

## Capteurs de température

### 1 Définition

La température d'un corps correspond à son énergie calorique, c'est à dire à la quantité de chaleur qu'il contient.

### 2 Echelle de température

#### Echelle Celsius (1742)

**Référence :** fusion de la glace à  $0^{\circ}\text{C}$  ébullition de l'eau distillé à  $100^{\circ}\text{C}$

#### Echelle Kelvien (1848)

**Référence :** zéro thermodynamique (0 K) (aucun molécule ne se déplace), point triple d'eau ( $0.01^{\circ}\text{C}=273.16\text{ K}$ ) il y a les trois états de l'eau (glace, vapeur et liquide)

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

#### Echelle fahrenheit (1707)

$$T(^{\circ}\text{F})= 1.8 T(^{\circ}\text{C})+32$$

### 3 Equilibre thermique :

La mesure de la température implique qu'il y a un équilibre thermique entre le capteur et le milieu objet de la mesure.

### 4 Transmission de l'énergie thermique

Dans le contact thermique entre le capteur et l'objet, trois phénomènes rentre en jeu :

Conduction : transport de la chaleur par des courants de gaz

Convection : transmission de la chaleur à l'interieur d'une substance

Rayonnement : emission de la radiation électromagnétique par un corps chau

### 5 Temps de réponse :

Pour un thermomètre le temps de réponse est définie par le temps nécessaire pur atteindree l'équilibre thermique ;

Il dépend de plusieurs facteurs :

La conductivité du capteur et les caractéristique du capteurs

## 6 Méthodes de la mesure de température

méthodes mécanique : elles sont basées sur la dilatation d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz

méthode électrique : elle repose sur l'effet thermoélectrique (thermocouple) sur la variation thermique d'une résistance

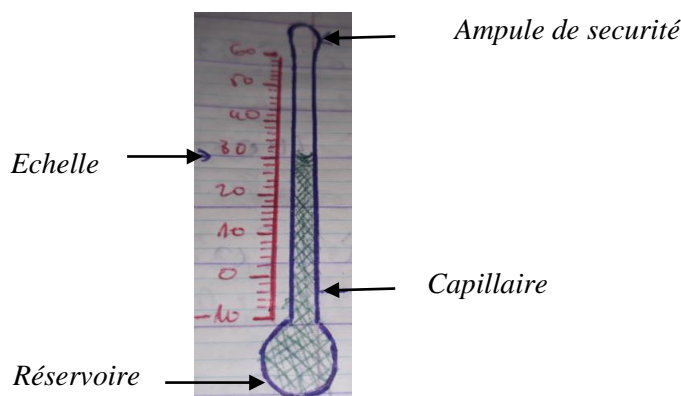
méthode optique : elle se base sur la relation entre la température d'un corps et son rayonnement optique (électromagnétique)

## 7 critères de choix d'un capteur de température

- gamme de la température à mesurer
- précision et sensibilité souhaitée
- temps de réponse
- environnement
- nécessité ou non de l'alimentation électrique

## 8 Thermomètre à dilatation

### 8.1. Thermomètre à dilatation de liquide



$$V = V_0 (1 + \alpha T)$$

$V_0$  est le volume à  $0^\circ\text{C}$

$T$  est la température en  $^\circ\text{C}$

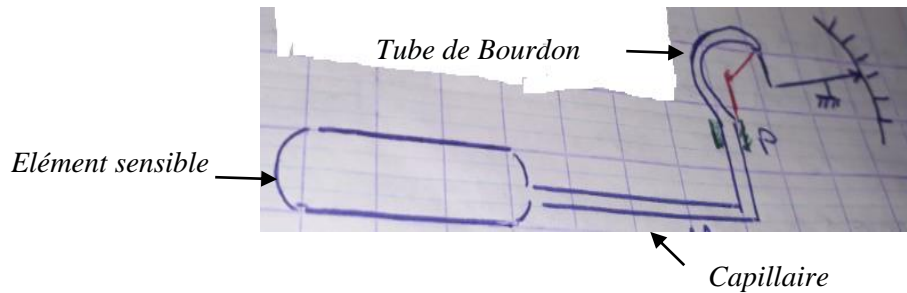
$\alpha$  est le coefficient de dilatation du liquide en  $^\circ\text{C}^{-1}$

