

CHAPITRE 4

TEMPERATURE ET THERMOMETRIE

I. TEMPERATURE, NOTION INTUITIVE

La température est une notion intuitive qui prend naissance dans la sensation de chaud et de froid sans qu'il soit possible de "la mesurer ou de la repérer".

Cette notion subjective est inséparable de la notion de transfert d'énergie.

II. CONCEPT PHYSIQUE DE TEMPERATURE

La **température** traduit l'**énergie d'agitation des molécules**.

Augmenter la température d'un corps revient donc à augmenter l'agitation moléculaire. On peut admettre des vitesses de plus en plus grande (sans limite supérieure) et une vitesse inférieure nulle correspondant au zéro absolu.

PRINCIPE 0 DE LA THERMODYNAMIQUE

Deux corps en équilibre thermique avec un troisième sont en équilibre entre eux.

Ce principe permet de définir le concept de température.

III. PHENOMENES THERMOMETRIQUES

On détermine la température par l'intermédiaire d'un phénomène physique accompagnant les variations de température.

exemples :

- dilatation d'un liquide : thermomètres à alcool, à mercure;
- variation d'une résistance : thermomètre à résistance, thermistance ou CTN (coefficient thermique négatif)
- émission d'un rayonnement : pyromètres optiques

Un phénomène thermométrique est d'autant plus intéressant à utiliser qu'il est :

- fidèle
- qu'il ne varie qu'en fonction de la température
- qu'il est sensible
- que sa plage de mesure est maximale
- qu'à une valeur de la température corresponde une seule valeur de la grandeur et réciproquement (relation biunivoque, bijection).

On appelle le coefficient thermométrique le coefficient k tel que

$x = x_0(1 + K\theta)$ ou x est la grandeur thermométrique et θ la température.

IV. ECHELLES DE TEMPERATURE

Pour construire une échelle de température il faut nécessairement :

- une relation liant la température à la grandeur thermométrique x
- des points fixes constituant des repères thermométriques.

1 Echelles centésimales:

Le degré thermométrique est la centième partie de la distance entre le terme de la glace fondante et celui de l'eau bouillante sous la pression atmosphérique normale.

soit :

- 2 points fixes: 0° glace fondante 100° eau bouillante

- 1 relation linéaire $\theta = a x + b$

on peut écrire

pour $\theta = 0$, $a x_0 + b = 0$

pour $\theta = 100$, $a x_{100} + b = 100$

$$a = \frac{100}{x_{100} - x_0}$$

$$b = \frac{-100 x_0}{x_{100} - x_0}$$

On a alors
$$\theta = 100 \frac{x - x_0}{x_{100} - x_0}$$

Il y a autant d'échelles centésimales que de phénomènes thermométriques
Pour différentes échelles centésimales seuls 0° et 100° coïncident.

l'échelle Celsius est une échelle centésimale construite sur un phénomène thermométrique particulier qui est la variation de pression d'un gaz parfait à volume constant. On note les **degrés Celsius** $^\circ\text{C}$ et on leur attribue le symbole θ .

L'échelle Fahrenheit a pour points fixes

32°F glace fondante

212°F eau bouillante

Important : les deux échelles n'ont pas de réalité physique et **ne mesurent pas la température**, elles la **repèrent**

En effet, si l'on compare ces deux échelles :

$$\theta_f = 0^\circ\text{C} = 32^\circ\text{F} \text{ (glace fondante)}$$

$$\theta_e = 100^\circ\text{C} = 212^\circ\text{F} \text{ (eau bouillante)}$$

si l'on forme $\frac{\theta_e}{\theta_f}$ dans les deux échelles on trouve des valeurs différentes

Dire que 20°C est le double de 10°C ne correspond à aucune réalité physique.

2 Echelles absolues:

Les échelles absolues permettent une **mesure des températures**. Elles ont une réalité physique et représentent l'énergie d'agitation des molécules:

a Echelle Kelvin :

Cette échelle considère que la limite inférieure d'agitation des molécules se situe à $-273,15^\circ\text{C}$ soit 0 K .

On note les températures dans l'**échelle Kelvin K**, on utilise le symbole **T**

On a la relation suivante:

$$T \text{ (Kelvin)} = \theta \text{ } ^\circ\text{C (Celsius)} + 273.15 \quad \boxed{T = \theta + 273.15}$$

Dire que **200 K est le double de 100 K** correspond ici à une **réalité physique**. Par exemple pour un gaz parfait :

- si on double la température absolue à pression constante on double le volume

- si on double la température absolue à volume constant on double la pression

b Echelle Rankine

on a: $R \text{ (degrés Rankine)} = F \text{ (degrés Fahrenheit)} + 460$

3

Les échelles absolues mesurent les températures: comparons les échelles Kelvin et Rankine:

Fusion de la glace $T_f = 273.15 \text{ K} = 492 \text{ R}$

Ebullition de l'eau $T_e = 373,15 \text{ K} = 672 \text{ R}$

Si l'on fait le rapport $\frac{T_e}{T_f}$ dans les deux échelles, on trouve la même valeur.

V POINTS FIXES

Un certain nombre de points fixes ont été définis. Ces températures servent de valeurs étalons.

