

Guide de sélection d'équipement d'étalonnage de thermocouple

Note d'application

Série de notes d'application relatives aux thermocouples

Il s'agit de la deuxième de quatre notes d'application relatives aux thermocouples :

1. L'essentiel des thermocouples
2. Guide de sélection d'équipement d'étalonnage de thermocouple
3. Calcul d'incertitude lié au système d'étalonnage de thermocouple
4. Comment étalonner un thermocouple

Caractéristiques des thermocouples

Les thermocouples peuvent être fabriqués à partir de tout matériau doté de propriétés thermoélectriques. Les mélanges de matériaux de thermocouple sont déterminés en fonction de comportements spécifiques et des applications. Un thermocouple produit une variation de sa tension de sortie lorsqu'il est exposé à une variation thermique. En revanche, les thermistances et les PRT produisent une variation de résistance lorsque le capteur est exposé à une variation thermique. Le tableau 1 met en contraste les caractéristiques principales des thermocouples par rapport à celles des thermistances et des PRT.



Tableau 1. Comparaison des caractéristiques des thermocouples, des thermistances et des PRT

Thermocouple	Thermistance	PRT
Plage de température : -200 à 1 700 °C*	Plage de température : 0 à 100 °C	Plage de température : -200 à 1 000 °C**
La précision dépend du type de thermocouple et des tolérances de fil (limites standard ou spéciales)*** Plages approximatives de précision : Type J $\pm 2,2$ °C ou $\pm 0,75$ % du relevé (standard) Type S $\pm 0,6$ °C ou $\pm 0,75$ % du relevé (spéciale)	Précision : $\pm 0,001$ °C à $\pm 0,01$ °C	Précision : $\pm 0,006$ °C à $0,04$ °C
Stable	Très stable	Très stable
Résistant	Modérément fragile	Très fragile
Peu coûteux	Modérément coûteux	Très coûteux

*Représente la plage de températures combinée des types de thermocouples communs. Un seul thermocouple n'est pas en mesure de couvrir la totalité de la plage indiquée.

**Représente la plage de températures combinée des types communs de PRT. Un seul PRT n'est pas en mesure de couvrir la totalité de la plage indiquée.

***Les thermocouples aux limites d'erreur standard utilisent des fils de qualité standard, sont plus communs et sont moins onéreux. Les thermocouples aux limites d'erreur spéciales sont conçus avec des fil de meilleure qualité et permettent d'améliorer le niveau de précision, mais sont plus coûteux.

Équipement d'étalonnage de thermocouple

L'étalonnage est effectué en mesurant la tension de sortie du thermocouple testé, alors que le raccord de mesure (chaud) est exposé à une source thermique et que le raccord de référence (froid) est maintenu à une température de référence (généralement 0 °C). Les instruments suivants sont requis :

- Sonde de référence
- Afficheur(s) pour la sonde de référence et le thermocouple testé
- Source thermique pour la sonde de référence, le thermocouple testé et le raccord de référence du thermocouple

Sonde de référence

Selon la précision requise, la sonde de référence sera un SPRT, un PRT ou un thermocouple de meilleure qualité et mieux étalonné que les thermocouples testés. Étant donné que cet instrument sert de référence pour l'étalonnage, sa précision et sa stabilité sont déterminants.

SPRT

Les SPRT sont les sondes de référence les plus précises et stables du marché. Généralement, une version dotée d'une gaine en verre est utilisée. Ces instruments sont standardisés car ils sont conformes à la définition ITS-90, ce qui révèle l'existence d'exigence en matière de pureté du fil de platine et du type de fabrication utilisé. Ceci permet de réduire les confusions en matière d'adéquation d'un instrument pour une application donnée et en matière de confiance dans les performances, si l'instrument est étalonné et utilisé correctement. Ces instruments sont très stables et précis, mais ils sont également très chers et extrêmement fragiles. Ils doivent être réservés uniquement aux applications requérant un niveau élevé de précision.