Avantage : simplicité et durée de vie élevée

Inconvénient : Fragilité, difficulté de lecture, impossibilité de transmettre à distance la température mesurée

### 8.2. Thermomètre à dilation de gaz

la loi est  $P V = nRT \Rightarrow P = \alpha T$  avec  $\alpha = nR/V = \text{constante}$



Un thermomètre à gaz comporte :

Un élément sensible métallique contenant le gaz thermique,

Un tube capillaire flexible métallique qui relie à l'élément sensible,

Un élément manométrique de mesure de pression.

Avantage : Précision 1% en mesure industrielle

Inconvénient : Encombrement et temps de réponse relativement long

### 8.3. Thermomètre à dilation de solide

A une température  $T$  la longueur de la tige métallique selon la loi

$$L = L_0 (1 + \lambda T)$$

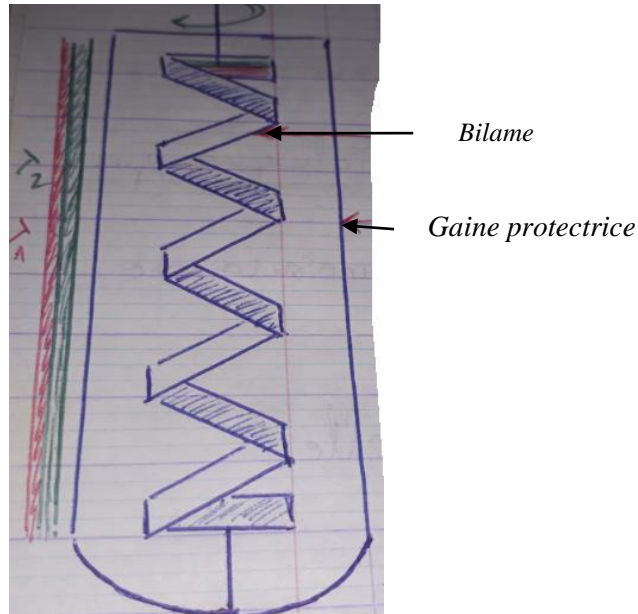
$L_0$  est le volume à  $0^\circ\text{C}$

$T$  est la température en  $^\circ\text{C}$

$\lambda$  est le coefficient de dilatation du liquide en  $^\circ\text{C}^{-1}$

#### Bilame :

Un bilame thermique est composé de deux lames métalliques assemblées par procédé spécial de fusion ; les coefficients de dilatation de deux métaux sont très différents l'une des lames se dilate on se redresse plus que l'autre se qu'il fait courber le bilame.



## 9 thermomètre électrique

### 9.1. Thermomètre à variation de résistance

#### 9.1.1. Thermomètre à résistance métallique

En général la résistance électrique d'un conducteur métallique varia en fonction de la température selon la loi :

$$R(T) = R_0 (1 + aT + bT^2 + cT^3)$$

Avec :

T est la température en  $^{\circ}\text{C}$ ,  $R_0$  est la résistance à  $0^{\circ}\text{C}$

Pour les petites variations  $\Delta T$  cette relation est linéarisée comme suit :

