

Mesure de températures

1. Thermomètres à résistance et à thermistance :

Le fonctionnement des thermomètres à résistance et thermistances est basé sur le même phénomène physique ; l'influence de la température sur la résistance électrique d'un conducteur. La mesure d'une température est donc ramenée à la mesure d'une résistance.

1.1. Thermomètres à résistance:

La résistance électrique d'un conducteur métallique augmente avec la température. Cette variation étant parfaitement réversible, on peut établir une relation $R=f(T)$ entre la résistance R et la température $T(^{\circ}\text{C})$ sous la forme :

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

avec :

- R_0 la résistance à 0°C
- a , b et c des coefficients de température positifs, spécifiques au métal considéré.

Les coefficients a , b et c de la loi de variation de R ayant été préalablement déterminés par un ensemble de mesures à températures connues, la mesure de R permet de déduire la température.

Le matériau le plus utilisé est le platine, qui est généralement encapsulé avec de la céramique et placé dans une gaine d'acier étanche. La résistance est de 100Ω à 0°C , ces thermomètres sont donc généralement appelés des sondes Pt 100.

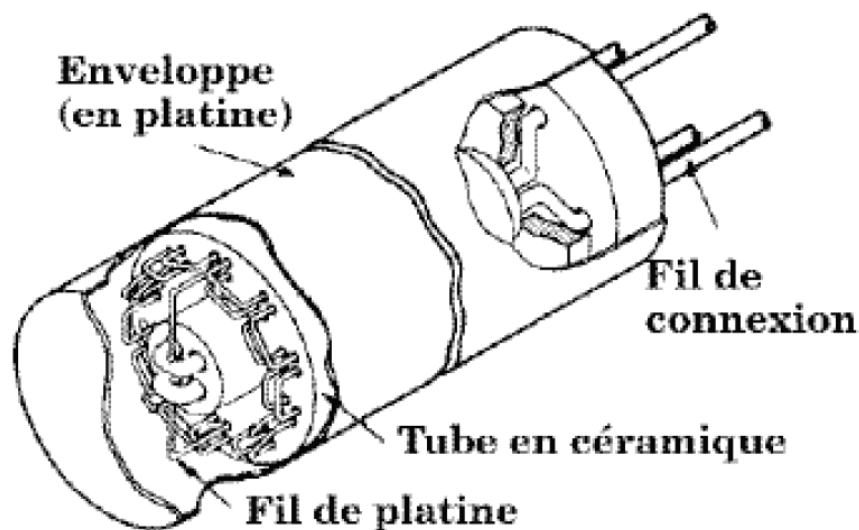


Figure 1. Sonde Pt100

1.2. Thermomètres à thermistance :

Les thermistances sont des capteurs de température dont la sensibilité thermique est très élevée, de l'ordre de 10 fois celle des capteurs à résistance. Leurs coefficients de température sont généralement négatifs et dépendent fortement de la température.

Contrairement aux métaux, la résistance des semi-conducteurs diminue lorsque la température augmente.

La résistance d'une thermistance en fonction de la température s'écrit :

$$R(T)=R_0(B(1/T-1/T_0))$$

avec :

- R_0 la résistance à la température T_0
- B un coefficient qui dépend de la température, compris généralement entre 3000 et 5000 K.

