

CHAPITRE IV

CAPTEURS DE TEMPERATURE

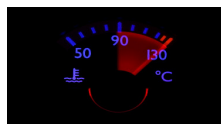
INTRODUCTION

Capteurs de Température

Appareils électroménagers



Automobile

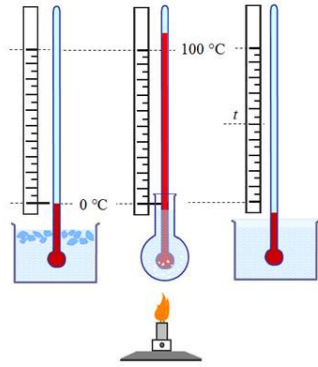


Industrie de transformation

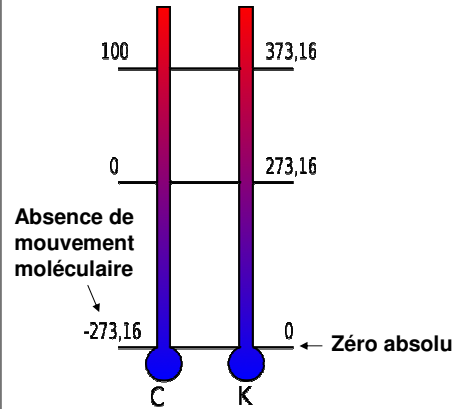


Capteurs de température Échelles thermométriques

Échelle centésimale

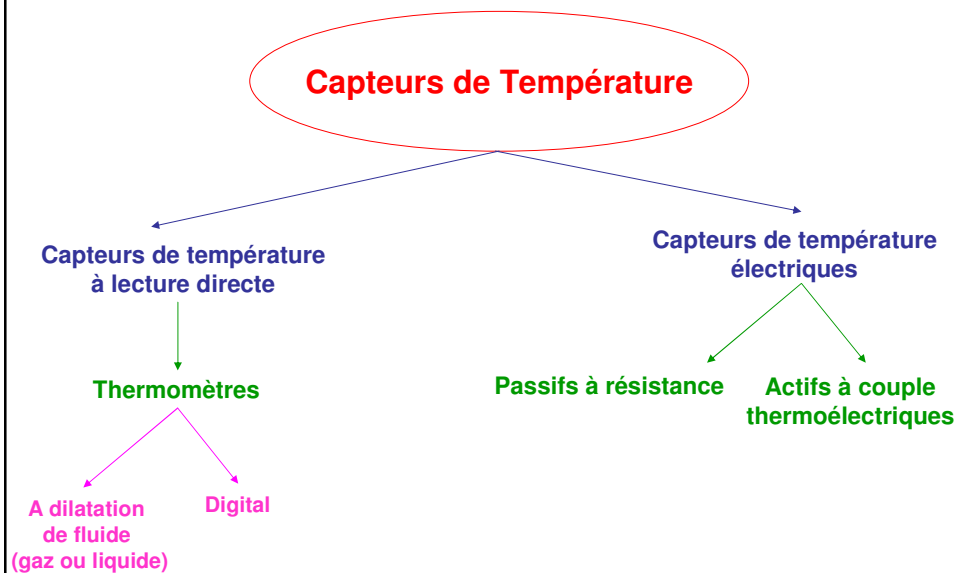


Échelle absolue



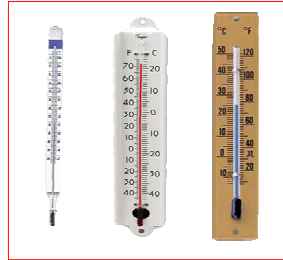
$$K = ^\circ C + 273,15$$

Capteurs de température Familles de capteurs



Capteurs de température

Capteurs à lecture directe

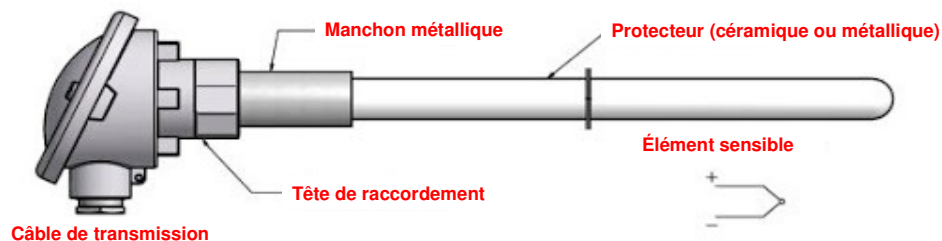


- L'indication de la température est lisible directement à travers la déviation d'une aiguille sur un cadran gradué, la hauteur d'un mercure ou un affichage digital.
