

CAPTEURS DE TEMPERATURE

RAPPELS

Il existe deux grandes familles de capteurs utilisés quotidiennement dans l'industrie pour la mesure des températures : les couples thermoélectriques, dits thermocouples, et les résistances thermométriques, dites Pt 100 ou sondes platine.

Qu'est-ce qu'un thermocouple ?

Un thermocouple est constitué de deux fils de métaux différents, réunis par soudure en une extrémité appelée « soudure chaude », qui sera exposée à la température à mesurer. L'autre extrémité des deux fils forme la « jonction de référence ». Elle doit être maintenue à une température uniforme et stable (référéncée à 0°C dans les normes).

Il se développe entre les deux conducteurs une force électromotrice proportionnelle à la nature différente des fils et à l'écart de température entre les deux jonctions. Les f.e.m. ainsi générées ne sont pas linéaires, c'est-à-dire que la sensibilité des couples n'est pas constante sur leur plage d'utilisation.

Pour obtenir de bonnes caractéristiques métrologiques (reproductibilité, stabilité de la f.e.m., fidélité,...), le choix des matériaux des fils du couple est important. Pour conserver ces qualités, il est nécessaire d'isoler les fils entre eux et de les préserver de l'environnement par une gaine de protection.

Les métaux et les alliages utilisés aujourd'hui, aux caractéristiques éprouvées, sont normalisés au niveau international, en ce qui concerne les matériaux, les courbes de transfert, les symboles, les tolérances et les codes de couleur.

NF EN 60-584-1 : tables de référence $e = f(\theta)$

NF EN 60-584-3 : code des couleurs

NF EN 60-584-2 : tolérances

NF C 42-325 : câble chemisé

Les principaux thermocouples normalisés

Type	Constituants du couple (1)	Plage de température (2)	Couleur selon IEC 584-3 (NF C 42-323)	Couleur selon norme de 1985 (NF C 42-323)	Tolérance selon NF EN 60-584	
					Classe 1	Classe 2
T	Cuivre Cuivre-Nickel	-40...+350°C	Brun / Blanc +/-	Jaune / Bleu +/-	$\pm 0,5^\circ\text{C}$ de -40 à +125°C $\pm 0,004.0$ de 125 à 350°C	$\pm 1,0^\circ\text{C}$ de -40 à +133°C $\pm 0,0075.0$ de 133 à 350°C
J	Fer Cuivre-Nickel	-40...+750°C -	Noir / Blanc +/-	Jaune / Noir +/-	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ de -40 à +375°C $\pm 0,004.0$ de 375 à 750°C	$\pm 2,5^\circ\text{C}$ de -40 à +333°C $\pm 0,0075.0$ de 333 à 750°C
E	Nickel-Chrome Cuivre-Nickel	-40...+900°C	Violet / Blanc +/-	Jaune / Orange +/-	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ de -40 à +375°C $\pm 0,0004.0$ de 375 à 800°C	$\pm 2,5^\circ\text{C}$ de -40 à +333°C $\pm 0,0075.0$ de 333 à 900°C
K	Nickel-Chrome Nickel-Aluminium	-40...+1200°C	Vert / Blanc +/-	Jaune / Violet +/-	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ de -40 à +375°C $\pm 0,004.0$ de 375 à 1000°C	$\pm 2,5^\circ\text{C}$ de -40 à +333°C $\pm 0,0075.0$ de 333 à 1200°C
N	Nicrosil Nisil	-40...+1200°C	Rose / Blanc +/-	-	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ de -40 à +375°C $\pm 0,004.0$ de 375 à 1000°C	$\pm 2,5^\circ\text{C}$ de -40 à +333°C $\pm 0,0075.0$ de 333 à 1000°C
S	Platine-10%Rhodium Platine	0...+1600°C	Orange / Blanc +/-	Jaune / Vert +/-	$\pm 1,0^\circ\text{C}$ de 0 à +1100°C $\pm 1+0,003(0-1100)$ de 1100 à 1600°C	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ de 0 à +600°C $\pm 0,0025.0$ de 600 à 1600°C
R	Platine-30%Rhodium Platine-6%Rhodium	0...+1600°C	Orange / Blanc +/-	Jaune / Vert +/-	$\pm 1,0^\circ\text{C}$ de 0 à +1100°C $\pm 1+0,003(0-1100)$ de 1100 à 1600°C	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ de 0 à +600°C $\pm 0,0025.0$ de 600 à 1600°C
B	Platine-13%Rhodium Platine	+600...+1700°C	Gris / Blanc +/-	Jaune / Gris +/-	-	$\pm 0,0025.0$ de 600 à 1700°C

(1) Le premier élément cité est toujours l'élément positif du thermocouple.