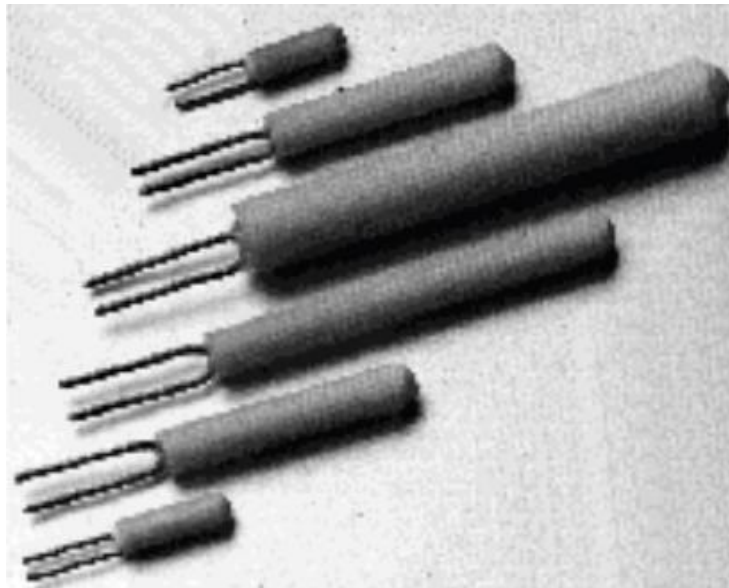


Figure 2. Thermistances

2. Sondes à thermocouple

Un thermocouple est une sonde constitué par la soudure de deux conducteurs de matériaux différents. Cette soudure est mise en contact avec l'élément à mesurer.



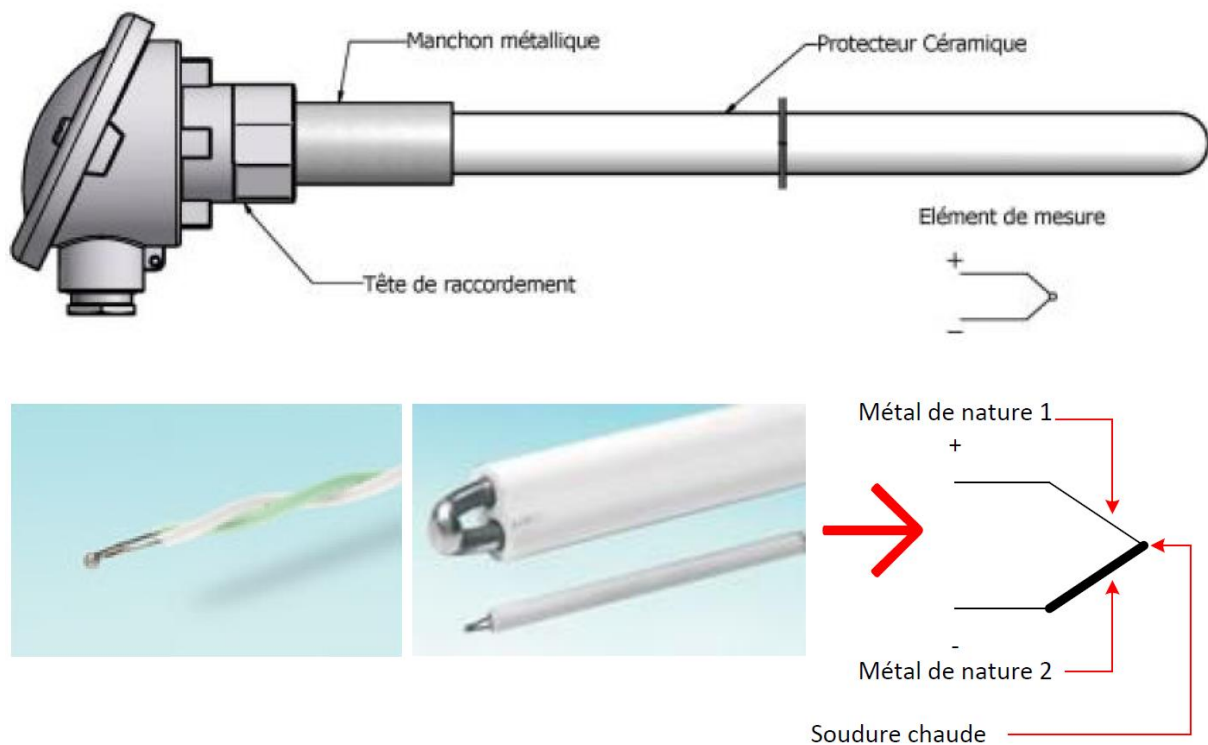


Figure 3. Thermocouple

Un thermocouple produit une force électromotrice (fem) liée à la différence de température à laquelle sont soumises la soudure chaude et la soudure froide.

