{80}{100} = \frac{4}{5}$ de degré Réaumur et à $\frac{180}{100} = \frac{9}{5}$ de degré Fahrenheit.

(π) les pays anglo-saxons conservent encore l'échelle Fahrenheit.

On passera sans peine d'une de ces échelles à l'autre par les relations linéaires :

$$C = \frac{5}{4} R = \frac{5}{9} (F - 32)$$

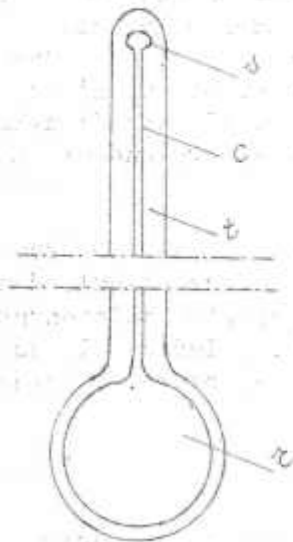
ou C désigne la température en degré Celsius,
 R désigne la température en degré Réaumur,
 F désigne la température en degré Fahrenheit.



Conversion graphique des principales échelles thermométriques

3°) Réalisation d'un thermomètre à mercure

a) description



Un thermomètre à mercure se compose :

- d'un réservoir (r) en verre mince (ж) d'une capacité qui est de l'ordre du centimètre cube.
- d'une tige (t) en verre épais (жж) percée d'un tube capillaire (c) d'un diamètre qui est de l'ordre du 1/10^e de mm. Ce canal intérieur doit être parfaitement cylindrique. Pour s'en assurer, on introduit dans le canal une colonne continue de mercure d'environ 5 cm que l'on déplace d'un bout à l'autre du tube. Si la colonne s'allonge ou se raccourcit de moins de 1 mm, le tube thermométrique est satisfaisant.

Ce canal et le réservoir, sont remplis de mercure et le tout est porté à une température supérieure à la température maximum pour laquelle le thermomètre est conçu. L'excédent de mercure chassé de la tige, on enferme alors à la lampe, l'extrémité. On ménage parfois une petite cavité pour prévenir le risque d'une dilatation un peu trop rapide : l'ampoule de sécurité (s).

- d'une graduation équidistante.

b) la graduation

Pour graduer un thermomètre on détermine :

- d'abord le point cent
- ensuite le point zéro
- on divise enfin l'intervalle zéro-cent en cent parties égales.

b₁) détermination du point cent :

C'est elle qui exige le plus de précautions. La température de l'ébullition de l'eau sous la pression d'une atmosphère est constante avons nous dit. Cela n'est vrai qu'après de nombreuses restrictions :

- il y a d'abord une influence exercée par l'impureté plus ou moins grande du liquide : de petites quantités d'un sel dissous dans l'eau retardent notablement son ébullition.
- il y a ensuite une indétermination qui provient de la profondeur à laquelle on plonge le réservoir : dans l'eau bouillante, la température croît depuis la surface jusqu'au fond.
- enfin la nature du récipient où se fait l'ébullition exerce une action que l'on peut constater ainsi :

de l'eau bout dans un ballon de verre ; supprimons la source de chaleur : l'ébullition cesse et l'eau commence à refroidir. En y jetant de la limaille d'ébullition reprend aussitôt (bien que ce corps froid ait dû refroidir encore le liquide). L'eau bout donc dans un vase de verre à une température plus élevée que dans un vase métallique. Gay-Lussac pût mettre ainsi une différence de 1°C.

(ж) pour que l'équilibre thermique soit rapide

(жж) pour éviter au maximum, les influences de la température sur la colonne émergente ; il se produit également un grossissement optique bénéfique pour la lecture.

Toutes ces causes jetteraient une grande incertitude sur la détermination du point cent si Rudberg n'avait montré qu'on peut les annuler toutes à la fois en plongeant le thermomètre non dans l'eau, mais dans la vapeur qu'elle fournit. Alors la pureté de l'eau n'est plus nécessaire, la nature du vase n'a pas d'influence, il n'y a plus à se préoccuper de la profondeur du liquide.