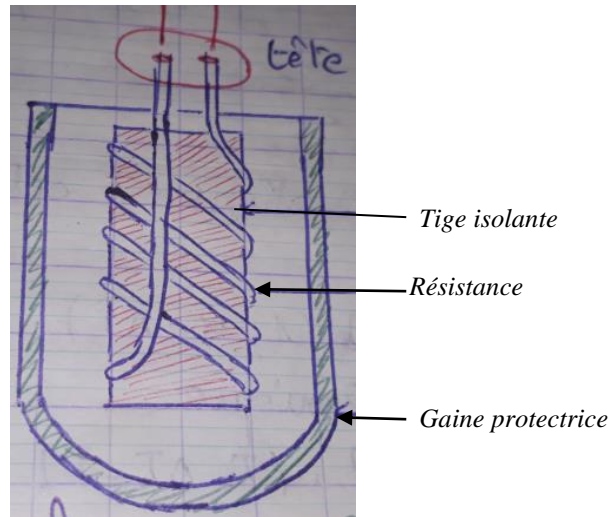
$$R(T + \Delta T) = R(T)(1 + \alpha \Delta T)$$

Avec  $\alpha$  est la sensibilité thermique

Les trois métaux principalement utilisés sont :

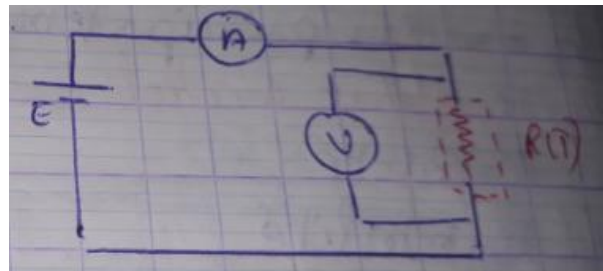
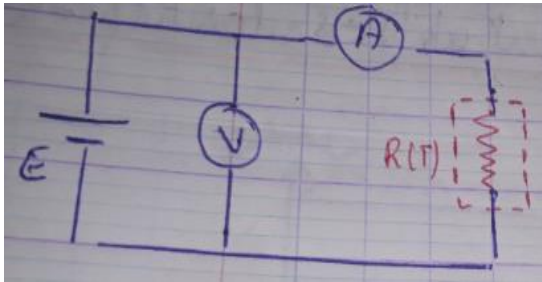
Cuivre : (linéarité), platine (sensibilité) et Nickel (stabilité)

Le thermomètre à résistance est généralement constitué d'un fil fin enroulé sur une tige isolante en fibre de ver par exemple, et placé dans une gaine protectrice métallique en cuivre ou acier inoxydable



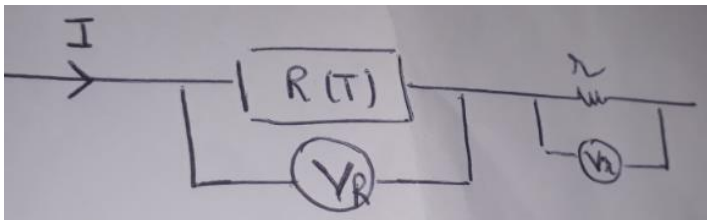
Pour mesurer la valeur de  $R(T)$  on peut utiliser les montages suivants :

