

Mesure et Instrumentation

Présenté par:

Mme N.Drici

Le 30 Septembre 2016

CHAPITRE : (I)

Mesure De Température

Présentation

- ❖ Les différentes unités de température
- ❖ Les échelles de température
- ❖ Les appareils de mesure de la température

1- Thermomètres à dilatation

- * Thermomètres à dilatation de Liquide
- * Thermomètres à dilatation à Gaz
- * Thermomètres à dilatation de Solid

2- Les pyromètres;

- * Les pyromètres optiques
- * Les pyromètres infrarouges

1. La température

La température est, au même titre que la pression, le volume, la longueur, etc... un paramètre définissant **l'état d'un système physique** ; cette température ne variant pas avec l'extension du système est appelée "variable d'état intensive".

2. Grandeur thermométrique - Échelle thermométrique

Une grandeur thermométrique est une grandeur physique (longueur, volume, résistance électrique, ...) qui dépend de la température : $G = f(\theta)$. Elle peut alors servir à la détermination de cette température

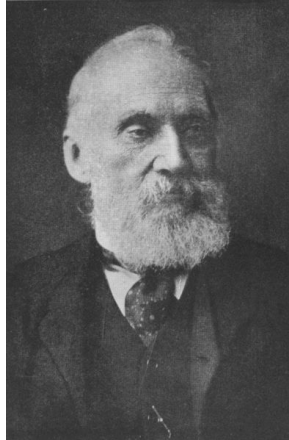
Unités de mesure thermiques

- Échelle Celsius (1742):
 - Échelle relative:
 - Références:
 - Fusion de la glace à 0 °C;
 - Ébullition de l'eau distillée à 100 °C.

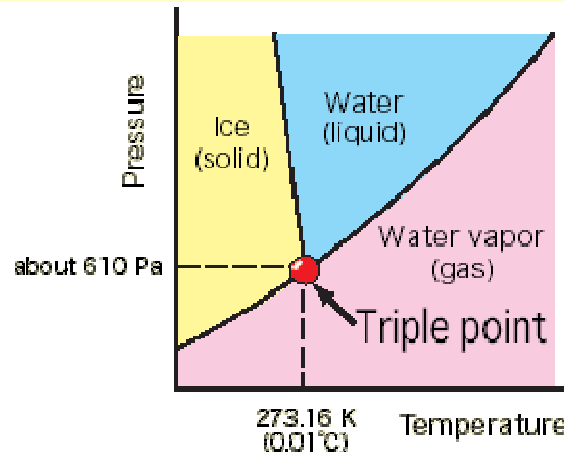


Unités de mesure thermiques

- Échelle Kelvin (1848):
 - Échelle absolue:
 - Références:
 - Zéro thermodynamique: 0 K;
 - Point triple de l'eau (0.01 °C): 273.16 K.



$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273.15$$



Unités de mesure thermiques

- Échelle Rankine:
 - Échelle absolue du Fahrenheit:
 - Références:
 - Zéro thermodynamique: 0 °R;
 - Point triple de l'eau (0.01 °C): 459.7 °F.



$$T(^{\circ} F) = T(^{\circ} R) - 459.7$$

Unités de mesure thermiques

- Échelle Fahrenheit (1707):

- Échelle relative:

- Références:

- T. minimum solution aqueuse de NaCl: 0 °F;
 - Température d'un cheval sain: 100 °F.
 - *Température du corps humain: 96 °F;*