Pour déterminer le point cent on emploie une étuve à vapeur (figure ci-contre). La vapeur circule dans un manchon, où se trouve le thermomètre maintenant la température constante. Un manomètre indique l'excès de pression de la vapeur sur l'atmosphère. La pression de la vapeur est donc :

$$p = H + h \quad (\kappa)$$

si elle est exactement égale à l'atm. on grave un trait sur la tige au niveau atteint par le mercure et on marque 100 en regard de ce trait, sinon on doit effectuer une correction (ж).

b₂) détermination du point zéro

Aussitôt après on plonge le thermomètre tout entier dans une éprouvette à pied remplie de glace pilée fondante. Lorsque la colonne mercurielle est devenue stationnaire, ce qui ne tarde pas, on soulève la tige juste ce qu'il faut pour apercevoir le niveau d'effleurement du mercure : on grave un trait et l'on marque 0 en regard (жжж)

b₃) graduation de la tige.

L'intervalle entre les graduations 0 et 100 est divisé ensuite en 100 parties égales. Les 99 traits sont effectués automatiquement, avec une précision excellente à l'aide d'une machine à diviser.

La graduation peut être prolongée des deux côtés : au-delà de cent (101, 102...) et au-delà du zéro (-1, -2...)

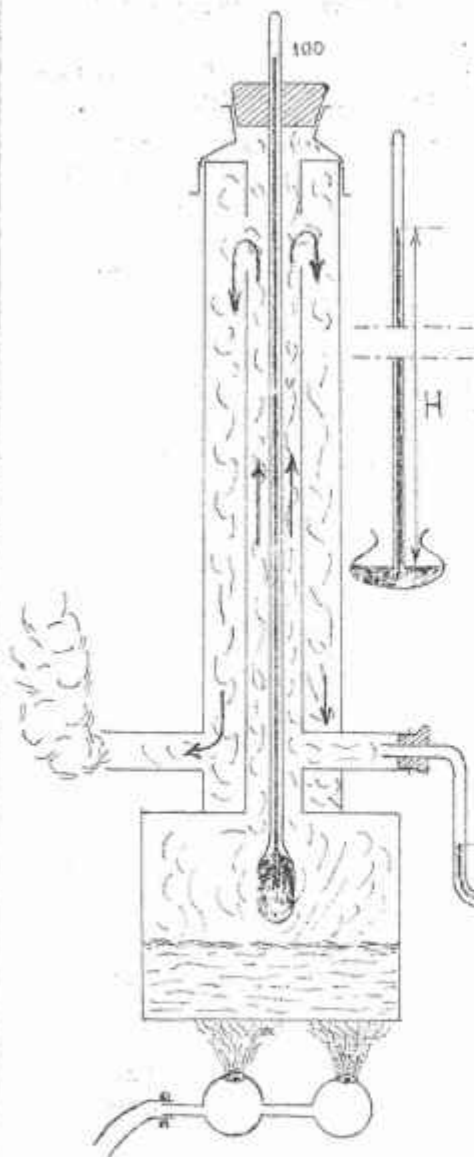
(жж) si la pression est p (en mm de mercure) la température déterminée est :

$$t = 100 + \frac{p - 760}{100}$$

27

(ж) les liquides barométriques et manométriques sont supposés identiques.

(жжж) s'il est nécessaire que l'eau soit pure, les variations de la pression atmosphérique sont pratiquement sans influence sur la température de solidification de l'eau.



4°) Les raisons du choix du mercure comme liquide thermométrique

Le choix du mercure comme liquide thermométrique n'a rien d'arbitraire ; il possède en effet, sur les autres liquides, de nombreux avantages :



Mercure

- il ne mouille pas le verre ; il ne retire donc dans le réservoir quand la température décroît, sans laisser de trace dans le tube capillaire ; d'autre part il fournit un ménisque convexe qui facilite la lecture.

- c'est un métal, donc un très bon conducteur de la chaleur : l'équilibre thermique est rapidement atteint.

- il s'obtient très pur par distillation

- il ne fournit que relativement peu de chaleur, même à des températures assez élevées (8 atm vers 450°C).

