

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°C ébullition de l'eau distillée à 100°C

Echelle Kelvin (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 rentrent en jeu :

Conduction : transport de la chaleur par des courants de gaz

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

Rayonnement : émission de la radiation électromagnétique par un corps chaud

5 Temps de réponse :

Pour un thermomètre le temps de réponse est défini par le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre thermique ;

Il dépend de plusieurs facteurs :

La conductivité du capteur et les caractéristiques du capteur

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

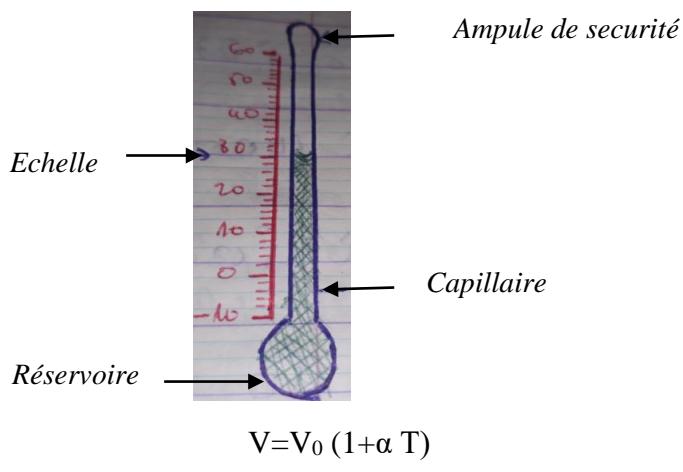
méthode optique : elle se base sur la relation entre la température d'un corps et son rayonnement optique (électromagnétique)

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 dilation de liquide



V_0 est le volume à 0°C

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

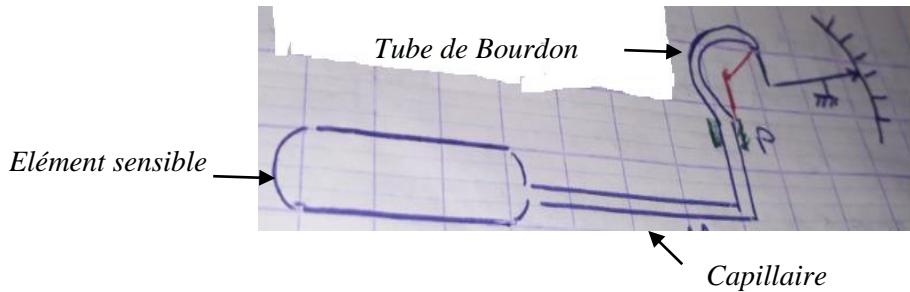
α est le coefficient de dilatation du liquide en $^\circ\text{C}^{-1}$

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 relié 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

À une température T la longueur de la tige métallique selon la loi

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

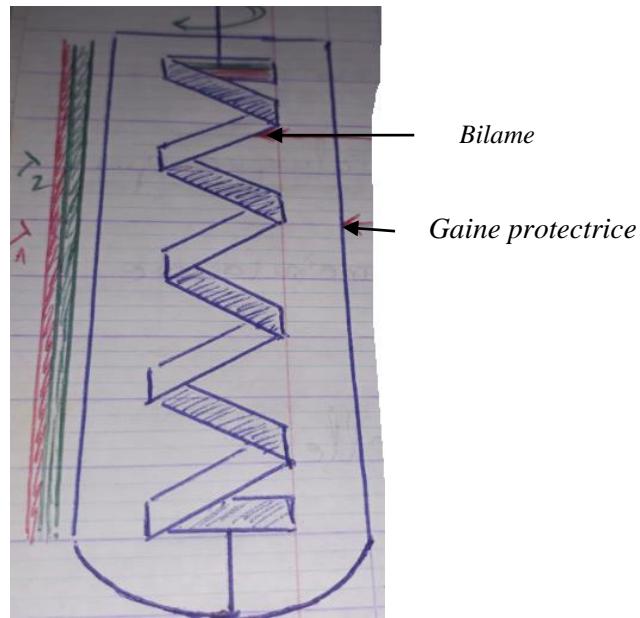
L_0 est le volume à 0°C

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

λ 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 redresser 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 varie en fonction de la température selon la loi :

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

Avec :

T est la température en ^0C , R_0 est la résistance à 0^0C

Pour les petites variations ΔT cette relation est linéarisée comme suit :

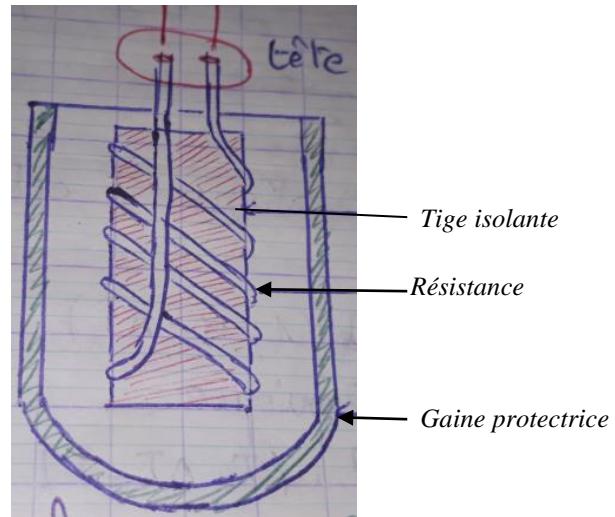
$$R(T + \Delta T) = R(T)(1 + \alpha \Delta T)$$