$$T(^{\circ} F) = \frac{9}{5} T(^{\circ} C) + 32$$

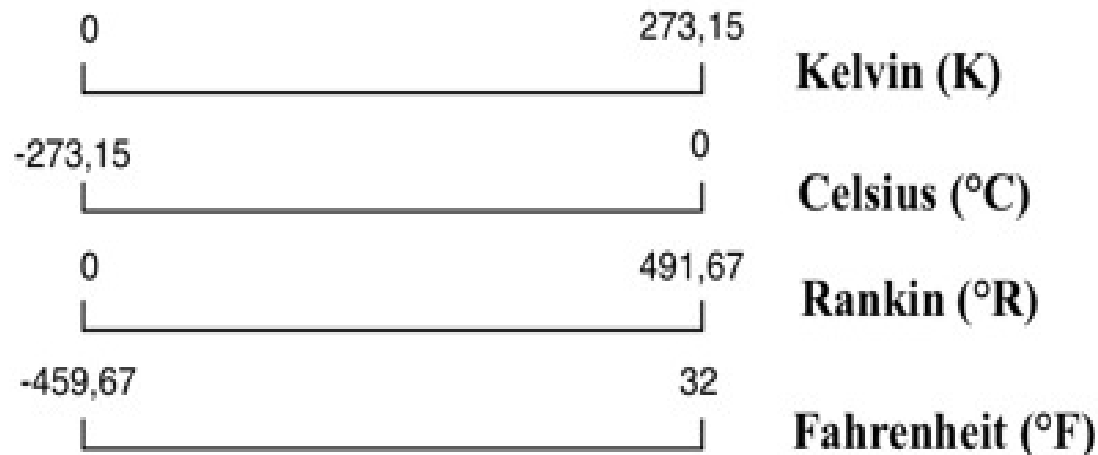
Les différentes unités de température

a. Les échelles de température

on général, c'est l'échelle Celsius, dénie a partir de l'échelle Kelvin par :

$$T(K) = T(C) + 273,15$$

Cette dernière échelle, qui est celle du système international, ne dépend d'aucun phénomène particulier



Echelles de température

- Échelle de Fahrenheit :

L'unité est le **degré Fahrenheit (°F)**. Cette échelle s'obtient par décalage de l'échelle absolue de **Rankin** :

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{R}) - 459,67$$

- Conversion entre échelle de Celsius et de Fahrenheit :

$$T(^{\circ}\text{C}) = (T(^{\circ}\text{F}) - 32) \times 5/9$$

Principes de mesure de la température

Pour effectuer des mesures de température, le plus simple est de se fier à un phénomène physique, au cours duquel une grandeur facile à repérer ou à mesurer, suit, dans ses moindres variations, les variations de cette température. Les indications devant présenter toutefois des garanties de :

- justesse
- sensibilité
- fidélité

La détermination de la température peut être reliée à des grandeurs physiques telles que :

- des grandeurs **géométriques** : longueur, volume, surface
- une grandeur **mécanique** : pression
- une grandeur **optique** : couleur
- une grandeur **électrique** : résistance, intensité d'un courant

Les dispositifs les plus simples font appel aux phénomènes de dilatation, c'est-à-dire aux changements de dimensions des corps chauffés ou refroidis.

Dans la pratique, les mesures de température sont essentiellement basées sur :

- les phénomènes **de dilatation**
- les phénomènes **de tension** de vapeur
- les phénomènes **de thermoélectricité**

Les appareils de mesure de la température

a) Thermomètres à dilatation

On constate que le volume d'un corps augmente en général, lorsque sa température s'élève (sans qu'il y ait de changement d'état physique). La dilatation étant réversible, elle fournit un mode pratique de repérage des températures.

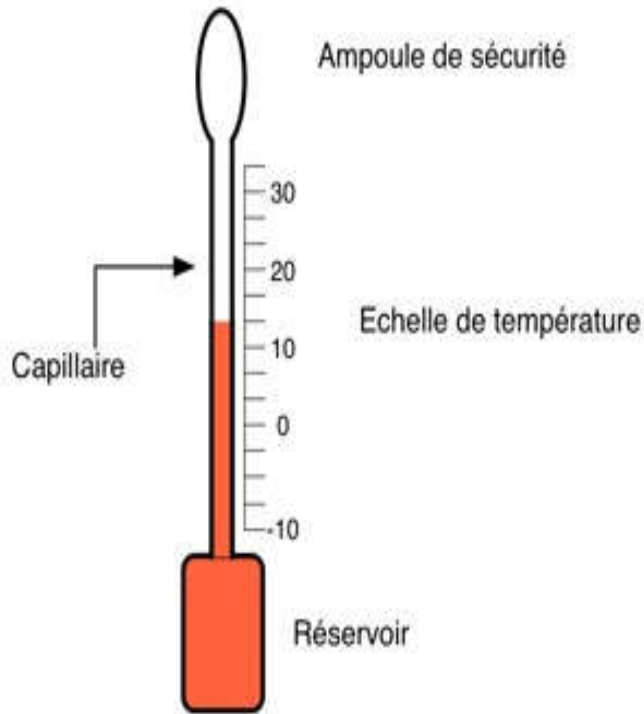
Ce phénomène se retrouve de façon analogue, mais avec une ampleur différente pour les liquides, les gaz et les solides. D'où les trois types de thermomètres à dilatation.