(2) Dans l'absolu, sans tenir compte des conditions d'utilisation et de la réalisation mécanique du capteur.

Nos thermocouples peuvent être regroupés selon trois grandes familles :

- les thermocouples d'usage général, pour les températures inférieures à 400°C et l'industrie des plastiques
- les thermocouples chemisés, largement répandus dans toutes les industries
- les thermocouples industriels, adaptés aux très hautes températures et aux environnements difficiles

Voir aussi en pages 125 à 134 les réalisations spéciales Pyro-Contrôle Chauvin Arnoux.

Les résistances thermométriques

Certains métaux purs présentent un coefficient de résistivité dont la variation en fonction de la température

est régulière et reproductible. Il est donc pratique d'utiliser cette propriété pour la mesure des températures. Aujourd'hui, on utilise principalement le platine pour réaliser ces résistances, dont la valeur est très précisément de 100 à la température de 0°C, d'où leur appellation commune de Pt 100. D'autres valeurs se rencontrent plus rarement : Pt 25, Pt 1000, etc.

L'élément sensible se présente sous la forme d'un cylindre ou d'une plaquette en céramique de faibles dimensions, dans lequel le platine est noyé. Pour s'adapter aux conditions industrielles, et étant donné leur fragilité mécanique, les résistances thermométriques doivent être isolées et protégées par une gaine pour constituer des capteurs.

CAPTEURS DE TEMPERATURE

RAPPELS

Nos résistances Pt 100 respectent la norme internationale IEC 751(NF EN 60-751) qui définit la courbe de

transfert, les tolérances et les codes de couleur pour le branchement.

Type	Plage d'utilisation en température	Tolérance selon NF EN 60751	
		Classe A	Classe B
Pt 100 à 0°C	-200...+650°C	$\pm 0,15^{\circ}\text{C} + 0,002.\theta$	$\pm 0,3^{\circ}\text{C} + 0,005.\theta$

Voir aussi les réalisations Pyro-Contrôle Chauvin Arnoux en pages 125 à 134.

Pratiquement, sur le terrain, peu d'éléments permettent de différencier un thermocouple d'une résistance thermométrique. Equipés d'un protecteur et d'un raccordement, ces deux types de capteur auront le

même aspect physique. Seuls le marquage, les fils de sortie et les repères de couleur permettront le diagnostic sans un démontage total.

Table de correspondance (extraits) des températures pour les thermocouples et les Pt 100

$\theta (^{\circ}\text{C})$	T e (mV)	J e (mV)	L e (mV)	E e (mV)	K e (mV)	N e (mV)	S e (mV)	R e (mV)	B e (mV)	Pt 100 R ()
-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	14,860	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	28,943	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	36,248	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	-

Le choix d'un capteur de température

Pour effectuer une mesure de température satisfaisante, il est nécessaire de bien connaître le milieu que l'on veut surveiller ainsi que son environnement.

En particulier, il sera bon de savoir :

- la température maximale du milieu et sa vitesse de variation
- la composition du milieu et ses risques de réaction (oxydation, corrosion,...) vis-à-vis des matériaux du capteur
- les dimensions possibles du capteur de façon à ne pas perturber le milieu (extraction de calories supérieure aux calories fournies par le chauffage)
- le mode de fixation du capteur
- le mode de raccordement
- l'historique de ce point de mesure (expérience)

Ce qui revient à se poser 3 questions principales :

- Dans quoi ou sur quoi fait-on la mesure ? (contraintes du milieu, de l'environnement)

- Comment est prévue cette mesure ? (montage, raccordement, dimensions du capteur)

- Pourquoi effectue-t-on cette mesure ? (précision, longévité du capteur)

De même, s'il s'agit d'un remplacement de matériel, il conviendra de définir le plus précisément possible le capteur usagé et l'installation dans laquelle il prend place.

On le voit, la température d'utilisation n'est pas le seul critère pour définir le capteur. Le choix relève toujours d'un compromis entre la plage de température, le temps de réponse, la précision recherchée, la nature du milieu, la longévité désirée, et les caractéristiques mécaniques inhérentes à l'installation. Un capteur de température est un composant à durée de vie limitée.

Aussi convient-il de le définir au plus juste et d'éviter les chocs thermiques répétés qui accélèrent son vieillissement. Un ré-étalonnage périodique est indispensable pour garantir la validité des mesures et, de là, la qualité de tout le process.