

Beamex

Calibration White Paper

www.beamex.com
info@beamex.com



Comment étalonner
une sonde de
température ?

Comment étalonner une sonde de température ?

La mesure de température compte parmi les plus répandues au sein des procédés industriels.

Chaque boucle de mesure de température comporte une sonde de température en guise de premier élément de la boucle. Ainsi, tout commence par un capteur de température. Ce dernier joue un rôle crucial dans la précision totale de la boucle de mesure de température. Comme pour tout instrument, vous voulez avoir confiance dans ses mesures, le capteur de température doit donc être étalonné régulièrement.

Pourquoi mesurer la température si vous ne vous préoccupez pas de l'exactitude ?

Dans cet article, nous nous intéresserons à la méthode d'étalonnage des capteurs de température ainsi qu'aux principaux points à prendre en compte au moment de les étalonner.

Qu'est-ce qu'un capteur de température ?

Commençons par le commencement... à savoir, en quoi consiste un capteur de température.

Comme son nom l'indique, un capteur de température est un instrument qui peut être utilisé pour mesurer une température. Il possède un signal de sortie proportionnel à la température appliquée. Quand la température du capteur change, la sortie change en conséquence.

Il existe différents types de capteurs de température avec différents signaux de sortie. Certains ont une sortie en résistance, certains en tension, certains émettent un signal digital et il en existe bien d'autres.

Dans la pratique, pour les applications industrielles, le signal d'un capteur de température est habituellement connecté à un transmetteur de température qui convertit le signal dans un format facile à transférer sur de longues distances au système

de commande (SNCC SCADA). Le signal standard 4 – 20 mA a été utilisé pendant des dizaines d'années, car il peut être transféré sur de longues distances et le courant ne change pas même s'il y a de la résistance dans les câbles. De nos jours, les transmetteurs digitaux ou même sans fil sont de plus en plus courants.

Quoi qu'il en soit, pour connaître une température, l'élément de mesure utilisé reste le capteur de température.

Mesurer la sortie d'un capteur de température

Comme la plupart des capteurs de température possèdent une sortie électrique, cette sortie doit bien évidemment être mesurée. Cela dit, vous avez besoin d'un instrument pour mesurer la sortie, la résistance ou la tension, par exemple.

L'instrument de mesure affiche souvent une quantité électrique (résistance, tension) et non une température. Il est donc nécessaire de savoir comment convertir ce signal électrique en valeur de température.

La plupart des capteurs de température standard suivent les normes internationales qui spécifient comment effectuer la conversion électricité/température en utilisant une table ou une formule. Si vous possédez un capteur non standard, vous pourriez avoir besoin d'obtenir cette information de la part du fabricant du capteur.

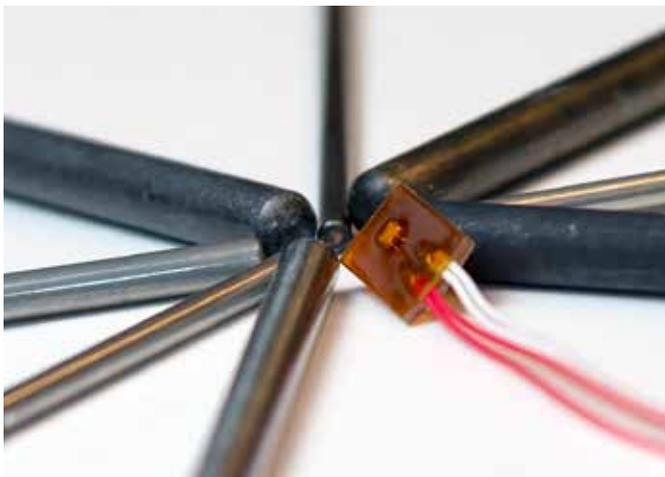
Il existe aussi des instruments de mesure qui peuvent afficher le signal du capteur de température directement comme une température. Ces instruments mesurent aussi le signal électrique (résistance, tension) et possèdent des tables de capteurs (ou des formules/polynômes) déjà programmées qui convertissent ces données en température. Par exemple, les calibrateurs de température sont habituellement compatibles avec les sondes résistives et les thermocouples (T/C) utilisés dans les procédés industriels.