- il convient assez bien au domaine courant des températures à rep puisque son point de solidification est d'environ -39°C tandis que son point d'ébullition (sous atm) est de 357°C. En utilisant des verres durs, résistant bien, à haute température, aux effets de la pression ; on a pu construire des thermomètres à mercure utilisables jusque vers 500°C (la température d'ébullition d'un corps s'élève quand la pression augmente). Grâce à l'introduction d'un gaz sur le mercure, on empêche l'ébullition de celui-ci et l'on peut alors étendre l'usage de l'instrument jusqu'à 800° ; mais cela exige la substitution de la silice fondue au verre (lequel est inutilisable car il se ramollit et se déforme sous la pression de la vapeur de mercure.



Cas général

Le mercure présente cependant l'inconvénient d'être environ dix fois moins dilatable (κ) que la plupart des autres liquides, ce qui nécessite l'emploi d'un tube de très petit diamètre intérieur et d'un réservoir important.

5°) Les qualités d'un thermomètre

a) sensibilité

Les deux facteurs de la sensibilité d'un thermomètre sont la capacité du réservoir et le diamètre du tube capillaire. En augmentant le premier et en diminuant le second, on accroît la sensibilité de l'appareil. Cependant, on ne peut jouer indéfiniment sur ces deux facteurs : le réservoir doit être suffisamment petit pour que l'équilibre thermique se produise dans un laps de temps raisonnable et le tube capillaire ne doit pas être trop fin (ce qui aurait pour effet de provoquer des ruptures de la colonne mercurielle pendant le refroidissement.

En effectuant la graduation sur une partie seulement de l'intervalle 0-100, on obtient facilement le 1/20^e et même le 1/50^e de degré. Avec une échelle réduite à quelques degrés seulement on peut obtenir le 1/200^e de degré. Ceci constitue une limite à cause du défaut de fidélité de l'instrument.

(κ) une augmentation de température de 1°C détermine une dilatation apparente de 1/6500^e de son volume.

b) fidélité

Un thermomètre sensible n'est pas un appareil fidèle : en le plongeant alternativement dans la glace fondante, puis dans l'eau bouillante et en le replaçant finalement dans la glace, il n'indique plus la même température. La différence observée qui peut-être de quelques dixièmes de degré au maximum, est due à un résidu de dilatation du verre : le réservoir ne reprend son volume primitif qu'au bout d'un temps très long (plusieurs semaines, voire plusieurs mois). Le phénomène est connu sous le nom de déplacement du zéro : Le zéro éprouve ainsi un abaissement momentané chaque fois que le thermomètre passe à une température plus élevée ; autrement dit, à chaque température correspond un zéro particulier. Des verres durs spéciaux atténuent le phénomène sans vraiment le faire disparaître. Vers 1960, on a repris l'étude des thermomètres en silice fondue : cette substance est totalement affranchie du déplacement du zéro ; malheureusement les difficultés que présente son travail, rendent délicate la réalisation de tubes d'une régularité parfaitement satisfaisante.

Dans la pratique il est donc nécessaire d'effectuer une correction, si l'on veut obtenir une mesure précise. Pour un verre donné, la correction peut-être fournie par une table. Mais l'application judicieuse de cette correction exige que le thermomètre soit resté un certain temps à la température, supposée fixe, que l'on veut déterminer ; sinon, il faut aussitôt après la prise de température, faire une nouvelle détermination du zéro.

Cette correction est bien sûr inutile si l'on veut mesurer une différence de deux températures : il suffit alors de mettre le thermomètre en contact avec la substance la plus chaude.

c) justesse

Par construction tous les bons thermomètres sont justes pour deux températures 0°C et 100°C . Mais il n'est pas évident qu'ils demeurent d'accord à toute température, car il faudrait pour cela que les lois de leur dilatation fussent identiques, ce qui n'est pas rigoureusement vrai. L'irrégularité de dilatation des différentes enveloppes peut ainsi atteindre quelques dixièmes de degré.

Devant les défauts du thermomètre à mercure, on a choisi pour définir l'échelle de température légale un autre phénomène thermométrique. L'étude des isothermes des gaz a montré qu'aux pressions infiniment petites, en prenant comme grandeur thermométrique la pression à volume constant, les thermomètres à gaz définissent une échelle indépendante de celle que définirait un gaz parfait. L'échelle Celsius du thermomètre à gaz parfait a été adoptée comme échelle internationale pratique, s'approchant le mieux possible de l'échelle thermodynamique absolue reconnue formellement comme échelle fondamentale.

