

Introduction aux techniques de mesures

Généralités

La thermométrie est aujourd'hui indispensable à l'ensemble des secteurs d'activités.

Pour les mesures de température les plus courantes, une échelle de température facilement applicable a été mise au point, sous la dénomination "Echelle Internationale de Température"

(I.T.S 90 - International Temperature Scale).

Cette échelle couvre une plage de température allant de: - 259,34 °C à + 1064,43 °C.

Sa définition est attribuée à un nombre de phénomènes de température

à points fixes tels que:

- le point triple,
- le point d'ébullition,
- le point de glace de certains matériaux.

En pratique, l'ITS 90 peut être étroitement comparée à l'échelle de température thermodynamique fondamentale.

Les unités de mesure de l'échelle sont exprimées en KELVIN, mais elles sont plus généralement exprimées en CELSIUS.

Les deux principaux systèmes de mesure couramment utilisés sont:

- LA THERMOMETRIE PAR SONDE A RESISTANCE,
- LA THERMOMETRIE PAR THERMOCOUPLE.

Ces deux types d'applications répondent aux besoins

sur une échelle allant de - 250 °C à + 2000 °C pour les thermocouples,

et de - 200 °C à + 800 °C pour les sondes à résistance.

Ce sont le choix et la précision de la mesure qui déterminent le type de capteur à utiliser.

Choix d'un capteur de température

Pour qu'une mesure de température soit effectuée de façon satisfaisante, la connaissance du milieu à mesurer ainsi que son environnement doivent être parfaitement identifiés.

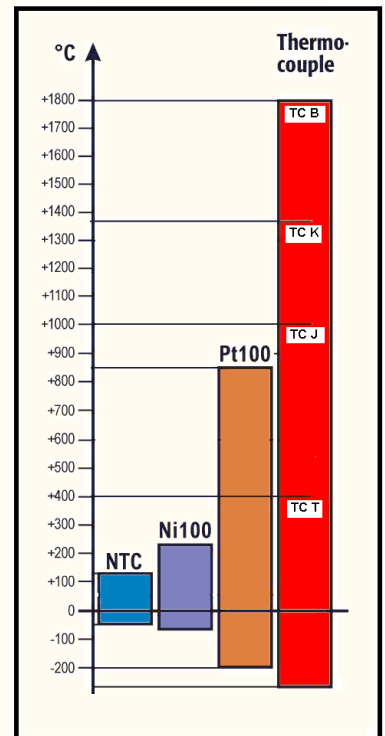
Quelques critères déterminants vous permettent de vous guider dans votre choix:

- Le point maximum d'élévation de la température du milieu, ainsi que sa vitesse de variation,
- La composition du milieu, et les risques que celui-ci présente quant à l'agression possible du capteur (produits oxydants, produits corrosifs, milieu acide, etc.),
- La dimension requise pour le capteur (longueur, diamètre), ainsi que le matériau utilisable pour ne pas perturber le milieu,
- Le positionnement et la fixation du capteur,
- Le type de raccordement et la distance de la liaison,
- Les résultats déjà connus sur le point de mesure.

La température d'utilisation n'est donc pas le seul élément à prendre en compte pour le choix d'un capteur, d'autres critères interviennent dans la prise de décision, comme:

- la plage de température
- les caractéristiques mécaniques de l'installation
- la durée de vie souhaitée
- la précision exigée
- le temps de réponse

Afin de mieux vous guider dans votre choix, vous trouverez ci-après, les principaux éléments techniques vous permettant d'effectuer le choix approprié à l'application souhaitée.



Thermométrie par sondes à résistance.

Les conducteurs électriques présentent une résistance qui varie en fonction de leur température. Ce principe est appliqué en utilisant le plus souvent des matériaux comme le platine ou le nickel. L'or, l'argent ou le cuivre, dont la résistivité électrique est intrinsèquement basse, sont donc moins aptes à la thermométrie par résistance.

En pratique, le capteur doit être réalisé dans un matériau ayant un coefficient de température élevé et une très bonne linéarité. Le platine est largement utilisé pour les applications mettant le matériau en présence de très hautes températures. En outre, celui-ci est reconnu pour sa résistance aux produits chimiques ainsi que pour sa facilité de mise en œuvre.



La relation de la résistance des sondes platine avec la température: selon la NORME CEI 751

$R(t) = R_0 (1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot (t - 100) \cdot t^3)$
 $R(t)$: résistance du thermomètre à la t°
 R_0 : résistance du thermomètre à 0°C
 t : température en $^\circ\text{C}$
 A, B, C : coefficients définis par la norme.