- Cette indication est fournie tout près du lieu de mesure.

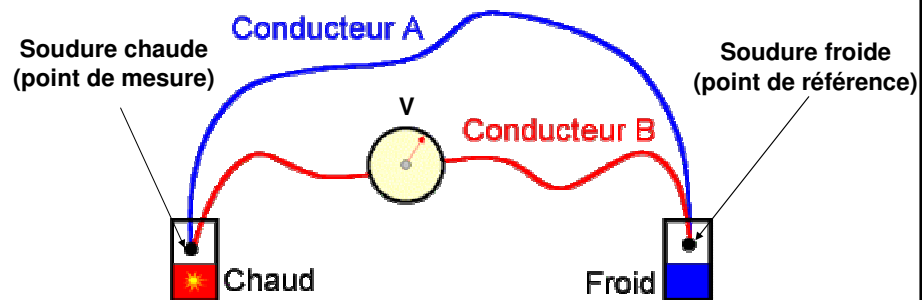
Capteurs de température

Capteurs électriques

- Les capteurs électriques ont l'avantage d'une plus grande souplesse d'emploi (information transmissible, enregistrement) pour les emplois industriels et en laboratoire.
- Ces capteurs sont rencontrés dans le milieu industriel avec une structure proche d'une canne.

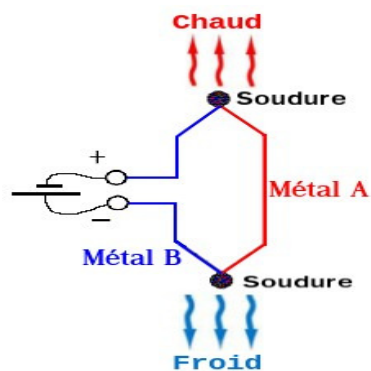


Capteurs de température Thermocouples: principe



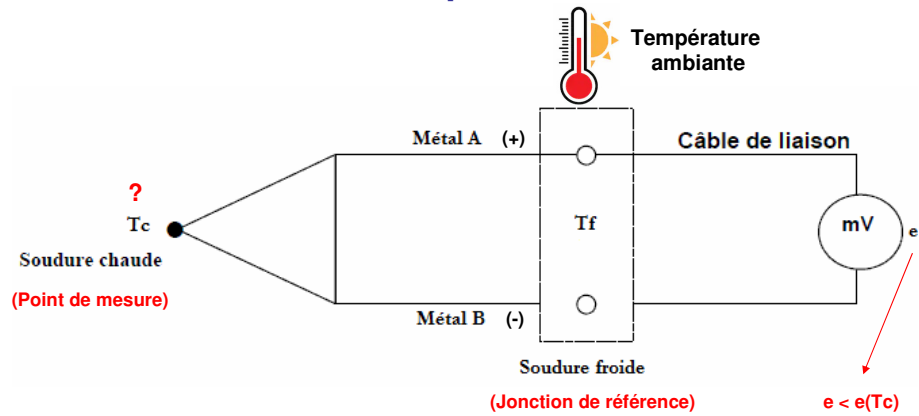
- Deux fils métalliques **conducteurs de natures différentes** sont **soudés** ensemble à leurs extrémités. Si les deux soudures se trouvent à des **températures différentes**, on mesure **une tension (f.e.m)** aux bornes de l'un des deux conducteurs.