PRT

Lorsque les exigences en matière de précision sont moins importantes, des PRT pourront être utilisés. Les PRT existent dans de nombreuses configurations. Cependant, les PRT adéquats pour servir d'étalons sont généralement disponibles sous la forme de sondes en acier inoxydable ou recouvertes d'Inconel. Ces instruments ne sont pas aussi précis que des SPRT, mais sont généralement plus robustes et faciles à utiliser. Contrairement aux SPRT, le design des PRT est laissé à la discrétion des fabricants. Tous les designs n'offrent pas les performances requises pour servir de référence. Soyez vigilant au moment de choisir un PRT. Assurez-vous que le type choisi est adéquat pour servir d'étalon et qu'il offre un niveau de précision suffisant pour la plage d'étalonnage souhaitée.

Thermocouples

Il existe des thermocouples de référence en mesure d'atteindre le niveau d'incertitude et de stabilité des PRT (voire des SPRT) lorsque le niveau de température est élevé. Cette catégorie de thermocouples est appropriée pour servir d'étalon. Les thermocouples de références sont standardisés en matière de composition, mais pas de fabrication. Assurez-vous que les performances du modèle choisi soit conformes à la plage de températures souhaitée.

Considérations spéciales

En plus des exigences en matière de précision, d'autres caractéristiques doivent être prises en compte. Par exemple, l'extrémité du raccord de référence du thermocouple doit être suffisamment longue pour permettre une immersion appropriée dans la source thermique de référence (généralement un bain de glace). Par ailleurs, certains matériaux qui recouvrent communément les sondes de thermocouple ne doivent pas être utilisés à des températures élevées. Assurez-vous que le matériau de la gaine est compatible avec le processus d'étalonnage prévu.

Afficheur

Étant donné que les thermocouples produisent une tension de sortie, les exigences en matière d'afficheurs de thermocouple sont différentes que celles des afficheurs de SPRT, de PRT ou de thermistance. À moins que la sonde de référence ne soit aussi un thermocouple, deux afficheurs seront requis. Le raccord de référence du thermocouple doit être pris en compte. La plupart des afficheurs de thermocouple sont dotés de « raccords de référence électroniques », souvent dénommés « compensation de raccord froid ». Il s'agit d'un circuit supplémentaire qui mesure la température au niveau de la connexion de l'afficheur du thermocouple lorsque le fil du thermocouple est directement connecté à l'afficheur. Il compense la température de référence non nulle. Ce type de compensation est très pratique, mais n'est généralement pas aussi précis qu'un véritable bain au point de congélation.

Vous obtiendrez de meilleurs résultats avec des afficheurs conçus spécifiquement pour l'étalonnage de thermocouple. Les multimètres numériques posent de sérieuses limites en matière de flexibilité, sans pour autant permettre de véritables économies ou d'améliorer la précision.

La tension de sortie d'un thermocouple est très faible. Ainsi, une petite incertitude de tension se traduit par une grande incertitude thermique. Les mesures de tension doivent être extrêmement précises, même pour un étalonnage thermique requérant un niveau modéré de précision. Aussi, lorsque les niveaux de tension mesurés lors de l'étalonnage de thermocouples sont faibles, le plancher d'erreur de l'afficheur (limite de bruit) devient très significatif. Assurez-vous que l'afficheur offre une plage de tension (généralement jusqu'à 100 mV) et un niveau de précision suffisants pour étalonner des thermocouples. Par exemple, prenez un multimètre numérique très précis à 7,5 chiffres pour mesurer un thermocouple de type S à 500 °C. L'exemple suivant indique la contribution relative à partir des sources d'erreur du multimètre numérique.

