

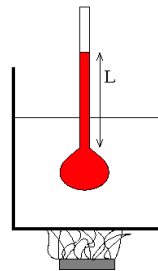
Echelles de température

Vous avez tous déjà mesuré une température, mais savez-vous pour autant définir précisément ce qu'est la température? Avant de la définir du point-de-vue microscopique (température *cinétique*), cette grandeur a d'abord été appréhendée du point-de-vue macroscopique. Comment la mesure-t-on? Du point-de-vue expérimental, peut-on parler de "La" température ou existe-t-il plusieurs températures?

1. Equilibre thermique et principe zéro

Essayons de construire une définition expérimentale précise de la température, une grandeur qui permettrait de quantifier le "chaud" et le "froid". Une des manifestations connues des effets du chauffage est la *dilatation*. On fabrique alors ainsi notre premier thermomètre : un capillaire à réservoir rempli d'alcool coloré en rouge. Par dilatation du liquide, la longueur colorée L se modifie au contact du corps dont on souhaite mesurer la température. A ce stade, on peut donc définir la température par $\Theta = L$.

On souhaite mesurer la température d'un récipient d'eau chauffé. Pour que l'expérience soit reproductible, il faut un protocole rigoureux : on trempe le capillaire dans l'eau et on attend que L se stabilise.



Définition : EQUILIBRE THERMIQUE

Le bain-marie et le capillaire sont en équilibre thermique lorsque la longueur L devient **stationnaire**.

On souhaite maintenant fabriquer d'autres thermomètres un peu différents pour élargir le domaine des mesures possibles. Mais vont-ils indiquer la même "température" L que le précédent dans le bain-marie? Il y a toutes les chances que non bien sûr. Cependant il n'est pas pratique d'avoir autant d'échelles de température que de thermomètres... Il faut donc postuler l'existence d'une grandeur température Θ commune, reliée à L par une relation mathématique qui varie selon le thermomètre. Comme la mesure de cette température requiert l'équilibre thermique entre le corps étudié et chaque thermomètre, ce postulat d'existence revient à considérer que la relation d'équilibre thermique est une propriété transitive.

Principe Zéro de la thermodynamique : Deux systèmes en équilibre thermique avec un troisième système sont en équilibre thermique entre eux.

Ce principe nous permet de construire une échelle de température qui soit indépendante du thermomètre utilisé. Toutefois, cette échelle n'est pas unique car il y a plusieurs manières de la construire.

2. Echelles de température

a) Grandeurs thermométriques et repérage des températures

Notre échelle de température repose sur le phénomène de dilatation/contraction d'un liquide. On postule donc une relation mathématique entre la température et longueur L , du type $\Theta = f(L)$. On dit alors que L est une *grandeur thermométrique*.

Il existe d'autres grandeurs thermométriques utiles pour fabriquer des thermomètres utilisables dans différents contextes expérimentaux. Citons par exemple la résistance d'un conducteur ohmique¹ (thermistances), la tension aux bornes d'un thermocouple (effets thermoélectriques : Seebeck, Peltier), le flux d'énergie associé au rayonnement électromagnétique des corps (corps noir, gris etc, utilisation dans les pyromètres ou les thermopiles).

Revenons à notre thermomètre à alcool. La température augmente avec L . On peut décrire les variations par un développement polynômial comme dans les développements limités, au voisinage d'un état de référence :

$$\Theta = \alpha + \beta L + \gamma L^2 \quad \text{avec} \quad \beta, \gamma > 0.$$

Les coefficients vont dépendre du thermomètre (type de liquide, composition, taille du réservoir, section du cylindre...). Pour les déterminer, on *étalonne* le thermomètre par comparaison avec d'autres thermomètres sur des systèmes de référence dont la température est réputée fixée. Ces systèmes sont appelés *repères thermométriques* ou "points fixes"².

1. vous l'avez remarqué en TP d'électronique!