Capteurs de température Thermocouples: effet Peltier (ou Seebeck)



- A la jonction de deux conducteurs de natures différentes s'établit une différence de potentiel, qui ne dépend que de la nature des conducteurs et de la température de la jonction.

Capteurs de température Thermocouples: mesure



$$e = e_{T_f}^{T_c} = e_0^{T_c} - e_0^{T_f}$$



$$e_0^{T_c} = e + e_0^{T_f}$$

Capteurs de température Thermocouples: tables de référence

+ 1°C

ITS-90 Table for Type T Thermocouple (Ref Junction 0°C)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
10	0.391	0.431	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.790
20	0.790	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.033	1.074	1.114	1.155	1.196
30	1.196	1.238	1.279	1.320	1.362	1.403	1.445	1.486	1.528	1.570	1.612
40	1.612	1.654	1.696	1.738	1.780	1.823	1.865	1.908	1.950	1.993	2.036

+ 10°C

Valeur de tension correspondant à $T = 23\text{ °C}$

Capteurs de température

Thermocouples: détermination de la température de soudure chaude

$$e_0^{T_c} = e + e_0^{T_f}$$

Déterminer la valeur de tension
correspondant à la température (Tf)

Ajouter la valeur de tension
lue sur le voltmètre pour obtenir
la tension de soudure chaude

Déterminer la valeur de température (Tc)
correspondant à la tension calculée

Capteurs de température

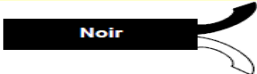
Thermocouples: types

- Les thermocouples sont désignés selon **les métaux** qui les constituent. Chaque type a une **plage de fonctionnement**, une **précision** et une **sensibilité** différentes.

Type E	Type J	Type K	Type R	Type S	Type T
Nickel 10% Chrome (+) et Constantan (-)	Fer (+) et Constantan (-)	Nickel 20% Chrome (+) et Nickel 5% Al/Mg/Si (-)	Platine 13% Rhodium (+) et Platine (-)	Platine 10% Rhodium (+) et Platine (-)	Cuivre (+) et Constantan (-)
-100 °C à 1000 °C ± 0.5 °C au 9 ^e ordre	0 °C à 760 °C ± 0.1 °C au 5 ^e ordre	0 °C à 1370 °C ± 0.7 °C au 8 ^e ordre	0 °C à 1000 °C ± 0.5 °C au 8 ^e ordre	0 °C à 1750 °C ± 1 °C au 9 ^e ordre	-160 °C à 400 °C ± 0.5 °C au 7 ^e ordre

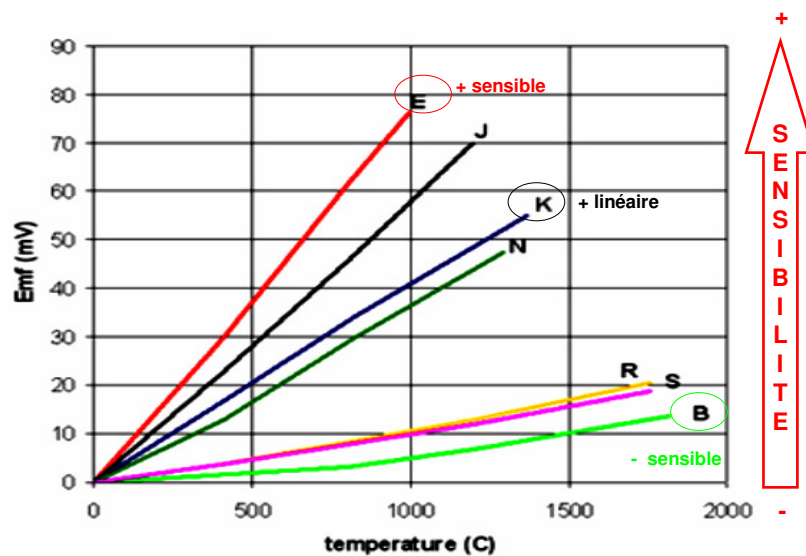
Capteurs de température

Thermocouples: code des couleurs

Code	Code de couleur
K	 Vert (+) Blanc (-)
S	 Orange (+) Blanc (-)
T	 Marron (+) Blanc (-)
J	 Noir (+) Blanc (-)
	(+) conducteur positif (-) conducteur négatif