Précision de multimètre numérique sur une plage de 100 mV	= (20 ppm de mesure + 2 ppm de plage)
Sortie de type S à 500 °C	= 4,2333 mV
Pente de type S à 500 °C	= 0,0099 mV/°C
Calculs de précision :	
= $\frac{(4,2333 \text{ mV} \times 20 \text{ ppm}) + (100 \text{ mV} \times 2 \text{ ppm})}{0,0099 \text{ mV/°C}}$	
= $\frac{(0,00008466 \text{ mV}) + (0,0002 \text{ mV})}{0,0099 \text{ mV/°C}} = 0,0288 \text{ °C}$	

Dans cet exemple, l'incertitude résultant du plancher du multimètre numérique est bien supérieure à l'erreur causée par la gamme de précision du multimètre. Ce rapport est plus prononcé lorsque les températures baissent et l'est moins pour les niveaux élevés de température. Cela illustre l'importance du plancher d'erreur de l'afficheur.

Source thermique

Les puits secs et les fours sont les sources thermiques les plus communes pour l'étalonnage de thermocouples. Lorsque des niveaux de précision encore plus élevés sont requis, des bains d'étalonnage peuvent être utilisés. Pour les températures les plus basses (inférieures à -100 °C) un appareil de comparaison LN2 (azote liquide) est requis.

La stabilité et l'uniformité doivent être prises en compte pour choisir une source thermique, car ces facteurs contribuent à l'incertitude d'étalonnage de thermocouples :

- La stabilité est caractéristique du niveau de précision suivant lequel la source thermique conserve la température de consigne sur la durée.
- L'uniformité est caractéristique du niveau d'homogénéité de la température au sein de la source thermique.

Les fils dénudés du thermocouple ne doivent jamais être immergés directement dans le fluide du bain. Un tube protecteur doit être utilisé. Les sondes de thermocouple ne sont généralement pas volumineuses, mais la profondeur d'immersion doit tout de même être prise en compte. Une profondeur d'immersion insuffisante est susceptible de causer des erreurs d'étalonnage. À des températures élevées, il est nécessaire de prendre des précautions pour éviter d'endommager la sonde de référence. De plus, si un raccord de référence externe est nécessaire, assurez-vous que la source thermique sélectionnée est suffisamment isolée, afin d'éviter que les surfaces externes ne se réchauffent au point d'endommager le bain de glace. Pour être sûr que l'instrument soit compatible avec votre application, évaluez attentivement les exigences correspondantes avant de choisir une source thermique.

Tableau 2. Équipement Fluke Calibration recommandé pour l'étalonnage de thermocouple

Sondes de référence			
Modèle	Plage	Dimension	Précision de base*
SPRT			
5698-25	-200 à 670 °C	Quartz, 485 mm x 7 mm (19,1 po x 0,28 po)	< 0,006 °C/100 h à 670 °C
PRT à étalon secondaire			
5626	-200 à 661 °C	305 ou 381 mm x 6,35 mm (12 ou 15 x 0,25 po)	±0,007 °C à 0 °C
PRT de référence secondaire			
5615-9	-200 à 420 °C	229 mm x 4,76 mm (9 po x 0,19 po)	±0,013 °C à 0,01 °C
5615-12	-200 à 420 °C	305 mm x 6,35 mm (12 po x 0,25 po)	±0,013 °C à 0,01 °C
PRT industriel de précision			
5627A-9	-200 à 300 °C	229 mm x 4,7 mm (9 po x 0,19 po)	±0,05 °C à 0 °C
5627A-12	-200 à 420 °C	305 mm x 6,35 mm (12 po x 0,25 po)	±0,05 °C à 0 °C
Thermocouples standard de type R et S			
5649/5650-20	0 à 1 450 °C	508 mm x 6,35 mm (20 po x 0,25 po)	±0,7 °C à 1 100 °C
5649/5650-25	0 à 1 450 °C	635 mm x 6,35 mm (25 po x 0,25 po)	±0,7 °C à 1 100 °C

*La précision de base inclut l'incertitude d'étalonnage et la répétabilité à court terme. Elle n'inclut pas la dérive à long terme.