Points fixes primaires:

Ebullition O_2 - 182.470 °C

Fusion glace 0°C

$p = 760 \text{ mm Hg}$

Ebullition eau 100°C

Ebullition soufre 444.60°C

Fusion argent 960.8 °C

Fusion or 1065.0°C

Points fixes secondaires:

Ebullition Hélium - 268.8 °C

$p = 760 \text{ mm Hg}$

Ebullition Mercure 356.58°C

Fusion zinc 419.50°C

VI ETALONS THERMOMETRIQUES

Thermomètres pratiques avec formule d'interpolation servant d'étalons.

- 182.970 °C < θ < 0°C

Thermomètre à résistance de platine

$$R = R_0 (1 + A \theta + B \theta^2 + C \theta^3 (\theta - 100))$$

0°C < θ < 630.5°C

Thermomètre à résistance de Pt

$$R = R_0 (1 + A \theta + B \theta^2)$$

630.5°C < θ < 1063 °C

Couple thermoélectrique Pt - Pt Rh

$$E = a + b \theta + c \theta^2$$

$\theta > 1063^\circ\text{C}$

- Pyromètre optique monochromatique

- Formule de Planck

$$L\lambda = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

$L\lambda$ luminance monochromatique.

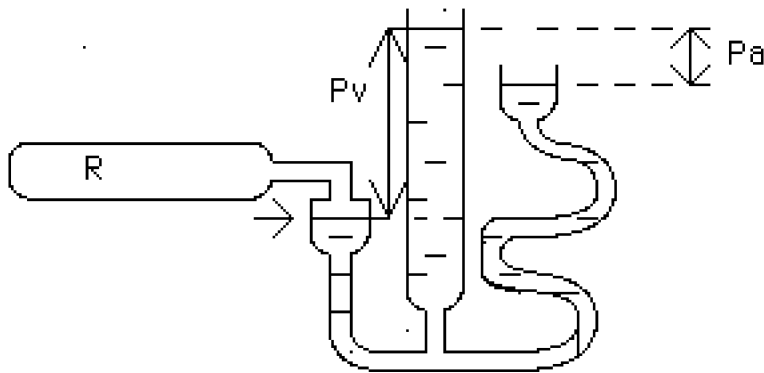
Ces thermomètres et ces points fixes permettent d'élargir le champ de détermination des températures.

VII. LES THERMOMETRES

1 Thermomètre normal

Thermomètre à gaz qui est utilisé pour déterminer les points fixes. Il y a de nombreuses corrections à effectuer.

4



Gaz utilisés :

He (à partir de -270°C)

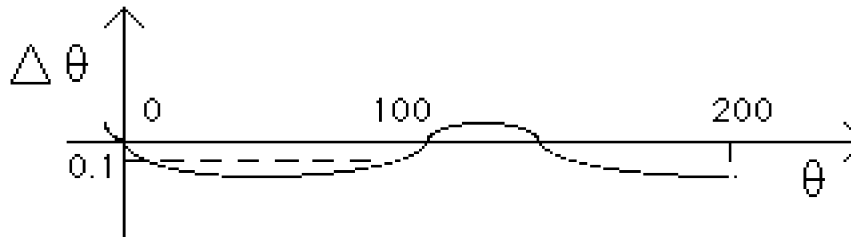
H_2 de -250°C à 300°C

N_2 pour les hautes températures

2 Thermomètres à dilatations de liquides

Par exemple le thermomètre courant à dilatation de Hg, utilisé de -39°C

à 360°C . Les mesures effectuées avec un tel thermomètre donnent une température centésimale qui présente une déviation par rapport à l'échelle légale:



Corrections à effectuer :

- déplacement de zéro: la différence des coefficients de dilatation provoque un déplacement du 0 avec la température,

- correction de colonne émergente : la colonne de Hg doit être tout entière à la température repérée. Quand cette colonne n'est pas entièrement dans le milieu dont on repère la température, une correction peut être nécessaire:

Soit θ la température lue, x la température de l'enceinte, θ_a la température extérieure, n le nombre de divisions hors de l'enceinte et k le coefficient apparent de dilatation du mercure dans le verre:

$$x - \theta = nk(\theta - \theta_a), \text{ avec } k = \frac{1}{6300}$$

La correction à apporter pour arriver à la température Celsius θ à partir de la température centésimale du thermomètre à dilatation de mercure θ_{hg} ,

$(\Delta\theta = \theta - \theta_{\text{hg}})$ est alors:

$\theta^{\circ}\text{C}$	-30	-10	0	10	40	70	100	140	200
$\Delta\theta$	0.29	0.074	0	-0.05	-0.1	-0.07	0	0.08	0.105

3 Thermomètres à résistance

5

On mesure la résistance R , fonction de la température θ , en général avec un pont de Wheatstone:

$$R = R_0 (1 + a \theta + b \theta^2)$$

4 Thermomètres à thermistances (CTN)

On mesure la résistance de semi-conducteurs, agglomérés d'oxydes et de sels métalliques.

On les appelle aussi CTN (coefficient thermique négatif) car leur résistance diminue avec la température.

Elles sont d'une très grande sensibilité.

Les cryostances sont utilisées à basse température.

5 Pyromètres à dilatation de solides**6 Couples thermoélectriques (thermocouples)**

Ils utilisent l'effet thermoélectrique: apparition d'une fem E au contact entre 2 métaux. Elle croît avec la température : $E = f(\theta)$

Voir le cours de mesure

7 Pyromètre optique

Voir le cours de transfert de chaleur.