Capteurs de température

Thermocouples: caractéristique $e = f(T)$



Capteurs de température

Thermocouples: sensibilité (ou coefficient de Seebeck)

Thermocouple Type	Seebeck Coefficient ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
E	61
J	52
K	41
N	27
R	9
S	6
T	41

Capteurs de température

Thermocouples: équation

- Pour obtenir les valeurs des températures en fonction des tensions lues:

$$T = a_0 + (a_1) e + (a_2) e^2 + (a_3) e^3 + (a_4) e^4 + \dots + (a_n) e^n$$

- T = Température à mesurer.
- e = Tension mesurée par le thermocouple.
- a_i = Coefficients uniques pour chaque thermocouple ($i=\{1..n\}$).
- n = Ordre maximum du polynôme.

Capteurs de température Thermocouples: tables NBSTT

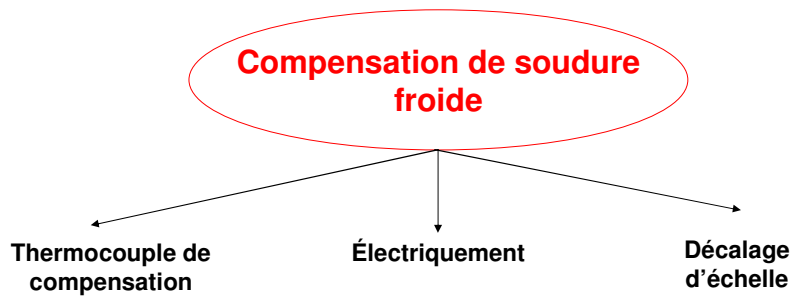
	Thermocouple Type					
	E	J	K	R	S	T
Range	0° to 1000°C	0° to 760°C	0° to 500°C	-50° to 250°C	-50° to 250°C	0° to 400°C
a_0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a_1	1.7057035E-2	1.978425E-2	2.508355E-2	1.8891380E-1	1.84949460E-1	2.592800E-2
a_2	-2.3301759E-7	-2.00120204E-7	7.860106E-8	-9.3835290E-5	-8.00504062E-5	-7.602961E-7
a_3	6.543558E-12	1.036969E-11	-2.503131E-10	1.3068619E-7	1.02237430E-7	4.637791E-11
a_4	-7.3562749E-17	-2.549687E-16	8.315270E-14	-2.2703580E-10	-1.52248592E-10	-2.165394E-15
a_5	-1.7896001E-21	3.585153E-21	-1.228034E-17	3.5145659E-13	1.88821343E-13	6.048144E-20
a_6	8.4036165E-26	-5.344285E-26	9.804036E-22	-3.8953900E-16	-1.59085941E-16	-7.293422E-25
a_7	-1.3735879E-30	5.099890E-31	-4.413030E-26	2.8239471E-19	8.23027880E-20	
a_8	1.0629823E-35		1.057734E-30	-1.2607281E-22	-2.34181944E-23	
a_9	-3.2447087E-41		-1.052755E-35	3.1353611E-26	2.79786260E-27	
a_{10}				-3.3187769E-30		
Error	+/-0.02°C	+/-0.05°C	+/-0.05°C	+/-0.02°C	+/-0.02°C	+/-0.03°C

Capteurs de température Compensation de soudure froide: besoin

- Pour une valeur donnée de température de soudure chaude, on peut obtenir une variation de f.é.m. si la température de soudure froide varie.
- Les tables de référence donnant des f.é.m. pour une valeur de température de soudure froide à 0°C (jonction de référence), il faut donc que la soudure froide soit à 0 °C, pendant les mesures, pour éviter toute dérive.
- Nécessité de compenser la soudure froide pour que la f.é.m. lue soit égale à la valeur donnée par la table de référence.