- **Caractéristiques des thermocouples les plus utilisés :**

Tableau synthétique des thermocouples

METAUX COMMUNS					
Symbole	Combinaison	Polarité	Couleur gaine	Couleur Fils	Domaine* de T°C des conducteurs
J	Fe	+	Noir	Noir	-210 / +1200
	Cu-Ni	-		Blanc	
K	Ni-Cr	+	Vert	Vert	-270 / +1370
	Ni-Al	-		Blanc	
T	Cu	+	Marron	Marron	-270 / +400
	Cu-Ni	-		Blanc	
E	Ni-Cr	+	Violet	Violet	-270 / +1000
	Cu-Ni	-		Blanc	
N	Ni-Cr-Si	+	Mauve	Mauve	-270 / +1300
	Ni-Si	-		Blanc	

Fe : Fer ; Cu-Ni : Cuivre-Nickel ; Ni-Cr : Nickel-Chrome ; Ni-Al : Nickel-Aluminium ; Cu : Cuivre ; Ni-Cr-Si : Nickel-Chrome-Silicium ; Ni-Si : Nickel-Silicium.

Force électromotrice produite selon la composition du thermocouple :

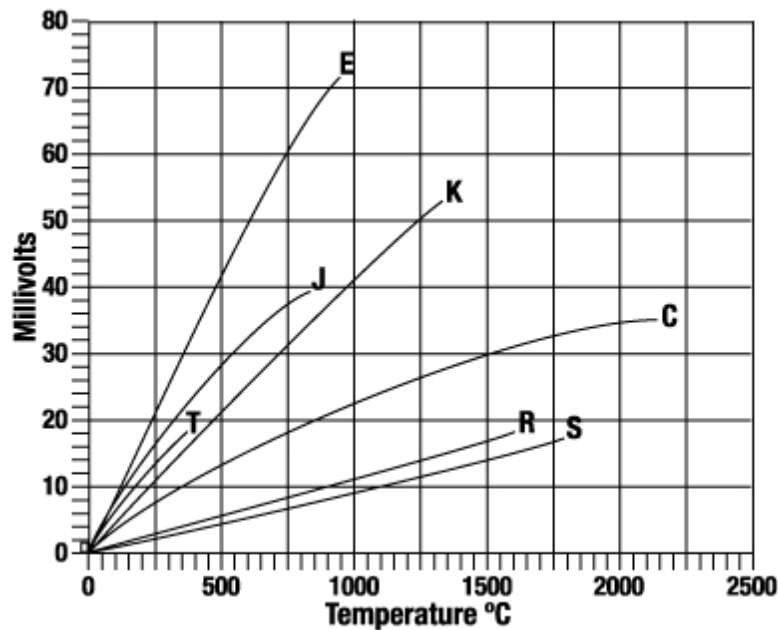


Figure 4. Fem en fonction de la température de thermocouples

Le choix d'un thermocouple s'effectue selon :

- la plage de température à mesurer;
- le milieu de mesure et la précision souhaitée.

Les thermocouples sont des sondes très utilisées dans l'industrie car ils sont robustes, précis, économiques et fonctionnent sur de larges gammes de température.

- **Informations concernant l'application de thermocouples :**
 - **Thermocouples en métaux de base**

Type K

Les thermocouples NiCr-NiAl conviennent pour un usage dans des atmosphères oxydantes ou de gaz inerte allant jusqu'à 1200 °C avec la plus grande taille de câble.

Protéger les thermocouples des atmosphères sulfureuses. Comme ils sont moins susceptibles d'oxydation que les thermocouples fabriqués dans d'autres matériaux, on les utilise la plupart du temps pour des applications à des températures supérieures à 550 °C allant jusqu'à la pression de service maximum du thermocouple.

