

## Chapitre 5: Mesures de température

### 1- Définition:

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert thermique entre le corps humain et son environnement.

### 2- Les échelles de température :

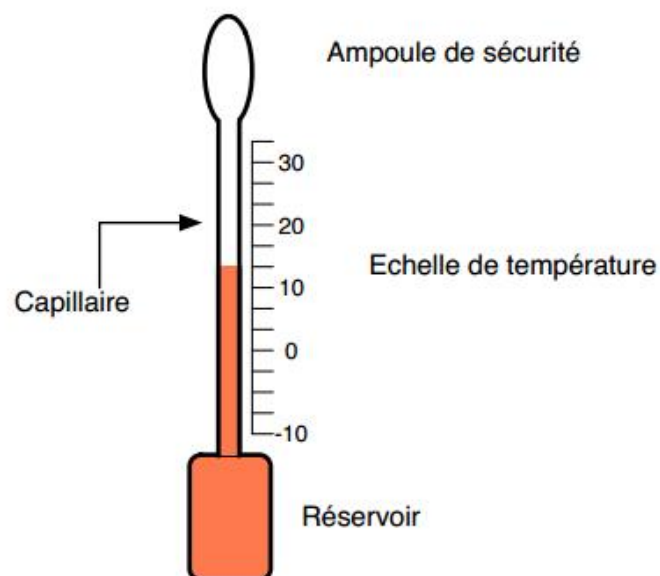
L'échelle de température la plus répandue est le degré Celsius, dans laquelle la glace (formée d'eau) fond à 0 °C et l'eau bout à environ 100 °C dans les conditions standard de pression. Dans les pays utilisant le système impérial (anglo-saxon) d'unités, on emploie le degré Fahrenheit où la glace fond à 32 °F et l'eau bout à 212 °F. L'unité du système international d'unités (SI), d'utilisation scientifique et définie à partir du zéro absolu, est le kelvin.

Échelle	°C	°F	K
<b>Zéro absolu</b>	-273,15	-459,67	0
<b>Fusion</b>	0	32	273,15
<b>Ébullition</b>	100	212	373.15

À partir de :	kelvin	celsius	fahrenheit
$T_K =$	$T_K$	$T_C + 273.15$	$(5/9) (T_F + 459.67)$
$T_C =$	$T_K - 273.15$	$T_C$	$(5/9) (T_F - 32)$
$T_F =$	$(9/5) T_K - 459.67$	$(9/5) T_C + 32$	$T_F$

### 3- Mesures de température :

#### 3-1 Thermomètres à dilatation de liquide :



Il est constitué d'un réservoir surmonté d'un capillaire de section faible et régulière (ordre de grandeur :  $\varnothing = 0,2 \text{ mm}$ ) 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.

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

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

- $V_0$  : volume du liquide à  $0^\circ\text{C}$
- $V$  : volume de liquide à  $\theta^\circ\text{C}$
- $\alpha$  : coefficient de dilatation du liquide en  $^\circ\text{C}^{-1}$

**Liquides thermométriques :**

L'espace libre au dessus du liquide peut-être vide. Toutefois, pour empêcher la colonne de liquide de se fractionner facilement et aussi pour permettre de mesurer des hautes températures, l'espace libre est rempli d'un gaz neutre (azote ou argon) mis sous une pression fonction de la température à mesurer. La chambre d'expansion évite les trop fortes variations de pression.

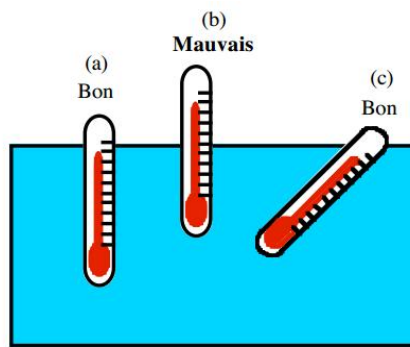
Liquides	Domaine d'emploi ( $^\circ\text{C}$ )	$\alpha$ en $^\circ\text{C}^{-1}$
Pentane	-200 à 20	
Alcool éthylique	-110 à 100	1,17
Toluène	-90 à 100	1,03
Créosote - Alcool éthylique	-10 à 200	
Mercure	-38 à +650	0,182
Mercure - Thallium	-58 à +650	
Mercure - Gallium	0 à 1 000	