Tableau 2 (suite). Équipement Fluke Calibration recommandé pour l'étalonnage de thermocouple

Afficheurs			
Modèle	Types de sonde	Précision	Description
1523	PRT, thermocouples, thermistances	$\pm 0,015\text{ °C à }0\text{ °C (PRT)} \pm 0,24\text{ °C à }0\text{ °C}$ (thermocouple de type K)	Thermomètre de référence portable alimenté par batterie ; le connecteur INFO-CON lit les coefficients sans nécessiter de programmation ; enregistre 25 lectures sur demande ; graphiques de tendance
1524	PRT, thermocouples, thermistances	$\pm 0,015\text{ °C à }0\text{ °C (PRT)} \pm 0,24\text{ °C à }0\text{ °C}$ (thermocouple de type K)	Thermomètre de référence portable identique au modèle 1523, mais avec des entrées pour deux thermomètres ; enregistre jusqu'à 15 000 lectures et en stocke 25 de plus sur demande
1529	PRT, thermocouples, thermistances	$\pm 0,006\text{ °C à }0\text{ °C (PRT)} \pm 0,4\text{ °C à }600\text{ °C}$ (thermocouple de type K avec compensation de raccord froid intégré)	Les quatre canaux peuvent être mesurés simultanément ; alimenté par batterie ; enregistre jusqu'à 8 000 relevés ; affichage flexible
1586A avec multiplexeur DAQ-STAQ	PRT, thermocouples, thermistances	$\pm 0,005\text{ °C à }0\text{ °C (PRT)} \pm 0,29\text{ °C à }0\text{ °C}$ (thermocouple de type K avec compensation de raccord froid intégré)	40 canaux avec vitesse de balayage de 10 canaux par seconde ; automatisation d'étalonnage de capteur lorsque connecté à une source thermique Fluke Calibration
Sources thermique			
Modèle	Plage	Précision	
Puits de métrologie de terrain			
9142	-25 à 150 °C	$\pm 0,2\text{ °C}$	
9143	33 à 350 °C	$\pm 0,2\text{ °C}$	
9144	50 à 660 °C	$\pm 0,35\text{ °C à }50\text{ °C}$ $\pm 0,35\text{ °C à }420\text{ °C}$ $\pm 0,5\text{ °C à }660\text{ °C}$	
Puits de métrologie			
9170	-45 °C à 140 °C	$\pm 0,1\text{ °C}$	
9171	-30 °C à 155 °C	$\pm 0,1\text{ °C}$	
9172	35 °C à 425 °C	$\pm 0,1\text{ °C à }100\text{ °C}$ $\pm 0,15\text{ °C à }225\text{ °C}$ $\pm 0,2\text{ °C à }425\text{ °C}$	
9173	50 °C à 700 °C	$\pm 0,2\text{ °C à }425\text{ °C}$ $\pm 0,25\text{ °C à }660\text{ °C}$	
Fours à thermocouple			
9150 (vertical)	150 °C à 1 200 °C	$\pm 5\text{ °C}$	
9118A (horizontal)	300 °C à 1 200 °C	$\pm 5\text{ °C}$	

Fluke Calibration. Precision, performance, confidence.™

▼	Electrique	RF	Température	Pression	Débit	Logiciel
---	------------	----	-------------	----------	-------	----------

Fluke Calibration

PO Box 9090,
Everett, WA 98206, États-Unis.

Fluke Europe B.V.

PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, Pays-Bas

Pour plus d'informations, contactez-nous :

Depuis les États-Unis : tél. (877) 355-3225 ou fax (425) 446-5116
 Depuis l'Europe/le Moyen-Orient/l'Afrique : tél. +31 (0) 40 2675 200
 ou fax +31 (0) 40 2675 222
 Depuis le Canada : tél. (800)-36-FLUKE ou fax (905) 890-6866
 Depuis un autre pays : +1 (425) 446-5500 ou fax +1 (425) 446-5116
 Site Internet : <http://www.flukecal.com>

©2015 Fluke Calibration.
 Les caractéristiques sont susceptibles d'être modifiées sans préavis.
 Imprimé aux États-Unis 6/2015
 Pub-ID 13272-fre

La modification de ce document n'est pas permise sans l'autorisation écrite de Fluke Corporation.