D. LES AUTRES THERMOMETRES

1°) Les thermomètres à dilatation

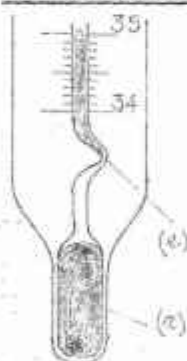
a) divers liquides employés.

Divers liquides sont employés pour le remplissage des thermomètres. Les points de changement d'état (ébullition, fusion) donnent les limites entre lesquelles ils peuvent être utilisés. On emploie ainsi l'alcool entre -70 et $+70^{\circ}\text{C}$; ces thermomètres, bon marché, à lecture très facile, présentent des différences (allant jusqu'à 1°C) avec les thermomètres à mercure. On utilise en dessous le toluène (-100°C), puis certains éthers de pétrole qui ne sont pas congelés à la température de l'air liquide. (pentane : -200°C) mais qui, présentant le même inconvénient, rendent indispensable les corrections.

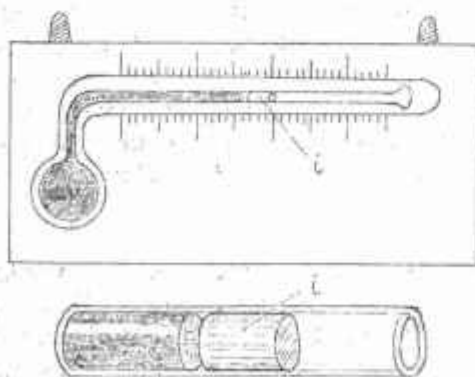
Pour les hautes températures (1000°C), des thermomètres à gallium ou à étain sous enveloppe de quartz ou de silice fondue ont pu être utilisés.

b) divers usages

les thermomètres à liquide se prêtent pour des usages spéciaux, à une foule de modifications. Nous nous bornerons à signaler les plus simples plutôt que les plus intéressantes.

b₁) le thermomètre médical : c'est un thermomètre à mercure gradué en $1/10^{\text{e}}$ 

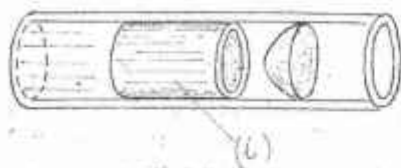
de degré de 34 à 42°C . Le tube capillaire comporte un étranglement (e) qui, brisant la colonne mercurielle, empêche le mercure de revenir dans le réservoir (r). La colonne s'immobilise donc dans la position correspondant à la plus haute température à laquelle le thermomètre est soumis : c'est un thermomètre à maximum. Pour remettre l'instrument en état après une observation, on lui imprime des secousses brusques de haut en bas.

b₂) le thermomètre à maxima ; en dehors du modèle précédent,

il existe d'autres types de thermomètre à maxima. Daniel Rutherford (R) imagina un thermomètre à mercure qui, s'il était gradué comme tous les autres, présentait la particularité d'être tenu horizontalement et de contenir dans sa tige, au delà de la colonne mercurielle un petit cylindre de fer (i). Quand la température s'élève, l'index est chassé par le mercure ; quand elle baisse, le mercure se contracte et reflue vers le réservoir, mais il laisse l'index au point où il l'a poussé au moment du maximum. On ramène l'index contre la colonne mercurielle à l'aide d'un aimant.

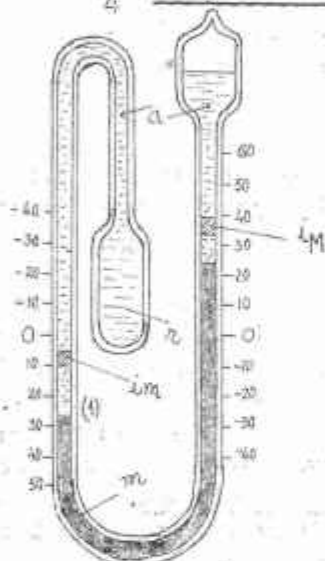
(R) médecin, physicien et botaniste anglais (1749-1819) qui entre autres choses a découvert l'azote. A ne pas confondre avec Lord Ernest Rutherford (1871-1937) auteur de la découverte de la radioactivité (1899) et de la première transmutation (1919) : (Prix Nobel de Chimie 1908).