**Nature de l'enveloppe :**

En fonction de la température à mesurer, il y a lieu de choisir le matériau constituant l'enveloppe du thermomètre :

- Verre d'Iena jusqu'à  $450^\circ\text{C}$
- Verre Supremax jusqu'à  $630^\circ\text{C}$
- Silice pure fondue jusqu'à  $1\,000^\circ\text{C}$

**Mesure de température dans d'un bain :**



**3-2 Thermocouple :**

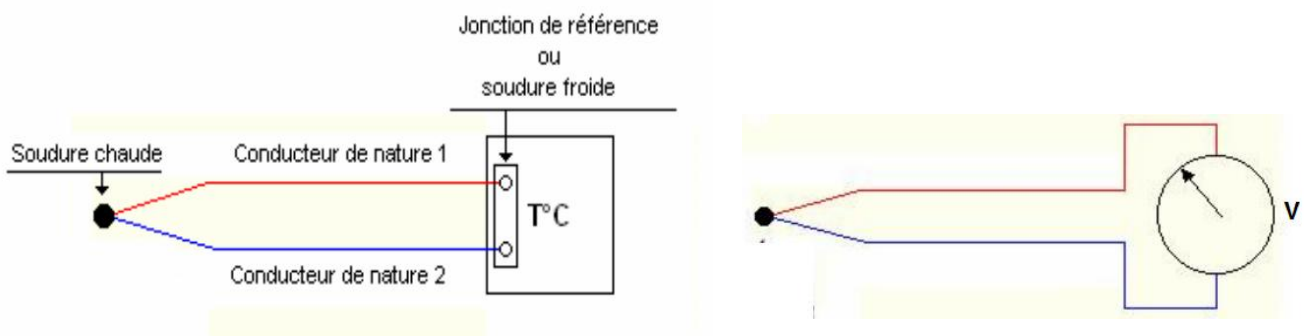
Les thermocouples, ou couples thermoélectriques (CTE), sont, en physique, des couples de matériaux dont l'effet Seebeck – découvert en 1821 par le physicien allemand Thomas Johann Seebeck – est utilisé pour la mesure de la température. Ils sont bon marché et permettent la mesure dans une grande gamme de températures.









**L'effet Seebeck**

Lorsque deux métaux sont utilisés pour former une boucle ouverte (pas de courant circulant dans les fils), un potentiel électrique peut être généré entre les deux bornes non reliées de la boucle s'il existe un gradient de température dans la boucle. Le potentiel électrique généré peut être calculé à partir de l'équation :  $dV = S_{ab}(T)dT$ ,  $S_{ab}$  est nommé coefficient Seebeck (les indices a et b représentent la nature différente des métaux employés) ou coefficient de sensibilité.

**Montage d'un thermocouple**

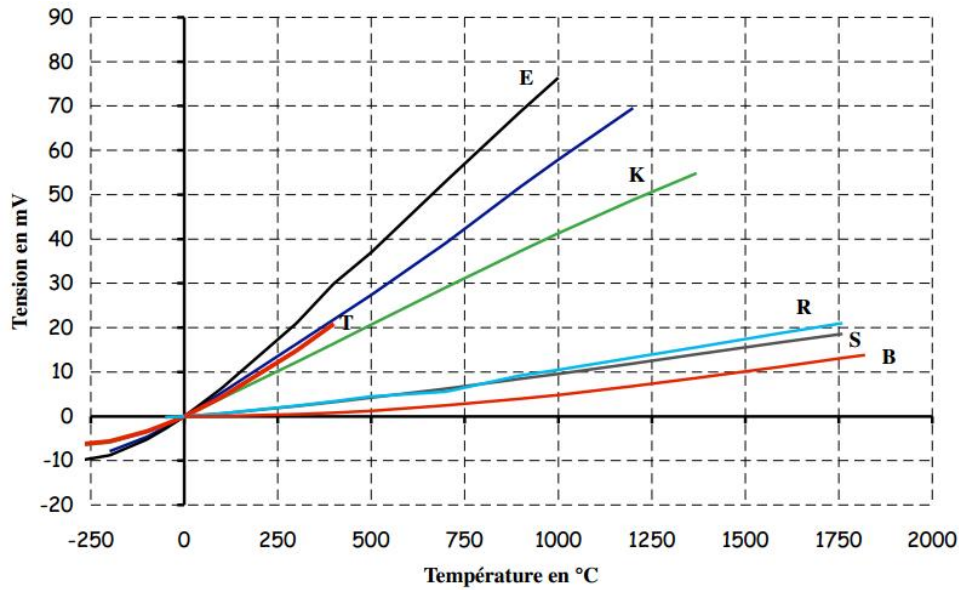
Un thermocouple est un montage exploitant l'effet Seebeck pour la détermination de la température. Celui-ci est constitué de deux fils de métaux différents, soudés à l'une de leurs extrémités. Cette jonction porte le nom usuel de « soudure chaude » et sera installé dans le milieu dont la température est à mesurer. Les deux autres extrémités sont à relier aux bornes d'un voltmètre. Les deux jonctions formées aux bornes du voltmètre portent le nom usuel de « soudures de référence » ou « soudures froides ».