Norme	Alpha ohms/ohm/ $^\circ\text{C}$	R_0 ohms	Coefficients
IEC751 (Pt100)	0.00385055	100	Pour $-200^\circ\text{C} < t < 0^\circ\text{C}$ $A = 3.90830 \times 10^{-3}$ $B = -5.77500 \times 10^{-7}$ $C = -4.18301 \times 10^{-12}$
			Pour $0^\circ\text{C} < t < 850^\circ\text{C}$ $A \text{ \& } B \text{ comme au dessus}$ $C = 0.0$

Normes et Tolérances

France	NFC 42330
Allemagne	DIN 43760
Angleterre	BS 1904
Internationale	CEI 751

Tolérances admissibles en $^\circ\text{C}$: $\pm (0,15 + 0,002[t])$ pour la classe A
 $\pm (0,3 + 0,005[t])$ pour la classe B
 $[t]$ étant la valeur de la température en $^\circ\text{C}$

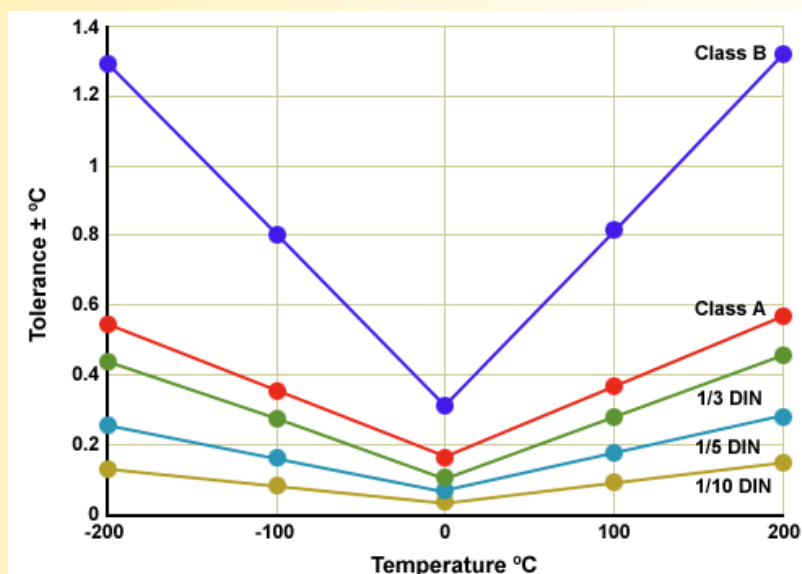
Le type de sonde platine le plus couramment utilisé est la Pt100 dont la valeur à 0°C est de 100 Ohms. Il existe également des éléments sensibles avec des valeurs de 500 Ohms et de 1000 Ohms. Ils présentent l'avantage d'une plus grande sensibilité, c'est à dire d'une variation plus importante de la valeur de résistance en fonction de la température.

Sensibilité des différents éléments platine:

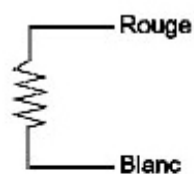
Élément Pt 100:	0,385 Ohms / $^\circ\text{K}$
Élément Pt 500:	1,925 Ohms / $^\circ\text{K}$
Élément Pt 1000:	3,850 Ohms / $^\circ\text{K}$

TOLERANCES DES SONDES A RESISTANCE PT100 OHMS SUIVANT LA NORME CEI 751

TEMP °C	TOLERANCES									
	CLASSE B		CLASSE A		1/3 CLASSE B		1/5 CLASSE B		1/10 CLASSE B	
	± °C	± Ohms	± °C	± Ohms	± °C	± Ohms	± °C	± Ohms	± °C	± Ohms
- 200	1,3	0,56	0,55	0,24	0,44	0,19	0,26	0,11	0,13	0,06
- 100	0,8	0,32	0,35	0,14	0,27	0,11	0,16	0,06	0,08	0,03
0	0,3	0,12	0,15	0,06	0,1	0,04	0,06	0,02	0,03	0,01
+ 100	0,8	0,3	0,35	0,13	0,27	0,1	0,16	0,05	0,08	0,03
+ 200	1,3	0,48	0,55	0,2	0,44	0,16	0,26	0,1	0,13	0,05
+ 300	1,8	0,64	0,75	0,27	0,6	0,21	0,36	0,13	0,18	0,06
+ 400	2,3	0,79	0,95	0,33	0,77	0,26	0,46	0,16	0,23	0,08
+ 500	2,8	0,93	1,15	0,38	0,94	0,31	0,56	0,19	0,28	0,09
+ 600	3,3	1,06	1,35	0,43	1,1	0,35	0,66	0,21	0,33	0,1
+ 650	3,6	1,13	1,45	0,46	1,2	0,38	0,72	0,23	0,36	0,11
+ 700	3,8	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-
+ 800	4,3	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-
+ 850	4,6	1,34	-	-	-	-	-	-	-	-

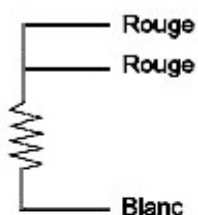


Sondes à résistance - type de raccordement électrique.