- b₃) le thermomètre à minima ; le même physicien que précédemment devait construire également un thermomètre à alcool ne différant des autres que par sa position horizontale et un petit index (i) tube creux, coloré, qui plonge dans l'alcool. Si la température croît, l'alcool dépasse l'index sans le déplacer, mais si elle diminue, le sommet de la colonne d'alcool rétrograde, atteint l'index et l'entraîne avec lui par adhérence jusqu'au point où il se fixe au moment du minimum.

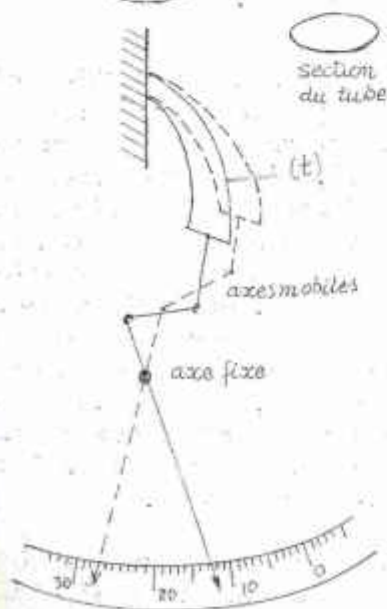


Ces deux appareils ne peuvent servir que dans des observations fixes ; les chocs déplaceraient les index.

- b₄) le thermomètre à maxima-minima ; le thermomètre de Six et Bellani rassemble en un seul appareil les possibilités des deux précédents. Il se compose d'un réservoir (r) plein d'alcool (a), d'un tube en U contenant une colonne de mercure (m) et d'un tube étroit où se trouve encore de l'alcool. Quand la température croît le niveau (1) baisse, le niveau (2) monte ; le contraire a lieu si elle décroît. Au-dessus de (1) et (2) sont deux index de fer émaillé glissant à frottement très doux dans le canal thermométrique. Quand l'un des sommets (1) ou (2) s'élève, l'index qui lui est superposé est chassé par le mercure et s'élève avec lui ; mais quand il baisse, l'index reste dans l'alcool à l'endroit où il a été soulevé. On voit que l'index i_M marquera les maxima et que i_m donnera les minima. Après chaque observation, on ramène les index en contact avec le mercure à l'aide d'un aimant.



- b₅) le thermomètre Richard : un tube déformable (t), recourbé, à section aplatie est rempli de pétrole ; quand la température varie, le volume du liquide varie avec elle : l'enveloppe se déforme ; ces déformations sont transmises, amplifiées par des leviers, à une aiguille susceptible de se déplacer devant un cadran, ou à un stylet enregistreur inscrivant les variations de température en fonction du temps sur un tambour enregistreur mû par un mouvement d'horlogerie (κ). De toute façon l'appareil est étalonné d'après un thermomètre à mercure. Il est d'un usage particulièrement pratique en météorologie.



Comme tous les appareils utilisant des déformations métalliques, ces thermomètres sont peu fidèles ; ils doivent être munis d'un système de ré-étalonnage. Il existe bien d'autres thermomètres que nous ne ferons que mentionner ici soit qu'ils seront étudiés ultérieurement, soit qu'ils ne rentrent pas dans le cadre de cet ouvrage :

(*) l'appareil est alors un thermographe.

c) les thermomètres à dilatation de solide.

d) les thermomètres à dilatation de gaz.

2°) Les thermomètres à vapeur saturante

Selon la substance utilisée ils s'adaptent à tous les domaines : le thermomètre à pression de vapeur saturante d'hélium permet d'atteindre des températures de l'ordre de -272°C (c'est-à-dire 1° Kelvin ou absolu (μ))

Jusqu'à la température ambiante on utilise successivement l'oxygène, le méthane l'éthylène, l'ammoniac, l'anhydride sulfureux, le sulfure de carbone : aux températures supérieures, les liquides les plus couramment utilisés sont l'eau, le benzène et le mercure.