a-1) Thermomètres à dilatation de liquide

Il est constitué d'un réservoir surmonté d'un capillaire de section faible et régulière se terminant par une ampoule de sécurité (utile lors d'un dépassement de la température admissible). Il est réalisé en verre. Sous l'effet des variations de température, le liquide se dilate plus ou moins. Son niveau est repéré à l'aide d'une échelle thermométrique gravée sur l'enveloppe.

Thermomètre à dilatation de liquide

[dilatation_liquide]



La loi de variation du volume du liquide en fonction de la température est :

$$V = V_0 (1 + \alpha \times \theta)$$

avec :

- V_0 : volume du liquide à 0 °C ;
- V : volume de liquide à θ °C ;
- α : coefficient de dilatation du liquide en °C⁻¹.

(2)
✓ Cette équation nous montre que la sensibilité du thermomètre à dilatation de liquide est **proportionnelle** au volume V_0 (fonction du volume du réservoir), au coefficient de dilatation du liquide (donc au type de liquide choisi)

✓ L'espace libre au dessus du liquide peut-être vide, pour permettre de mesurer des hautes températures

a-2) Thermomètres à dilatation de gaz

L'équation d'un gaz parfait est :

$$PV = nRT$$

Avec: n : Nombre de moles ; $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$; T : Température en K ; P : Pression en Pa.

✓ Si on enferme une certaine quantité de gaz dans une enveloppe de volume constant V , la pression développée par le gaz est proportionnelle à la température absolue : $P = \{RT\}/\{V\}$, avec le rapport $\{R\}/\{V\}$ constant.

Sous une forme schématisée, un thermomètre à gaz est composé d'une sonde (A), formant une enveloppe dans laquelle est enfermé le gaz thermométrique .

Cette sonde est reliée par un tube capillaire de raccordement à l'extrémité (B) d'un tube de Bourdon, appelée spirale de mesure. Cette extrémité est fixe.

La longueur du tube de raccordement ne doit pas excéder 100 mètres. Sous l'effet de la température du milieu dans lequel la sonde est placée, la pression du gaz va varier, ce qui modifiera l'équilibre de l'extrémité libre du tube de Bourdon. Cette variation de pression se traduira par un mouvement de rotation de l'index indicateur qui se déplacera devant un cadran portant des graduations thermométriques.

a-2) Thermomètres à dilatation de gaz

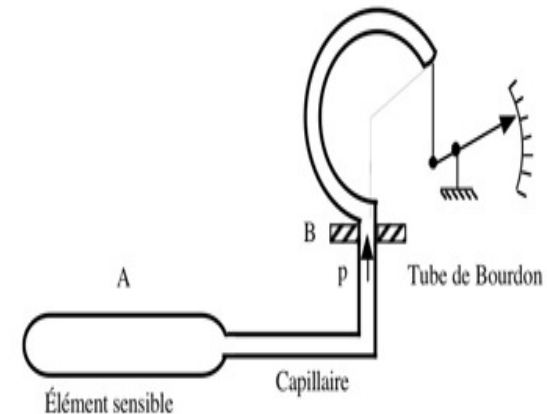
✓ Si on enferme une certaine quantité de gaz dans une enveloppe de volume constant V , la pression développée par le gaz est proportionnelle à la température absolue :

$$P = \{RT\} / \{V\}, \quad \text{avec le rapport } \{R\} / \{V\} \text{ constant.}$$