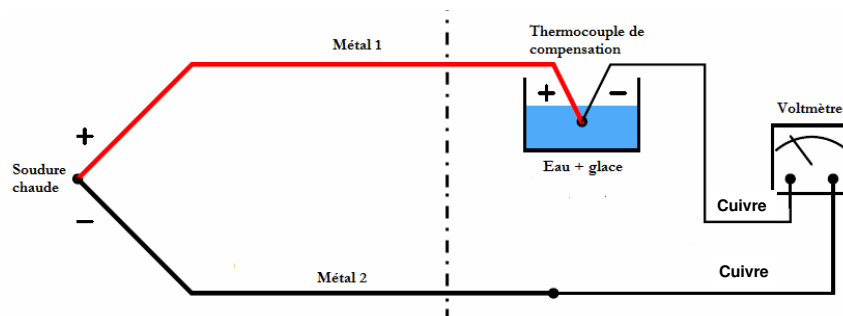
Capteurs de température

Compensation de soudure froide: méthodes



Capteurs de température

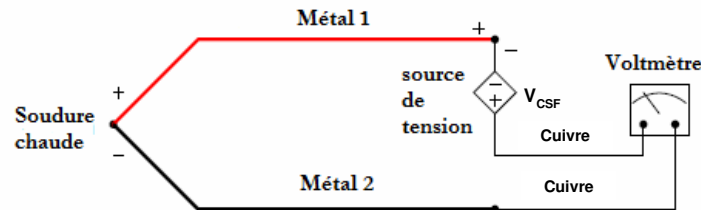
Compensation de soudure froide par thermocouple de compensation



- On place dans le circuit **un autre thermocouple** de même nature que le thermocouple de mesure. Sa soudure chaude devrait être placée dans un **mélange eau/glace (0°C)**, ce qui va s'opposer à la tension générée par la soudure froide ($e_0^{T_f}$).

Capteurs de température

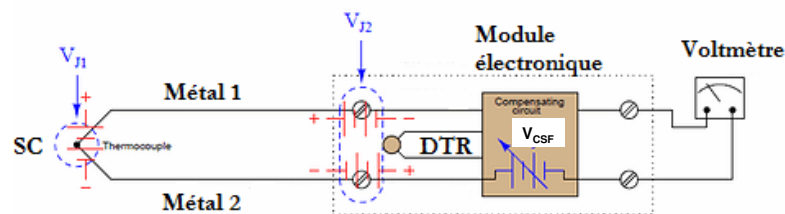
Thermocouples: compensation électrique (1)



- On place dans le circuit **une source de tension**, qui va générer une tension opposée à la tension de soudure froide (V_{CSF}). Cette tension de compensation doit, continuellement, **suivre les variations de la température de soudure froide**, ce qui nécessite une mesure précise de cette température.

Capteurs de température

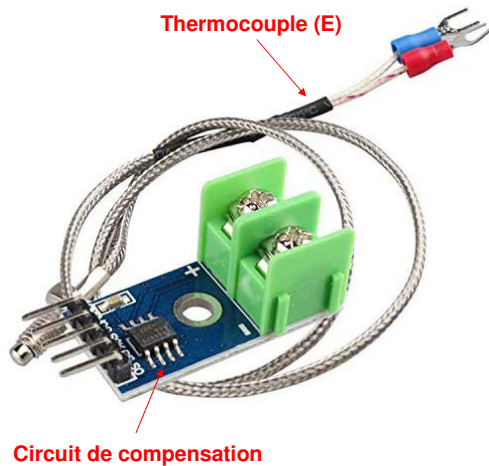
Thermocouples: compensation électrique (2)



- Pour une **mesure précise** de la température de soudure froide, on utilise **un autre capteur de température** (un Déteur Thermique Résistif ou DTR par exemple). La tension de compensation (V_{CSF}) est, ensuite, générée par un **module électronique** (ice-point module).