#### Méthode directe



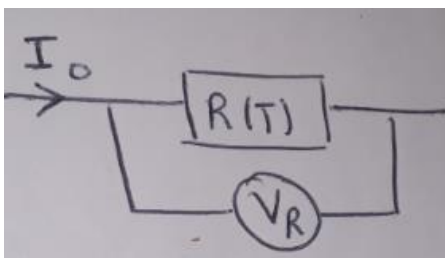
#### Méthode indirecte

Premier cas : Le courant  $I$  inconnu



$$R(T) = V_R (r/V_r)$$

Deuxième cas : le courant  $I_0$  est connu



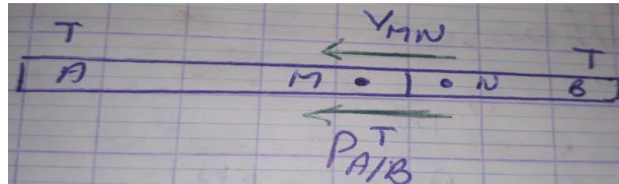
$$R(T) = V_R / I_0$$

## 9.2. Thermocouple

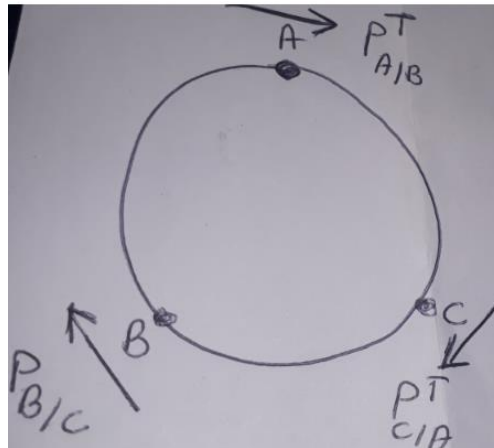
### 9.2.1. Effet thermoélectrique

**Effet Pelitier :** à la jonction entre deux conducteurs A et B différents mais à la même température, une *f.e.m* apparée qui ne dépend que de la nature de A et B, c'est la *f.e.m* de Pelitier

$$P_{A/B}^T = V_m - V_n$$



Loi de volta : dans un circuit composé de conducteurs fermés la somme de la *f.e.m* de Pelitier est nulle

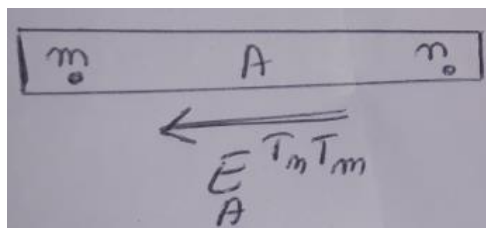


$$P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/A}^T = 0$$

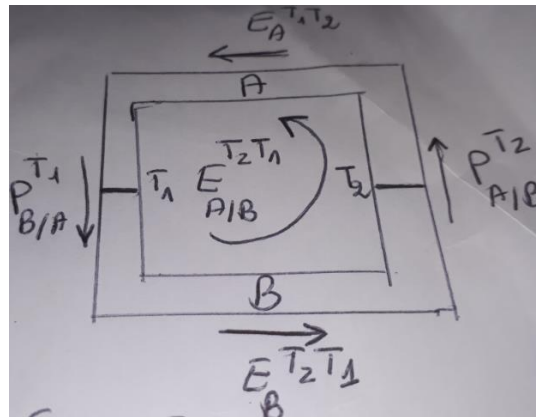
**Effet Thomson :** entre deux points n et m d'un même conducteur d'établi une *f.e.m* dépendant du conducteur et température  $T_n$  et  $T_m$  c'est l'effet de Thomson

$$E_A^{T_n/T_m} = \int_{T_n}^{T_m} \eta_A dT$$

Avec  $\eta_A$  est le coefficient de Thomson



## Effet Seebeck



Deux conducteurs A et B différents soudés entre eux à leurs extrémités ces deux soudures sont à des températures  $T_1$  et  $T_2$  ce circuit forme un couple thermoélectrique ce couple est le siège d'une *f.e.m* dite de Seebeck résultant des effets superposés de Peltier et Thomson

$$E_{A/B}^{T_2 T_1} = E_B^{T_2 T_1} + E_A^{T_1 T_2} + P_{B/A}^{T_1} + P_{A/B}^{T_2}$$

La *f.e.m* d'un thermocouple dépend de la différence de la température entre les deux soudures

Pour déduire la température à partir de la *f.e.m* on doit connaître la valeur de  $T_1$

La jonction dont la température est connue est dite jonction de référence ou soudure froide

La jonction dont la température est inconnue est dite jonction de mesure ou soudure chaude

Avec une jonction de référence à  $0^\circ\text{C}$  les *fem* mesurées varient de -10 à 60mV