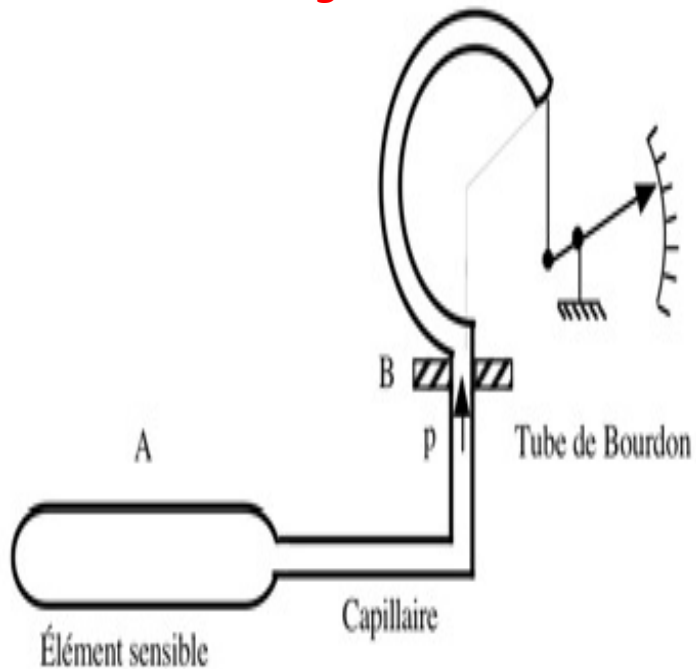
* Sous une forme schématisée, un thermomètre à gaz est composé d'une sonde (A), formant une enveloppe dans laquelle est enfermé le gaz thermométrique .

* Cette sonde est reliée par un tube capillaire de raccordement à l'extrémité (B) d'un tube de Bourdon, appelée spirale de mesure. Cette extrémité est fixe.

La longueur du tube de raccordement ne doit pas excéder 100 mètres. Sous l'effet de la température du milieu dans lequel la sonde est placée, la pression du gaz va varier, ce qui modifiera l'équilibre de l'extrémité libre du tube de Bourdon. Cette variation de pression se traduira par un mouvement de rotation de l'index indicateur qui se déplacera devant un cadran portant des graduations thermométriques :



Thermomètre à gaz



Avantage des thermomètres à gaz

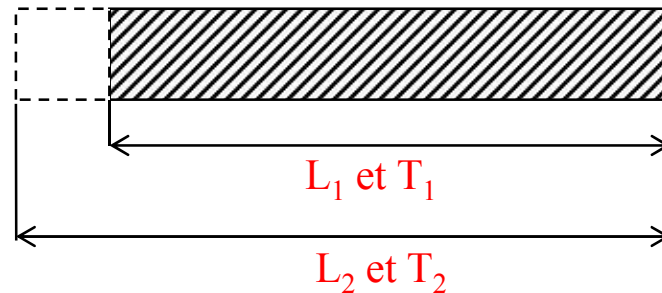
- ✓ leur précision, 1 % en mesures industrielles.
- ✓ repérage des très basses températures.
- ✓ véritables instruments de précision, **exp** ; Le thermomètre à hydrogène .

a-3) Dilatation des solides

Sous l'effet d'une élévation de température, une tige d'un matériau quelconque s'allonge

Cette augmentation de la longueur est d'autant plus importante que :

- l'augmentation de la température ΔT est grand
- Le coefficient de dilatation linéaire K est grand (mm / m °C)



$$\begin{aligned} T_1 &< T_2 \\ L_1 &< L_2 \end{aligned}$$

Variation de la longueur d'une tige en fonction de la variation de la température

$$L = K \cdot L \cdot \Delta T \quad (\text{mm})$$

Où L est la longueur initiale de la tige (m)

Matériau	K (mm / m °C)
Acier	0.012
Cuivre	0.017
Aluminium	0.022
Plomb ou Zinc	0.029
PVC	0.080

Thermomètre à Dilatation de métal

Il existe deux types:

a) **Thermomètre à dilatation d'une tige métallique simple**

Ce type d'appareil, très peu utilisé, repose sur la variation de la longueur d'une tige métallique par un changement de température.

b) **Thermomètre à dilatation d'un bilame**

Sur ce type de thermomètre, l'élément de mesure est une lame composée de deux métaux aux coefficients de dilatation différents et laminés de façon inséparable pour former un bilame.