3°) les thermomètres électromagnétiques

On peut les classer de la manière suivante :

a) les thermomètres électriques

Ils sont de deux sortes :

- les thermo-couples
- les thermomètres à résistance

b) les thermomètres à magnétisme

Ils permettent d'atteindre des températures extrêmement basses, toutes proches du zéro absolu (jusqu'à $0,003^{\circ}\text{K}$).

c) les thermomètres à radiation

La couleur des radiations émises par un corps chauffé donne des indications sur la température de ce corps. Le procédé est depuis bien longtemps utilisé par les verriers, les céramistes, les fondeurs..... En 1836, le physicien Pouillet détermina les températures suivantes :

rouge naissant 525°C	orange foncé	1100°C
rouge sombre 700°C	blanc	1300°C
rouge cerise 900°C	blanc éblouissant	1500°C

Quelques pyromètres ($\mu\mu$) destinés aux repérages précis des hautes températures reposent sur ce principe.

Tous les procédés indiqués ci-dessus peuvent servir à réaliser des thermomètres de précision, ou des instruments grossiers : toute la différence réside dans la finesse de la construction et dans les précautions prises à l'emploi. Notons enfin, les procédés grossiers de repérage approximatif de certaines températures industrielles reposant sur la dilatation d'un solide réfractaire, la fusion échelonnée, de divers matériaux, les changements de coloration de certaines peintures .

(μ) nous précisons ultérieurement ce qu'il faut entendre par "degré Kelvin" (symbole $^{\circ}\text{K}$) et par "température absolue".

($\mu\mu$) on désigne ainsi les thermomètres destinés aux très hautes températures.

E. LE SENS PHYSIQUE DE LA TEMPERATURE

Le choix de deux points fixes et d'une division de l'intervalle correspondant détermine complètement à la fois une échelle et la valeur du degré. Les températures inférieures au premier point fixe sont alors négatives.

Non seulement de telles conventions sont arbitraires, mais elles offrent l'inconvénient majeur d'ignorer le sens physique de la température. Ce n'est qu'au XIX^e que les physiciens l'ont compris, en découvrant que la température d'un gaz reflète l'énergie de ses molécules. (κ)

Lorsque cette énergie est nulle la température, elle aussi, doit être nulle; Expérimentalement les physiciens déterminèrent alors la valeur de ce zéro; ils découvrirent qu'il se trouvait légèrement en dessous de $-273,15^{\circ}\text{C}$. Et il n'y avait évidemment aucun espoir pour que sa valeur puisse être fixée rigoureusement avec les conventions adoptées: il fallait, à première vue, se résoudre à connaître la valeur du zéro absolu avec un nombre croissant de décimales au fur et à mesure que la précision des mesures s'améliorait.

Cette situation était inadmissible: il est logique en effet, puisque nous disposons d'une valeur origine, de compter les températures à partir d'elle. Ainsi le zéro absolu devenait un point fixe de la nouvelle échelle des températures (κκ). Désormais, par définition, la valeur du zéro absolu est donc exactement de $-273,15^{\circ}\text{C}$. On ne peut plus dire maintenant que la glace fond à 0°C et que l'eau bout à 100°C sous la pression d'une atmosphère. Les points de changement d'état de l'eau seront déterminés avec des précisions croissantes alors que la position du zéro absolu ne souffrira aucune modification.

- (κ) la température d'un corps a pour origine le mouvement des atomes qui le constituent. Ce mouvement résulte d'oscillations ou de translations. Dans un cristal les atomes vibrent autour de leur position d'équilibre avec les amplitudes d'autant plus grandes que la température est plus élevée, l'amplitude restant constante pour une température donnée. Dans un gaz, les molécules soumises à des chocs, parcourent des zigzags avec une vitesse moyenne constante pour une température donnée.
- (κκ) Le second point fixe est le point triple de l'eau (point d'équilibre, glace, eau vapeur) fixé exactement à $273,16^{\circ}\text{K}$. L'intervalle, la valeur du degré, restent inchangés. On passe donc des températures à l'échelle Celsius par la relation: $t (^{\circ}\text{C}) = T (^{\circ}\text{K}) - 273,15$.