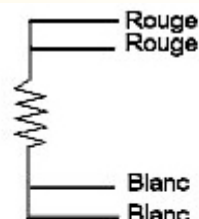
1 / montage 2 fils

Montage le plus simple, mais la précision est influencée par la résistance de ligne.



2 / montage 3 fils

Montage le plus couramment utilisé dans l'industrie. Ce montage permet de minimiser les erreurs systématiques dues aux résistances de lignes.



3 / montage 4 fils

Montage le plus précis permettant de supprimer totalement les erreurs dues à la résistance de ligne ainsi qu'aux variations de température des conducteurs. Montage utilisé dans les laboratoires

Thermométrie par thermocouples

Effet Thermoélectrique

L'effet SEEBECK détermine la création d'une force électromotrice (FEM) de contact qui varie en fonction de la température au point de contact de deux métaux.

Deux fils d'alliage ou de métaux différents soudés en un point forment un COUPLE THERMOELECTRIQUE.

Lorsque l'on chauffe le point de jonction des deux fils

(point de mesure ou soudure chaude),

il se forme une tension aux extrémités libres

(point de raccordement et de compensation ou soudure froide),

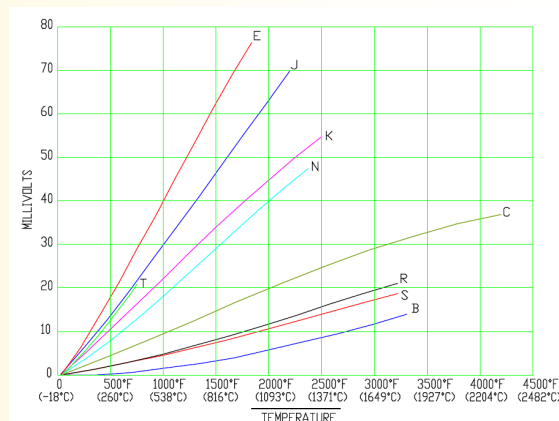
Le thermocouple mesure alors la différence de température entre le point de mesure et le point de compensation.

Les matériaux utilisés le plus couramment sont regroupés

dans le tableau suivant la NORME CEI 584-1.

Le premier élément déterminant dans le choix d'un thermocouple est donc la température.

Néanmoins, le choix judicieux d'un thermocouple doit aussi tenir compte des conditions particulières de l'environnement quand elles existent et qu'elles peuvent influencer la mesure. Afin d'identifier avec facilité chaque type de couple, une lettre a été choisie et affectée à un couple précis en fonction de ses caractéristiques propres. Le tableau ci-après regroupe les principales informations relatives au choix d'un couple en fonction des éléments cités précédemment.



Rappel :

- La FEM d'un thermocouple est générée seulement à la partie de sa longueur où le gradient thermique existe.
- Pour s'assurer de la précision de l'opération, les caractéristiques des conducteurs du thermocouple doivent demeurer uniformes en permanence.
- Un circuit comportant des matériaux dissemblables dans un même gradient thermique génère une FEM. Un circuit comportant un seul conducteur uniforme situé dans un gradient thermique ne produira aucune FEM. De même, un circuit comportant des conducteurs dissemblables dans des conditions iso thermiques ne produira aucune FEM.
- La sensibilité thermoélectrique de la plupart des matériaux ne suit pas la température de façon linéaire. Ainsi, un même écart de température entre la jonction de mesure et la jonction de référence d'un thermocouple produira, selon la température de la jonction de référence, des FEM différentes.