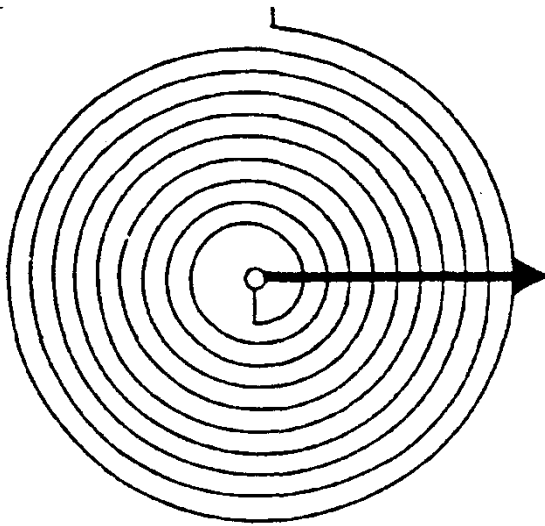
- * Sous l'influence d'une élévation de température, les deux métaux se dilatent différemment et le bilame s'incurve du côté du métal ayant le plus faible coefficient de dilatation.
- La courbure obtenue est pratiquement proportionnelle à la température. Le déplacement induit par la déformation du bilame peut alors être reporté sur un indicateur.

Avantages

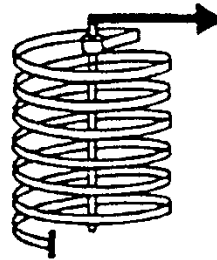
- 1) Système de mesure simple et courant;
- 2) Mesure de -50°C à 500°C ;
- 3) Volume réduit;
- 4) Précision de $\pm 1\%$.



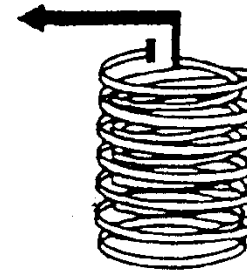
Pour une meilleure sensibilité on augmente la longueur du bilame soumis à la dilatation. Dans les appareils industriels on trouve généralement des bilames spiralés ou hélicoïdales.