Avec α est la sensibilité thermique

Les trois métaux principalement utilisés sont :

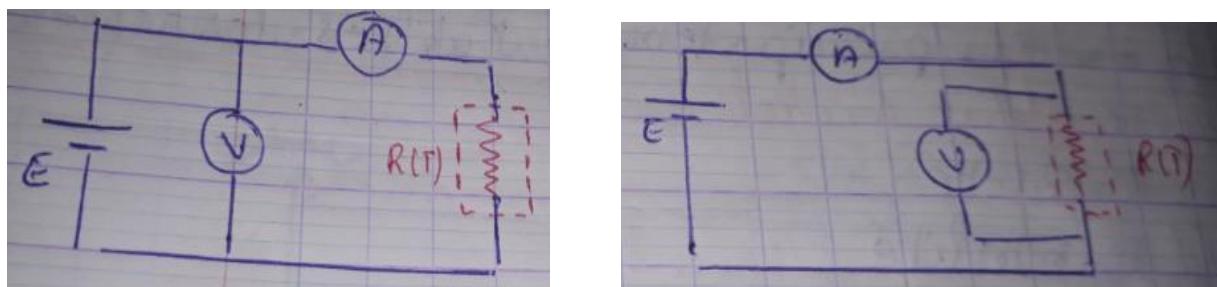
Cuivre : (linéarité), platine (sensibilité) et Nickel (stabilité)

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



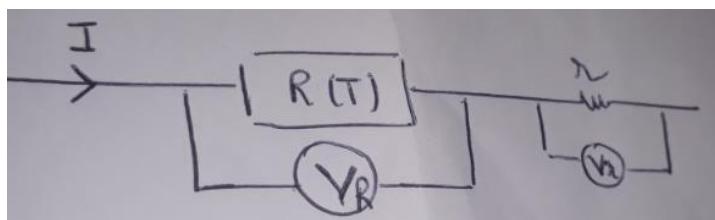
Pour mesurer la valeur de $R(T)$ on peut utiliser les montages suivants :

Méthode directe



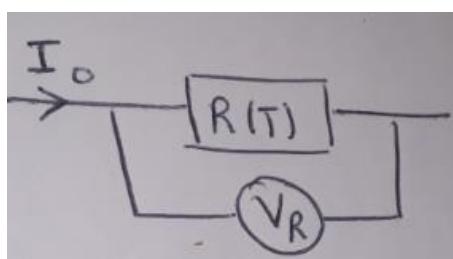
Méthode indirecte

Premier cas : Le courant I inconnu



$$R(T) = V_R / (V - V_R)$$

Deuxième cas : le courant I_0 est connu



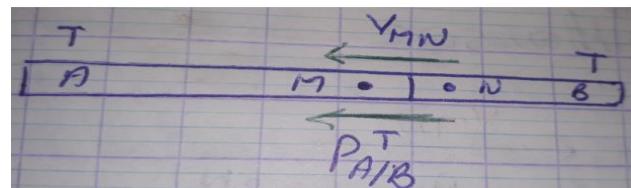
$$R(T) = V_R / I_0$$

9.2. Thermocouple

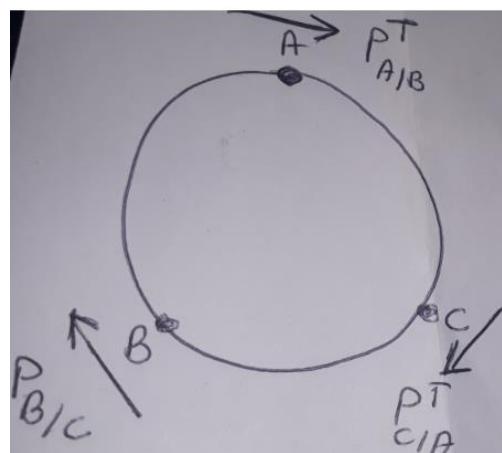
9.2.1. Effet thermoélectrique

Effet Pelitier : à la jonction entre deux conducteurs A et B différents mais à la même température, une *f.e.m* appariée 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