Symbole	Combinaison	Polarité	Couleur gaine	Couleur Fils	THERMOCOUPLE
J	Fe	+	Noir	Noir	
	Cu-Ni	-		Blanc	
K	Ni-Cr	+	Vert	Vert	
	Ni-Al	-		Blanc	
T	Cu	+	Marron	Marron	
	Cu-Ni	-		Blanc	
E	Ni-Cr	+	Violet	Violet	
	Cu-Ni	-		Blanc	
N	Ni-Cr-Si	+	Mauve	Mauve	
	Ni-Si	-		Blanc	
S	Pt10%Rh	+	Orange	Orange	
	Pt	-		Blanc	
R	Pt13%Rh	+	Orange	Orange	
	Pt	-		Blanc	
B	Pt30%Rh	+	Gris	Gris	
	Pt6%Rh	-		Blanc	

Caractéristiques simplifiée de thermocouples

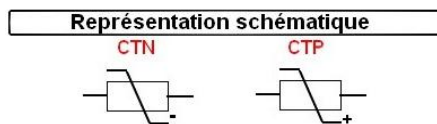
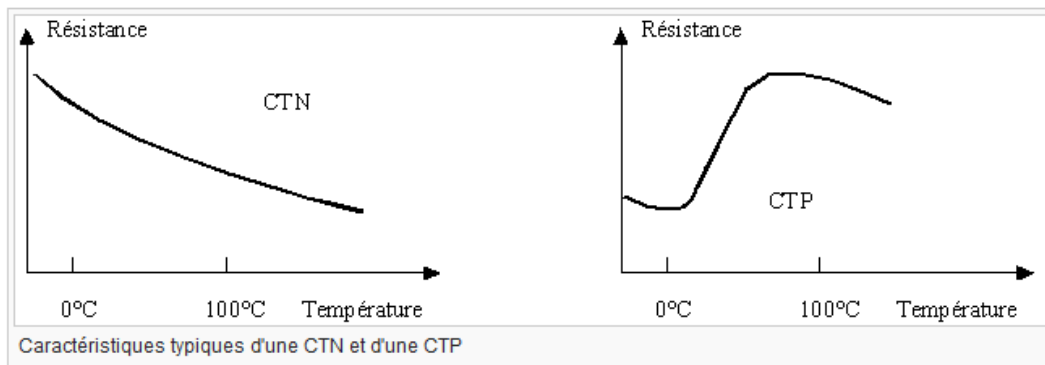
Code littéral	Couple	Usage continue Usage intermittent	Précision en %	Remarques
K	Nickel - Chrome Nickel - Aluminium	0°C à 1100°C -180°C à 1300°C	1,5	Bien adapté aux milieux oxydants
T	Cuivre Cuivre - Nickel	-185°C à 300°C -250°C à 400°C	0,5	
J	Fer Cuivre - Nickel	20°C à 700°C -180°C à 750°C	1,5	Pour milieu réducteur
E	Nickel - Chrome Cuivre - Nickel	0°C à 800°C -40°C à 900°C	1,5	Utilisation sous vide ou milieu légèrement oxydant
R	Platine - 13% Rhodium Platine	0°C à 1600°C 0°C à 1700°C	1	
S	Platine - 10% Rhodium Platine	0°C à 1550°C 0°C à 1700°C	1	Résistance à l'oxydation à la corrosion