### a. Lois de composition des circuits de thermocouples

#### Convention

$$E_{A/B}^{T_2 T_1} = -E_{A/B}^{T_1 T_2} = -E_{B/A}^{T_2 T_1} = E_{B/A}^{T_1 T_2}$$

#### Lois des températures successives

$$E_{A/B}^{T_3 T_1} = E_{A/B}^{T_3 T_2} + E_{A/B}^{T_2 T_1}$$

#### Lois des métaux successives :

$$E_{A/C}^{T_2 T_1} = E_{A/B}^{T_2 T_1} + E_{B/C}^{T_2 T_1}$$

#### Exemple :

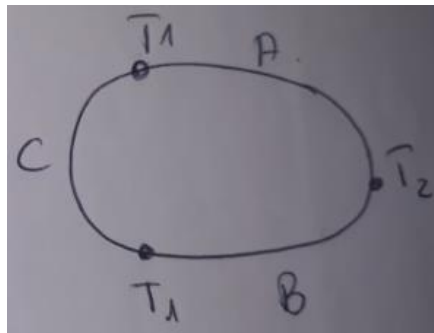
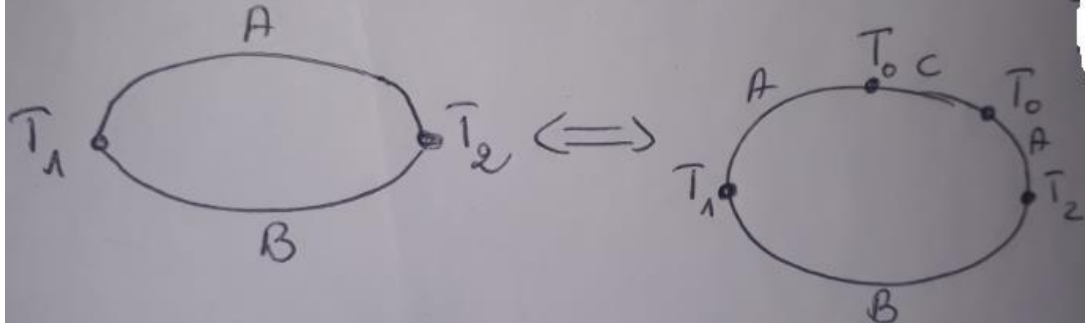
$$E_{Fe/Pt}^{T 0^\circ\text{C}} = 16.7T - \frac{0.0297}{2}T^2$$

$$E_{Cu/Pt}^{T 0^\circ\text{C}} = 2.7T - \frac{0.079}{2}T^2$$

Alors :

$$E_{Fe/Cu}^{T0^0c} = 14T - \frac{0.0376}{2}T^2$$

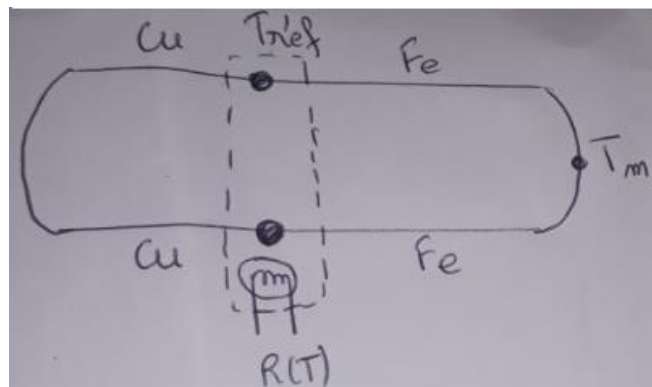
**Lois des métaux intermédiaires :**



### 10 Température de référence

La *f.e.m* d'un thermocouple dépend de la température mesurée  $T_m$  et de la température de la jonction de la référence  $T_{ref}$

Si  $T_{ref}$  est nulle, la mesure de la *f.e.m* du thermocouple permet la lecture directe de la température  $T_m$  à partir de la table du thermocouple utilisée



Si  $T_{ref}$  est non nulle est sauvant mesurer par un thermocouple à résistance pour avoir une référence à zéro on utilise la loi des températures successives :

$$E_{A/B}^{T_m T_{ref}} = E_{A/B}^{T_m T_{ref}} + E_{A/B}^{0^0 T_{ref}}$$