Type J

Les thermocouples Fe-CuNi conviennent pour un usage dans des atmosphères oxydantes et réductrices ou des atmosphères de gaz inerte. Ils sont utilisés pour des mesures de température jusqu'à 750 °C avec la plus grande taille de câble.

Type N

Les thermocouples NiCrSi-NiSi conviennent pour un usage dans des atmosphères oxydantes, des atmosphères de gaz inerte ou des atmosphères réductrices sèches jusqu'à 1200 °C.

Ils doivent être protégés des atmosphères sulfureuses. Ils sont très précis à hautes températures. La tension de source (FEM) et la plage de température sont presque les mêmes que pour le type K. Ils sont utilisés dans des applications où une durée de fonctionnement plus longue et une meilleure stabilité sont requises.

Type E

Les thermocouples NiCr-CuNi conviennent pour un usage dans des atmosphères oxydantes ou de gaz inerte allant jusqu'à 900 °C avec la plus grande taille de câble. Les thermocouples de type E, parmi tous les thermocouples communément utilisés, développent la tension de source (FEM) la plus haute par °C.

Type T

Les thermocouples Cu-CuNi conviennent pour des températures en dessous de 0 °C avec une limite supérieure de température de 350 °C et peuvent être utilisés dans des atmosphères oxydantes, réductrices ou de gaz inerte. Ils ne se corrodent pas dans des atmosphères humides.

- **Thermocouples en métaux précieux**

Type S

Les thermocouples de type S (Pt10%Rh – Pt : Platine -10%rhodium – Platine) sont adaptés pour une utilisation continue en atmosphères oxydantes ou inertes à des températures jusqu'à 1600 °C. Ils ne peuvent pas être insérés dans une gaine métallique. Prendre garde à une fragilisation éventuelle due à la contamination.

Type R

Les thermocouples de type R (Pt13%Rh – Pt : Platine-13%rhodium – Platine) sont adaptés pour une utilisation continue en atmosphères oxydantes ou de gaz inerte à des températures

jusqu'à 1600 °C. Ils ne peuvent pas être insérés dans une gaine métallique. Prendre garde à une fragilisation éventuelle due à la contamination.

Type B

Les thermocouples de type B (Pt30%Rh - Pt6%Rh : Platine -30%rhodium - Platine - 6%rhodium) sont adaptés pour une utilisation continue en atmosphères oxydantes ou de gaz inerte et pour un usage à court terme dans des environnements de vide à des températures jusqu'à 1600 °C. Ils ne peuvent pas être insérés dans une gaine métallique. Prendre garde à une fragilisation éventuelle due à la contamination.

Les thermocouples de type R, S et B comprennent en général une gaine à bout fermé en céramique pure. Si on utilise un doigt de gant ou une gaine en métal, on a besoin d'une gaine à bout fermé. Les thermocouples en métaux précieux sont susceptibles d'être contaminés. Il est fortement recommandé d'entourer ces thermocouples d'un matériau en céramique.

2.1. Câbles de compensation :

On utilise les câbles de compensation dans deux cas :

- Lorsque les métaux formant le couple sont d'un prix très élevée (métaux précieux notamment) ;
- Lorsque la distance entre la prise de température et la jonction de référence est grande ;