COUPLE		Ø des fils en mm	Résistance en Ohms / m à 0 °C	Température maxi. d'util. °C	Poids en gr/m de thermocouple
NATURE	SYMBOLE				
Cuivre Constantan	T	0,5	2,57	+ 200	3,5
		0,8	1	+ 200	9
		1	7,02	+ 300	
		1,5		+ 300	31,5
Fer Constantan	J	0,5	3	+ 500	3,3
		0,8	1,17	+ 600	8,4
		1,5	0,24	+ 700	29,7
		2		+ 750	
		3	0,09	+ 750	118
Nickel Chrome Nickel Allié	K	0,81	1,93	+ 1000	9
		1,02	1,23	+ 1000	14
		1,62	0,48	+ 1100	36
		2		+ 1100	
		3		+ 1100	
Nickel Chrome Constantan	E			+ 800	
Nicrosil	N			+ 1100	
Nisil					
Platine rhodié (10 ou 13%) Platine pur	S	0,5	1,45	+ 1500	9
	ou R	0,35		+ 1300	5
		0,5		+ 1500	
Platine rhodié (6 ou 30%)	B	0,5		+ 1600	8,6

**Extrait du tableau de correspondance des températures pour les thermocouples
et les sondes à résistance Pt100 Ohms**

Temp. °C	T (mV)	J (mV)	L (mV)	E (mV)	K (mV)	N (mV)	S (mV)	R (mV)	B (mV)	Pt 100 ohms
- 200	- 5,603	- 7,890	-	- 8,824	- 5,891	- 3,99	-	-	-	18,49
- 100	- 3,378	4,632	- 4,75	- 5,237	- 3,553	- 2,407	-	-	-	60,25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,00
+ 100	4,277	5,268	5,37	6,317	4,095	2,774	0,645	0,647	0,033	138,50
+ 200	9,286	10,777	10,95	13,419	8,137	5,912	1,440	1,468	0,178	175,84
+ 300	14,260	16,325	16,56	21,033	12,207	9,340	2,323	2,400	0,431	212,02
+ 400	20,869	21,846	22,16	28,942	16,395	12,972	3,260	3,407	0,786	247,04
+ 500	-	27,388	27,85	36,999	20,640	16,744	4,234	4,471	1,241	280,90
+ 600	-	33,096	33,67	45,085	24,902	20,609	5,237	5,582	1,971	313,59
+ 700	-	39,130	39,72	53,110	29,128	24,526	6,274	6,741	2,430	345,13
+ 800	-	-	-	61,022	33,277	28,456	7,345	7,949	3,154	375,51
+ 900	-	-	-	68,783	37,325	32,370	8,448	9,203	3,957	-
+ 1000	-	-	-	76,358	41,269	38,248	9,585	10,503	4,833	-
+ 1100	-	-	-	-	45,108	40,076	10,754	11,846	5,777	-
+ 1200	-	-	-	-	48,828	43,836	11,947	13,224	6,783	-
+ 1300	-	-	-	-	52,398	47,502	13,155	14,624	7,845	-
+ 1400	-	-	-	-	-	-	14,368	16,035	8,952	-
+ 1500	-	-	-	-	-	-	15,576	17,445	10,094	-
+ 1600	-	-	-	-	-	-	16,771	18,842	11,257	-
+ 1700	-	-	-	-	-	-	-	-	12,426	-

Classe de tolérance pour les thermocouples suivant IEC 584.

Fe-CuNi (J)	Class 1	-40 +750°C:	±0.004 .t	ou ±1.5°C
	Class 2	-40 +750°C:	±0.0075 .t	ou ±2.5°C
	Class 3	-	-	-
Cu-CuNi (T)	Class 1	-40 +350°C	±0.004 .t	ou ±0.5°C
	Class 2	-40 +350°C	±0.0075 .t	ou ±1.0°C
	Class 3	-200 + 40°C	±0.015 .t	ou ±1.0°C
NiCr –Ni (K) NiCrSi-NiSi (N)	Class 1	-40 +1000°C	±0.004 .t	ou ±1.5°C
	Class 2	-40 +1200°C	±0.0075 .t	ou ±2.5°C
	Class 3	-200 +40°C:	±0.015 .t	ou ±2.5°C
NiCr-CuNi (E)	Class 1	40 +800°C:	±0.004 .t	ou ±1.5°C
	Class 2	40 +900°C:	±0.0075 .t	ou ±2.5°C
	Class 3	200 +40°C:	±0.015 .t	ou ±2.5°C
Pt10Rh-Pt (S) Pt13Rh-Pt (R)	Class 1	0 +1600°C	±[1+(t-1100).0.003]	ou ±1.0°C
	Class 2	-40 +1600°C:	±0.0025 .t	ou ±1.5°C
	Class 3			
Pt30Rh-Pt6Rh (B)	Class 1			
	Class 2	+600 +1700°C:	0.0025 .t	ou ±1.5°C
	Class 3	+600 +1700°C:	0.005 .t	ou ±4.0°C