Capteurs de température

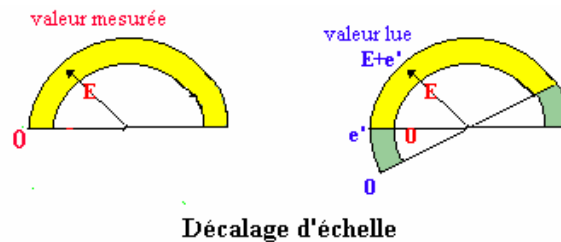
Thermocouples: compensation électrique (3)



- Thermocouple de **type E** avec une large plage de mesure: **0 ~ 1024 °C**.
- Circuit de compensation intégré interne de la soudure froide. Plage de compensation de la soudure froide: **- 20 ~ + 80 °C**.

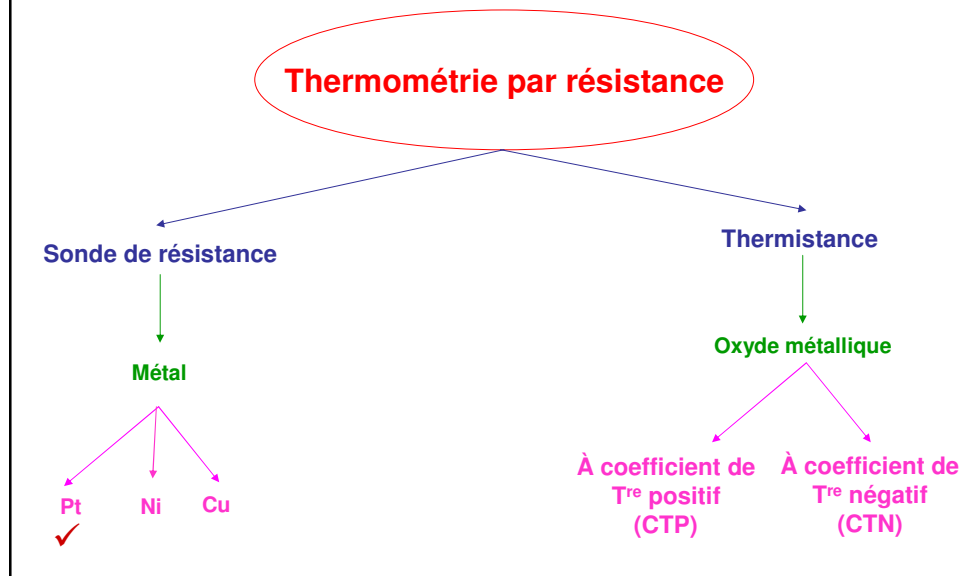
Capteurs de température

Thermocouples: compensation par décalage d'échelle



- A la valeur de tension mesurée (E), ajouter une valeur (e'), qui n'est autre que (e_0^{Tf}). Ceci revient à **décaler le zéro de l'échelle d'une quantité (e')**.

Capteurs de température Capteurs thermo-résistifs: types



Capteurs de température sonde de résistance: principe

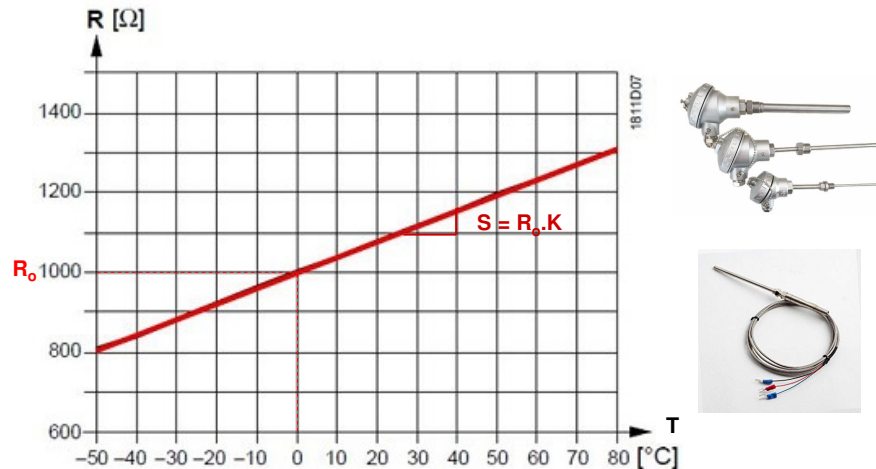
- Le fonctionnement de ces capteurs repose sur la caractéristique qu'ont certains **métaux** de **varier de résistivité**, quand la température varie. Cette variation peut être approximée par la l'équation affine suivante:

$$R(T) \cong R_o (1 + K.T)$$

- T** = Température à mesurer.
- R** = résistance mesurée à la sortie de la sonde.
- K** = Coefficient de température, **dépendant du métal utilisé**.
- R_o** = valeur de la résistance à **T = 0°C** (ou résistance de base).

Capteurs de température

Sonde de résistance: caractéristique



Capteurs de température

Sonde de résistance en Platine

- Ce type de sonde est le seul à offrir la **stabilité à long terme** et **l'interchangeabilité** entre sondes de différents constructeurs. En pratique, les valeurs de résistances de base **100 Ω** , **500 Ω** et **1000 Ω** se sont imposées.

Valeurs de résistance Pt 100/500 (en Ω) selon IEC 751 (1983)

	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
Pt100	92,16	96,09	100	103,90	107,79	111,67	115,54	119,40	123,24	127,07	130,89	134,70	138,50
Pt500	460,80	480,45	500	519,50	538,95	558,35	577,70	597,0	616,20	635,35	654,45	673,50	692,50

$0.39 \Omega/^{\circ}\text{C}$

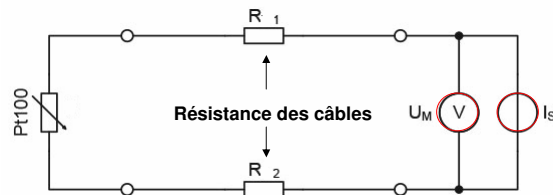
$1.95 \Omega/^{\circ}\text{C}$



$$S = R_0.K \Rightarrow K = Cte = 3.9 \times 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

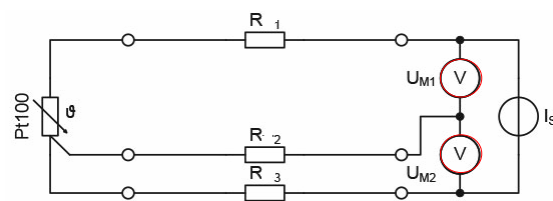
Capteurs de température

Sonde de résistance: transmission du signal (1)



Montage 2 fils

- Le montage le plus simple.
- Erreur de mesure due à la somme des résistances des lignes ($R_1 + R_2$).

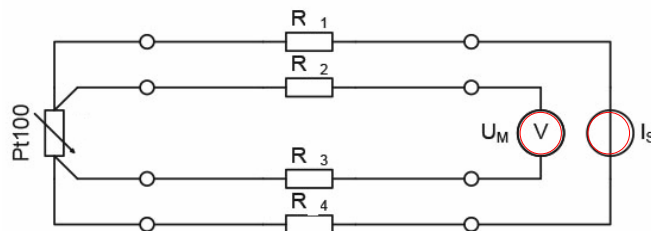


Montage 3 fils

- Le montage le plus utilisé.
- Transmission théoriquement sans erreur.
- Les résistances R_i doivent impérativement être identiques.

Capteurs de température

Sonde de résistance: transmission du signal (2)



Montage 4 fils

- Le montage le plus complexe.
- Transmission théoriquement sans erreur.
- Robuste aux variations des R_i (le chemin de mesure de la tension est indépendant du courant).