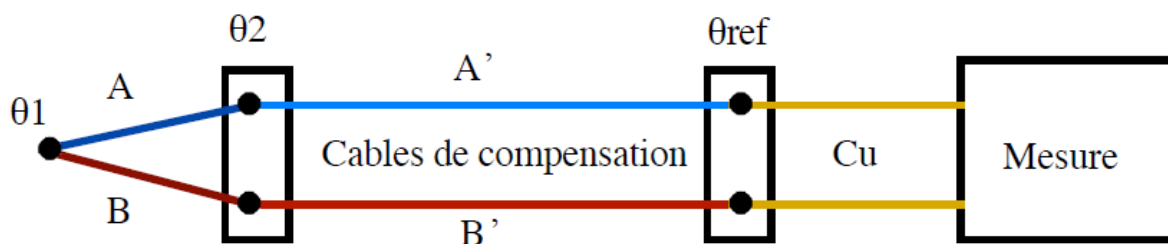


Figure 5 .Câbles de compensation

La condition à respecter est que la force électromotrice aux bornes des conducteurs A' et B' réunis en couple soit la même que celle du couple (A,B). Cette condition s'exprime par l'équation :

$$E_{AB}^{\theta_2, \theta_{ref}} = E_{A'B'}^{\theta_2, \theta_{ref}}$$

En conclusion, les câbles de compensation A' et B' ne modifient pas la tension délivrée par le couple AB à condition que :

- Les jonctions AA' et BB' soient à même température θ_2 ;
- Les couples A'B' et AB aient la même force électromotrice de Seebeck entre θ_2 et 0 °C.

3. Pyromètres optiques :



Figure 6. Pyromètre optique

3.1. Principe

Tout corps à une température supérieure au zéro absolu émet un rayonnement constitué d'un ensemble de radiations dont les longueurs d'onde appartiennent au domaine infrarouge ou visible du spectre électromagnétique. Ce rayonnement dépend de la nature, de l'état de surface et de la température du corps. La pyrométrie optique consiste à déterminer la température en mesurant le rayonnement émis.

L'intérêt de la pyrométrie optique est de permettre la détermination d'une température sans contact avec l'objet; c'est donc une méthode appropriée quand les conditions expérimentales n'autorisent pas l'utilisation de capteurs thermométriques classiques :

- Température très élevée (>2000 C) ;
- Mesures à grande distance ;
- Environnement très agressif ;
- Pièce en mouvement ;
- Localisation des points chauds.

3.2 Lois du rayonnement thermique :

Ces lois sont d'abord établies pour un corps idéal, le corps noir, le rayonnement thermique d'un corps réel, se rapproche plus ou moins de celui du corps noir.

On définit le corps noir soit comme étant un corps qui absorbe tout le rayonnement qui lui parvient et n'en réfléchit ou n'en transmet rien, soit comme un corps qui émet à chaque température considérée la plus grande quantité de rayonnement thermique à toute longueur d'onde. C'est pourquoi il est utilisé comme référence à laquelle on compare les caractéristiques de rayonnement des autres corps.

On définit l'émittance E_n , c'est la puissance totale rayonnée dans un hémisphère par unité de surface de l'émetteur.

On définit aussi l'émittance spectrale $E_{\lambda,n}$: c'est la densité spectrale de puissance rayonnée dans un hémisphère, par unité de surface de l'émetteur à une longueur d'onde λ .

1. Corps noir

La loi fondamentale de l'émission thermique est la loi de Planck :

$$E_{\lambda,n}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$

Où :

$$C_1 = 2 \cdot h \cdot C^2$$

$$C_2 = h \cdot C / k$$

T : Température absolue (K)

K : Constante de Boltzmann = $1,38054 \cdot 10^{-23} \text{ W s K}^{-1}$

C : Vitesse de la lumière = $2,998 \cdot 10^8 \text{ m / s}$

h : Constante de Planck = $6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ W s}^2$

λ : Longueur d'onde

La figure présentée ci-après représente l'évolution de l'émittance spectrale en fonction de la longueur d'onde pour diverses températures. On remarque l'augmentation rapide de l'émittance avec la température, le déplacement du spectre de l'infrarouge vers le visible (de $0,4 \mu\text{m}$ à $0,8 \mu\text{m}$) au fur et à mesure que la température augmente.