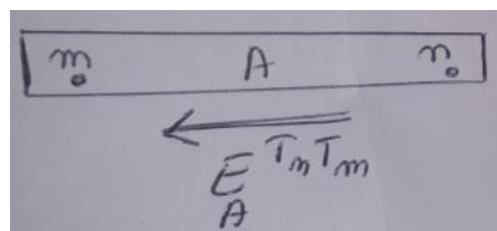


$$P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/A}^T = 0$$

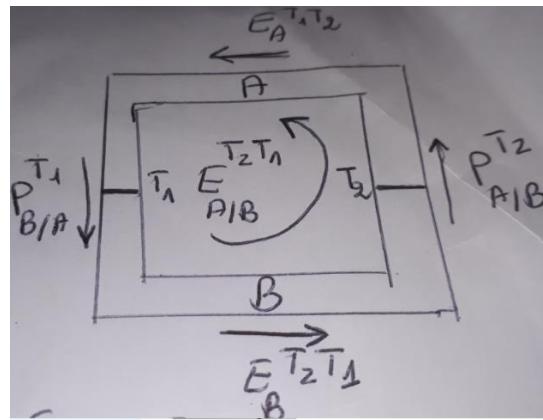
Effet Thomson : entre deux points n et m d'un même conducteur d'établi une *f.e.m* dépendant du conducteur et température T_n et T_m c'est l'effet de Thomson

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

Avec η_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 superposé de Pelitier 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°C les *fem* mesurées varient de -10 à 60mV

a. Lois de composition des circuits de thermocouples

Convention

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

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 :

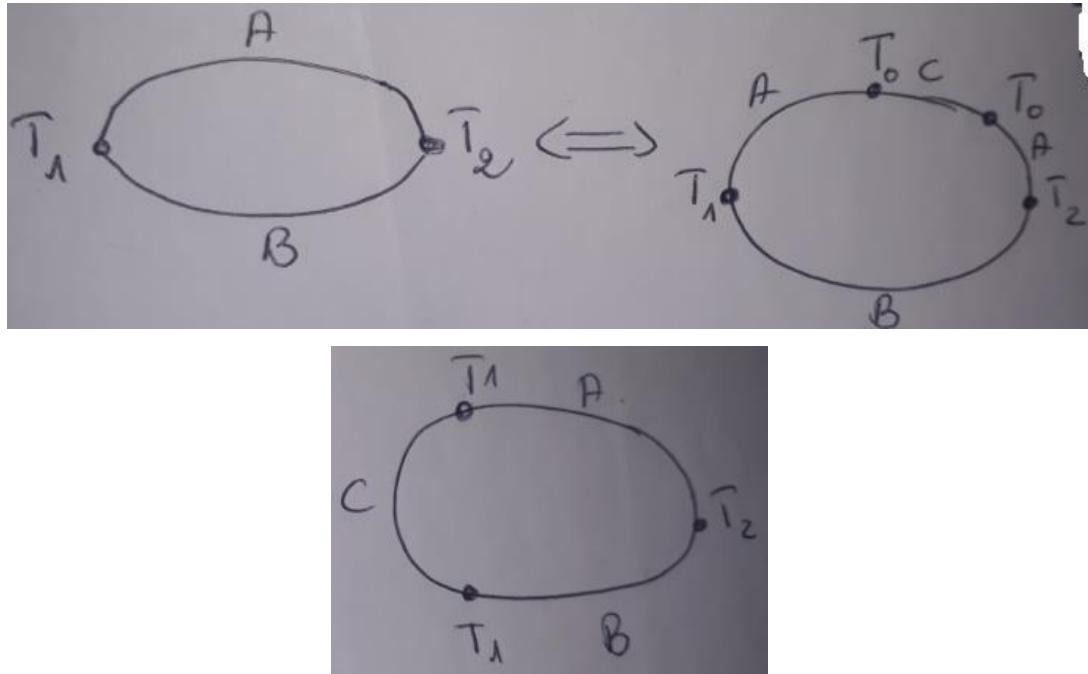
$$E_{Fe/Pt}^{T0^\circ\text{C}} = 16.7T - \frac{0.0297}{2}T^2$$

$$E_{Cu/Pt}^{T0^\circ\text{C}} = 2.7T - \frac{0.079}{2}T^2$$

Alors :

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

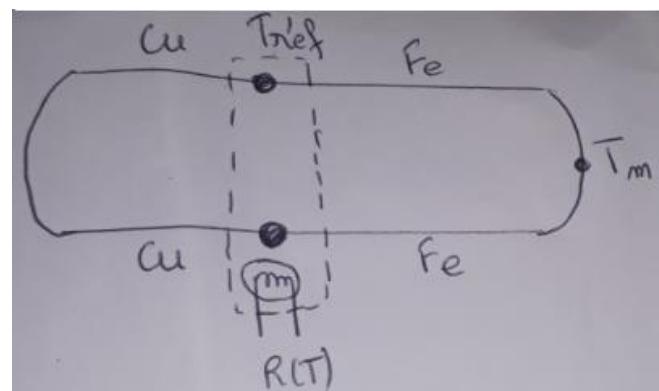
Lois des métaux intermédiaires :



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 et sauvant mesurer par un thermocouple à résistance pour avoir une référence à zéro on utilise la loi des températures successives :

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