Forme en spirale



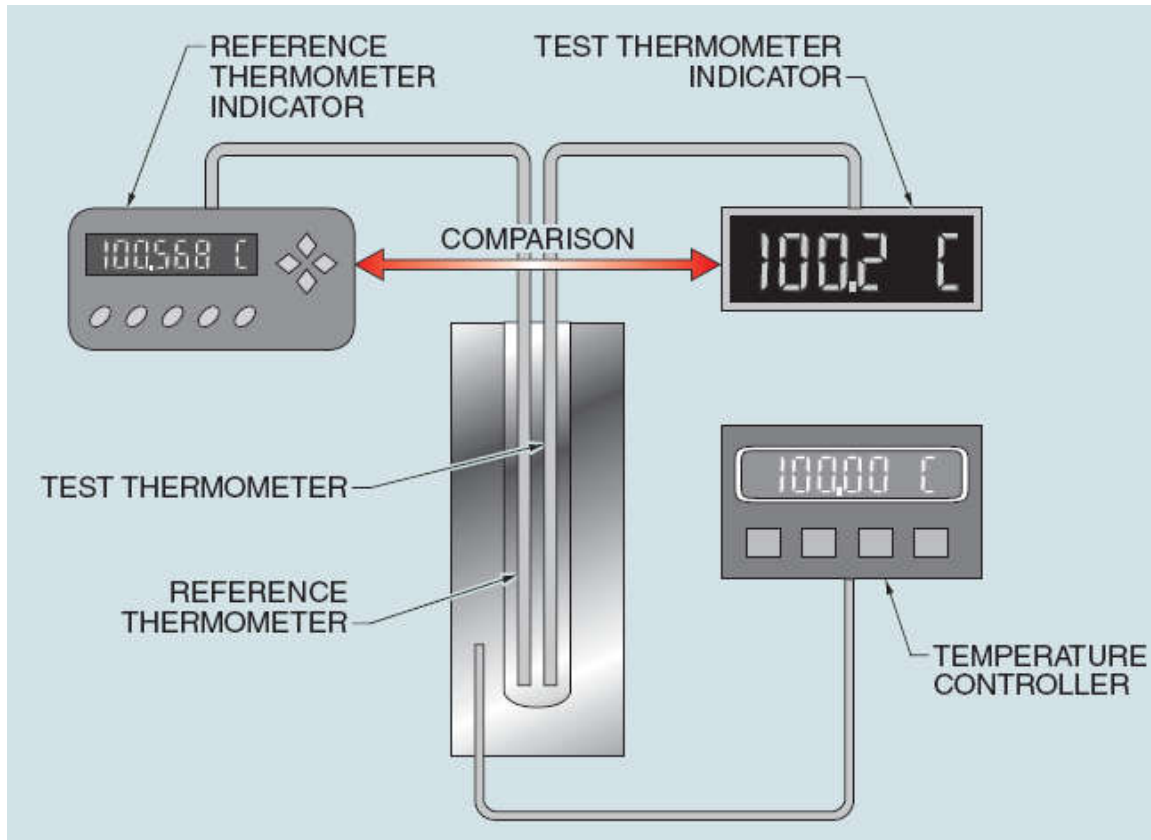
Forme hélicoïde



Forme multihélicoïdale

Le bilame est fixé à une de ses extrémités, l'autre extrémité fait tourner l'axe de l'aiguille devant l'échelle de mesure. La jonction entre le bilame et le dispositif d'indication se fait par l'intermédiaire d'une tige métallique présentant un coefficient de dilatation pratiquement nul à la température où elle est portée.

Aspect calibration



Hart Scientific

B: Pyromètres optiques

❑ La pyrométrie optique a beaucoup évolué au cours des années passées, passant d'une utilisation plutôt réservée à des spécialistes à une pratique courante. Ceci est essentiellement dû à l'évolution des systèmes électroniques.

❑ Les pyromètres de nouvelle génération sont de plus en plus précis. Le domaine des températures s'étend de -100°C à 5000°C , couvrant ainsi l'essentiel des mesures industrielles.

❑ L'utilisation préférentielle des pyromètres optiques concerne les mesures :

- ✓ sans contact (corps en mouvement, à grande distance ou dans le vide).
- ✓ de températures de surface.
- ✓ de très hautes températures.
- ✓ sur des corps de faible capacité thermique.



Le thermomètre sans contact PCE-777

Les pyromètres infrarouges

- ❖ Les pyromètres infrarouges sont surtout indiqués pour les applications nécessitant des capteurs conventionnels. Tel est le cas pour les objets en mouvement ou pour les endroits où une mesure sans contact est requise à cause de possibles pollutions ou d'autres influences négatives.
- ❖ **Exp . Le thermomètre sans contact PCE-777**
 - Ce thermomètre **petit** et compact avec **pointeur laser rouge**, pour la mesure non destructive de la température de surfaces. il mesure la température de surfaces avec **un rayon infrarouge** d'une façon non destructive à une **distance longue**.il se caractérise par son **maniement très simple** et l'aide de la mise au point rouge (rayon laser). De cette façon, on peut faire la mise au point de la surface d'une **façon précise** et enregistrer la température avec le thermomètre.
 - il est idéal pour l'utilisation dans l'industrie et l'artisanat pour la maintenance et la réparation, par exemple, dans le domaine du chauffage, ventilation, air conditionné, automobiles, le contrôle d'appareils électriques et cabinets électriques.il peut être utilisé même dans les circonstances les plus défavorables et effectue des mesures d'une façon précise. Le thermomètre sans contact dispose d'une aide de mise au point pour la mesure de la température sans contact, précise et rapide à partir d'une distance sûre aux **objets chauds ou en mouvement ou dans des zones de mesure d'accès difficile**.

