

## La température et sa mesure

Il fait chaud, il fait froid sont des notions relatives. Seule la mesure de la température permet d'en avoir une grandeur quantitative et donc de faire des comparaisons.

Le thermomètre est un instrument qui sera placé en équilibre thermique avec le corps dont on veut mesurer la température.

### 1. Les échelles de température

#### a. La température Celsius

Il s'agit d'une échelle centésimale définie par 2 points fixes. La température de la glace fondante formée d'eau pure est à 0 °C. La température de l'eau bouillante sous la pression atmosphérique normale est à 100 °C.

#### b. La température Fahrenheit

Utilisée encore aujourd'hui dans les pays anglo-saxons, la température de la glace fondante est à 32 °F, celle de l'eau bouillante à 212 °F. L'écart est donc de 180 °F. La conversion implique :  $T_C = 5/9 (T_F - 32)$  ou  $T_F = 9/5 T_C + 32$ .

#### c. La température absolue ou Kelvin

Nous justifierons à partir de la loi des gaz parfaits  $pV = nRT$  l'existence d'une température toujours positive, l'échelle est centésimale et  $T_K = T_{°C} + 273,15$ . L'échelle n'a plus besoin que d'un point fixe. On choisit le point triple de l'eau où il y a coexistence entre les 3 phases de l'eau : la température de 273,16 K à la pression de 610 Pa.

### 2. Les différents types de thermomètres

#### a. Les thermomètres à dilatation

Un corps chauffé se dilate.

On aura couramment des thermomètres à liquide avec de l'alcool ou du mercure.

Un métal peut aussi servir de thermomètre. Cela conduira à un essai de dilatométrie.

La relation générale est de la forme :  $dl = \alpha l dT$  et par conséquent  $dV = 3 \alpha V dT$  en effet  $\frac{dV}{V} = 3 \frac{dl}{l}$ .

Ces lois ne sont valables que dans des intervalles de température pour lesquelles  $\alpha$  est constant. Il faut faire attention car il existe de nombreuses anomalies.

La dilatation de l'eau passe par un minimum à 4°C. Les changements de variétés allotropiques des solides conduisent à des anomalies au chauffage ou au refroidissement en particulier en fonction de la vitesse de refroidissement. La plus classique est le passage du fer  $\alpha$  au fer  $\gamma$  qui provoque une contraction du matériau.

Pour les solides, il faut tenir compte de la dilatation du support.

Pour les liquides, il faut aussi être attentif à la dilatation de l'enveloppe. La silice a un coefficient de dilatation suffisamment faible pour être négligeable devant celui du liquide qu'il contient.

	Coefficient de dilatation linéaire		Coefficient de dilatation volumique
Silice	$0,3 \cdot 10^{-6}$	Mercure	$1,82 \cdot 10^{-4}$
Verre Pyrex	$3,3 \cdot 10^{-6}$	Alcool	$1,12 \cdot 10^{-3}$
Fer $\alpha$	$11,7 \cdot 10^{-6}$	Eau (4 à 50 °C)	$2,4 \cdot 10^{-4}$
Fer $\gamma$	$20 \cdot 10^{-6}$		
Invar	$1 \cdot 10^{-6}$		
Cuivre	$17,8 \cdot 10^{-6}$		

### b. Les thermomètres à résistance électrique

En général, la résistance augmente avec la température. Une résistance de géométrie simple est telle que  $R = \rho \frac{L}{S}$  en  $\Omega$ . La résistivité  $\rho$  varie avec la température :  $\rho = \rho_0(1 + a \Delta T)$ .

Naturellement, les métaux les plus utilisés comme conducteurs sont le cuivre et l'aluminium car les plus conducteurs et les moins onéreux.

Pour mesurer la température, on utilisera le platine, quasiment linéaire dans un large domaine de température de -200 à 600 °C. Le nickel a une bonne sensibilité et un cout moindre dans le domaine -60 à 180 °C.

	Résistivité à 20°C	Coefficient de température °C <sup>-1</sup>
Cuivre	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Aluminium	$2,63 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Nickel	$7,0 \cdot 10^{-8}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$
Platine	$10,4 \cdot 10^{-8}$	$3,93 \cdot 10^{-3}$

Il existe aussi des composants électroniques appelés thermistances dont le coefficient de température est négatif (CTN).

Elles suivent une loi de la forme :  $R = A^{B/T}$  où T est en K. On notera que  $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$  est linéaire.

Afin de ne pas provoquer l'auto échauffement de ces résistances, ce qui perturberait la mesure, on mesure la résistance avec un ohmmètre, un pont de Wheatstone ou de Thomson, avec un ampèremètre et un voltmètre relié à un générateur à condition que l'intensité du courant soit suffisamment faible.

### c. Les thermomètres à mesures de tension

Il s'agit des thermocouples. Leur fonctionnement repose sur plusieurs effets :

- L'effet Peltier : il existe une force électromotrice de contact entre 2 métaux différents.

	fem en mV
Fer - cuivre	3
Cuivre - zinc	0,03

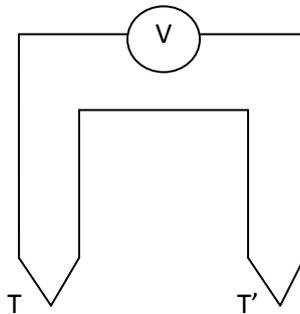
Suivant le passage du courant, la puissance est dissipée ou absorbée. On a donc  $P = RI^2 \pm eI$ . On utilise cet effet pour refroidir par exemple les enceintes ou les composants des panneaux solaires.

- L'effet Thomson : il apparait une fem entre 2 points d'une barre homogène à des températures différentes.

On peut écrire la relation sous la forme de  $e = h dT$  où  $h$  est en  $V \cdot ^\circ C^{-1}$

	$h$ en $\mu V \cdot ^\circ C^{-1}$
Cuivre	2,2
Fer	8,4

- L'effet Seebeck : il apparait un courant lorsque l'on soude 2 métaux différents et que les soudures sont à des températures différentes. C'est l'effet thermoélectrique. On mesure une tension si on place un voltmètre dans le circuit.



Pour les métaux, la tension est entre 2 et 70  $\mu V$  par  $^\circ C$ .

Les thermocouples les plus utilisés aujourd'hui sont de type K, constitués par du nickel-chrome/ nickel-aluminium. Ils sont très linéaires entre  $-260$  et  $1250$   $^\circ C$  avec un pouvoir thermoélectrique de  $41$   $\mu V$  par  $^\circ C$ .

#### d. Les thermomètres à rayonnement

Leur principe de fonctionnement sera développé dans le chapitre sur le rayonnement.

Ils captent la lumière émise ou seulement sa partie infrarouge et traduisent l'intensité du rayonnement en température.