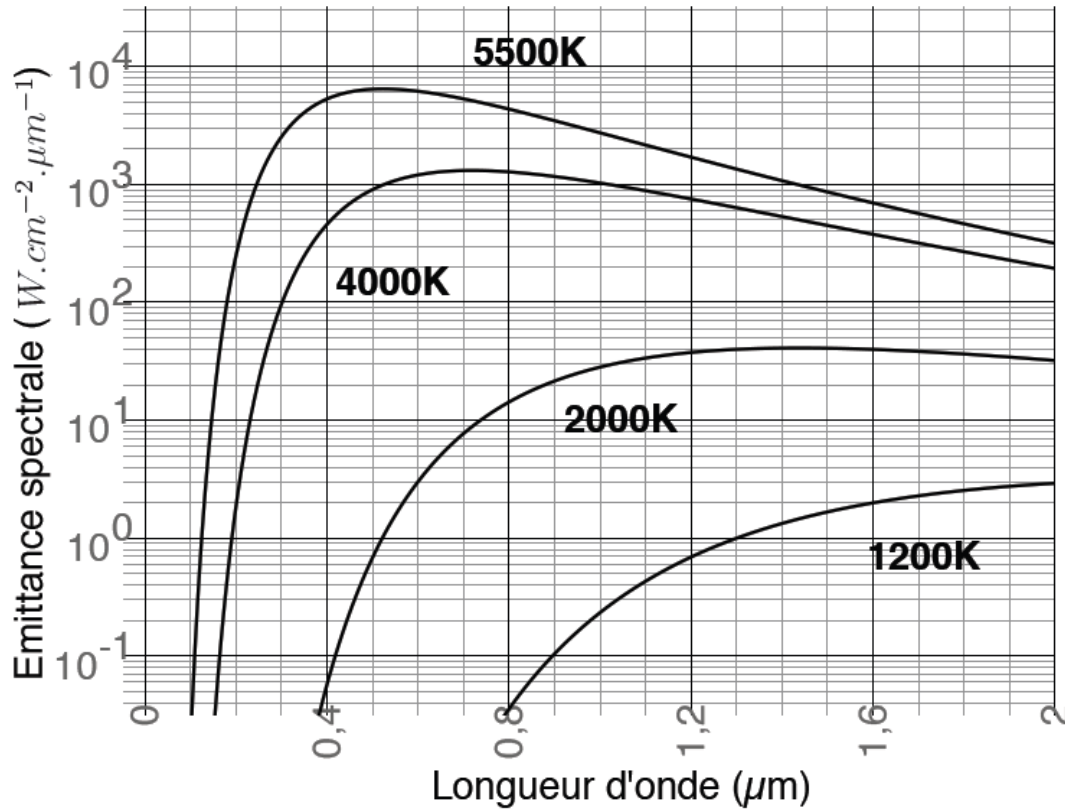


Figure 7. Emission spectrale en fonction de la longueur d'onde pour diverses températures

2. Corps réel

La formule de l'émission thermique devient :

$$E_{\lambda}(T) = \varepsilon(\lambda, T) \cdot E_{\lambda, n}(T)$$

$E_{\lambda}(T)$: Emission spectrale du corps réel

$E_{\lambda, n}(T)$: Emission spectrale du corps noir

$\varepsilon(\lambda, T)$: Emissivité à la longueur d'onde λ et à la température T du matériau constituant le corps. ε varie entre 0,1 et 1.

3.3 Principes généraux des pyromètres optiques

Suivant qu'on utilise les grandeurs spectrales à une longueur d'onde déterminée ou les grandeurs intégrales sur l'ensemble du spectre visible et infrarouge, les résultats obtenus n'ont pas la même signification physique.

On doit distinguer :

- Les pyromètres monochromatiques,
- Les pyromètres bichromatiques,
- Les pyromètres mesureurs d'énergie.

Un dispositif optique forme l'image de la source S sur la surface S' du récepteur avec juxtaposition d'une source de référence dans les appareils de zéro.