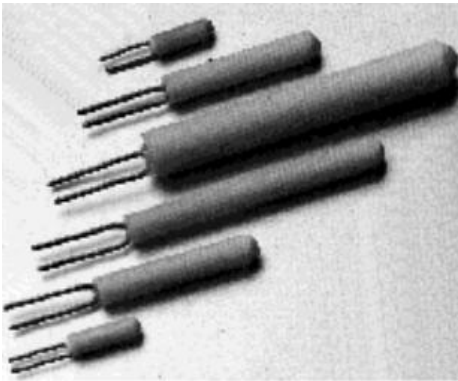
### 3-3 Thermistance :

Une thermistance est un agglomérat d'oxydes métalliques frittés, c'est-à-dire rendus compacts par haute pression exercée à température élevée, de l'ordre de 150 bars et 1000°C. La composition d'une thermistance peut-être, par exemple:  $Fe_2O_3$  (oxyde ferrique),  $MgAl_2O_4$  (aluminat de magnésium),  $Zn_2TiO_4$  (titane de zinc).

La résistance électrique d'une thermistance est très sensible à l'action de la température. Il existe deux types de thermistance, les CTN et les CTP.



Un avantage des thermistances est leur faible encombrement. On les fabrique sous forme de petits cylindres ( $d = 1$  à  $12$  mm,  $L = 5$  à  $50$  mm) de disques, de perles. La variation de résistance des thermistances dépend des matériaux utilisés. Leur domaine d'utilisation va de  $-80^{\circ}C$  à  $+700^{\circ}C$  avec une précision de  $0,1$  à  $0,5$  degré.

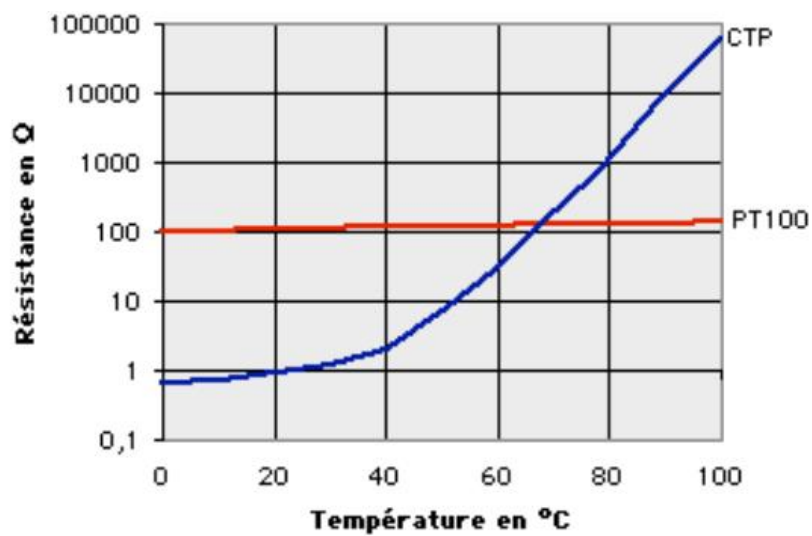
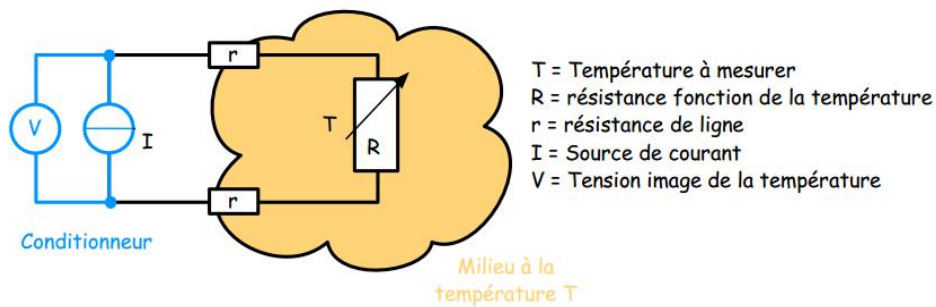


Thermistance



**Montage de mesure :**

La mesure de la température se ramène donc à une mesure de résistance. La méthode la plus simple consiste à alimenter la résistance avec un courant  $I$  et de mesurer la tension aux bornes de la résistance (on rappelle :  $U = R \times I$ ).



**Résistance en fonction de la température pour une thermistance de type CTP et une sonde platine Pt100**