Capteurs de température

Thermistance: principe

- Une thermistance est constituée d'oxydes métalliques frittés, c'est-à-dire rendus compacts par haute pression (150 bars), exercée à température élevée (1000 °C). La composition d'une thermistance peut-être, par exemple:

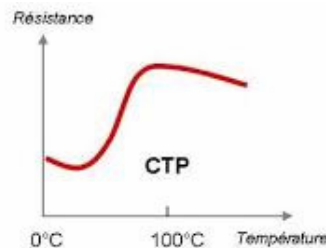
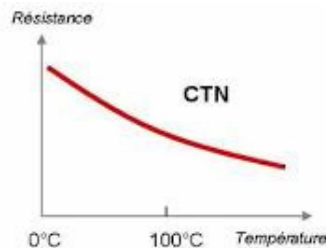
- Fe_2O_3 (oxyde ferrique) ;
- MgAl_2O_4 (aluminate de magnésium) ;
- Zn_2TiO_4 (titane de zinc).



Capteurs de température

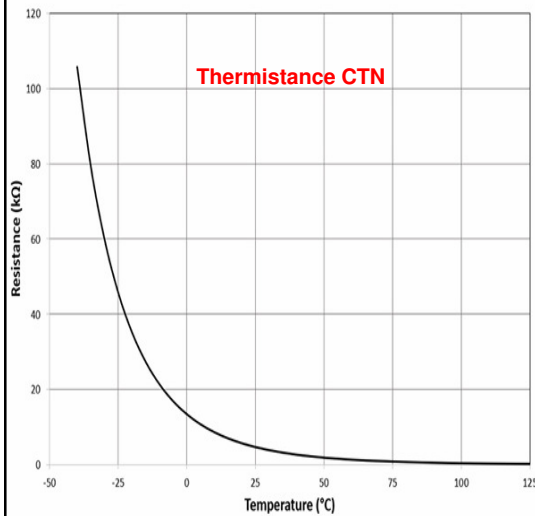
Thermistance: types

- Les **CTN** peuvent être utilisées dans une large plage de températures, de -200°C à $+1000^\circ\text{C}$. Elles sont disponibles en différentes formes. Les résistances nominales vont de quelques (Ω) à une centaine de ($\text{k}\Omega$).
- Les **CTP** sont généralement utilisées pour protéger des composants (moteurs, transformateurs) contre une élévation excessive de la température et comme protection contre des surintensités.



Capteurs de température

Thermistance: équation



$$R = R_o e^{-B \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T} \right)}$$



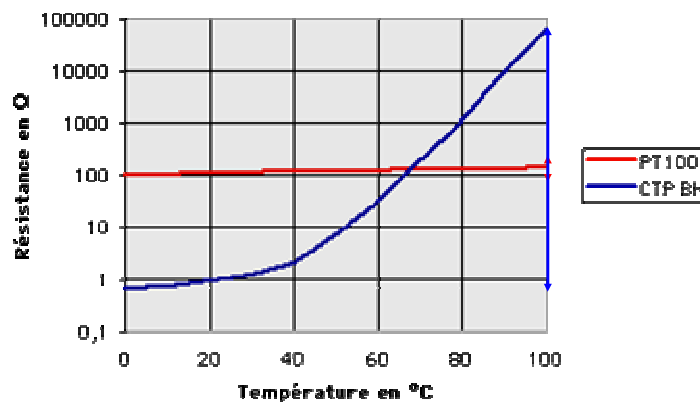
- T_o : Température de base (généralement 25°C)
- R_o : résistance à la T_o de base (généralement R_{25})
- B : coefficient strictement positif (gén. Compris entre 3000 et 7000 K)

Attention: les températures sont exprimées en Kelvin!!!!

Capteurs de température

Thermistance: sensibilité

- La résistance électrique d'une thermistance est **très sensible** à l'action de la température.



Capteurs de température Comparaison

	Thermistance	Sonde résistive	Thermocouple
Plage de Température	-55 °C +125 °C	-200 °C +550 °C	-200 °C +2000 °C
Linéarité	Non linéaire (exponentielle)	Presque linéaire	Presque linéaire
Sensibilité	Haute	Basse	moyenne
Temps de réponse	Rapide	Lent	variable
Alimentation	Requise	Requise	Non requise
Précision	Haute	Haute	Moyenne
Coût	Bas	Variable	modéré