2. La compréhension de la nature de ces repères thermométriques nécessite le cours sur les changements d'états : à pression fixée, un corps pur en équilibre sous deux phases a toujours la même température. D'autre part, un corps pur en l'équilibre sous trois phases a ses températures et pression fixées (point triple).

Définition : ECHELLE CENTÉSIMALE LINÉAIRE

- on choisit une loi linéaire : $\Theta = \alpha + \beta L$
- on étalonne avec 2 points-fixes :
 1. mélange { eau liquide + eau solide (glace) } à l'équilibre sous $p = p_{\text{atm}} = 1013 \text{ hPa}$: $\Theta_0 = 0$.
 2. mélange { eau liquide + eau vapeur } à l'équilibre sous $p = p_{\text{atm}} = 1013 \text{ hPa}$: $\Theta_{100} = 100$.

On remarque qu'on a pas encore donné d'unité à Θ ... car nous n'avons pas de base solide pour le faire. En fait il s'agit seulement d'un repérage des températures sur le capillaire via la grandeur thermométrique L . Sur le capillaire, on trace 99 graduations entre les positions L_0 et L_{100} . Plus généralement, pour une grandeur thermométrique quelconque G , on crée l'échelle centésimale linéaire grâce aux 2 points-fixes via la relation linéaire

$$\Theta = \frac{G - G_0}{G_{100} - G_0} * 100.$$

b) Température absolue

L'étude des gaz à basse pression (diagramme d'Amagat) a montré que pour un gaz quelconque,

$$pV \xrightarrow{p \rightarrow 0} b_{\Theta,n}$$

où $b_{\Theta,n}$ est proportionnel à n et croît avec la température. Donc $b_{\Theta,n}/n$ est une grandeur thermométrique. Le dispositif expérimental de mesure de $b_{\Theta,n}$ peut être vu comme un *thermomètre à gaz*.

Pour deux températures Θ_1 et Θ_2 (repérées par L_1 et L_2), le rapport $b_{\Theta_2,n}/b_{\Theta_1,n}$ ne dépend que de Θ_1 et Θ_2 . D'où l'idée de définir l'échelle de température absolue par

$$\frac{b_{\Theta_2,n}}{b_{\Theta_1,n}} = \frac{\Theta_2}{\Theta_1}$$

Il suffit alors de fixer une seule température de référence Θ_R , l'échelle est dite "à un point fixe".

Définition : ECHELLE DE TEMPÉRATURE ABSOLUE - T

Mesurée en *Kelvin* (K), la température absolue est définie par ^a

$$T = T_R \frac{b_T}{b_{T_R}} \quad \text{avec} \quad T_R = 273,16 \text{ K}$$

T_R est la température affectée arbitrairement au point fixe constitué par le point triple de l'eau, c'est-à-dire le système {eau vapeur + eau liquide + eau solide} à l'équilibre.

^a. En pratique on utilise un thermomètre à dihydrogène H_2 .

Le choix de cette valeur pour T_R permet de se rapprocher des échelles centésimales en imposant, entre les points fixes cités ci-dessus, que $T_{100} - T_0 = 100 \text{ K}^3$. On obtient alors $T_0 = 273,15 \text{ K}$ et $T_{100} = 373,15 \text{ K}$. On remarque que par définition on a toujours $b_T > 0$ donc $T > 0$.

A partir de cette échelle, on peut construire l'**échelle Celsius** ($^{\circ}\text{C}$) par

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

C'est une échelle centésimale linéaire⁴, mais elle ne coïncide avec les autres échelles centésimales linéaires qu'en t_0 et t_{100} , car elle ne sont pas construites avec la même grandeur thermométrique.

3. T_R est donc imposée par les trois points fixes : $T_R = \frac{b_{T_R}}{b_{T_{100}} - b_{T_0}} (T_{100} - T_0) = \frac{b_{T_R}}{b_{T_{100}} - b_{T_0}} * 100$.

4. On a en effet $t(^{\circ}\text{C}) = \frac{b_T - b_{T_0}}{b_{T_{100}} - b_{T_0}} * 100$.