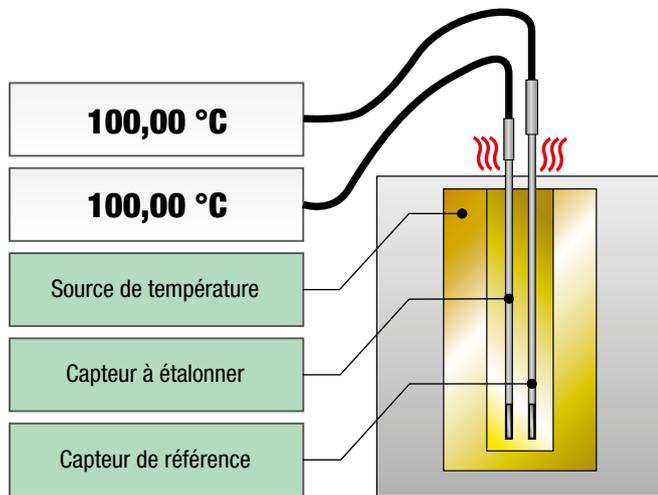
Comment étalonner un capteur de température ?

Avant de rentrer dans les différents éléments à prendre en compte lors de l'étalonnage d'un capteur de température, jetons un œil au principe général.

Tout d'abord, un capteur de température mesurant, comme son nom l'indique, une température, vous aurez besoin d'une température connue dans laquelle immerger le capteur pour l'étalonner. Il n'est pas possible de «simuler» une température, vous devez créer une température réelle en utilisant une source de température.

Pour mesurer la température générée, vous pouvez, soit





générer une température exacte, soit utiliser un capteur de température de référence étalonné. Par exemple, vous pouvez insérer un capteur de référence et le capteur à étalonner dans un bain liquide (de préférence agité) et vous pouvez réaliser un étalonnage à ce point de température. Alternativement, vous pouvez utiliser un four d'étalonnage à air sec.

À titre d'exemple, l'utilisation d'un bain d'eau glacée agité fournit une bonne exactitude pour étalonner au point 0 °C (32 °F).

Pour un étalonnage industriel et professionnel, on utilise habituellement des bains ou des fours d'étalonnage. Ces derniers peuvent être programmés soit pour chauffer soit pour refroidir la température à un point de consigne donné.

Dans certaines applications industrielles, il est courant de remplacer les capteurs de température à intervalle régulier et non d'étalonner ces capteurs de manière régulière.

Comment étalonner des capteurs de température – éléments à prendre en compte

Intéressons-nous à la réalisation d'un étalonnage de capteurs de température et aux différents éléments à prendre en compte...

1 - Manipuler un capteur de température

Différents capteurs présentent différentes structures mécaniques et différentes propriétés physiques notamment en matière de robustesse.

Les capteurs les plus exacts sont les SPRT (thermomètre à résistance de platine standard), utilisés comme capteurs de référence dans les laboratoires de température, qui sont très fragiles. Nos spécialistes de l'étalonnage de température

expliquent que si une SPRT subit le moindre choc alors le capteur doit être vérifié avant de pouvoir être utilisé.

Par chance la plupart des capteurs de températures industriels sont robustes et survivront à une manipulation normale. Il existe des capteurs industriels extrêmement robustes et qui peuvent supporter une manipulation plutôt intensive.

Mais si vous n'êtes pas sûrs de la résistance mécanique du capteur que vous devez étalonner, mieux vaut être prudent.

Mieux vaut manipuler un capteur comme si c'était un SPRT que l'inverse.

En plus des chocs mécaniques, les chocs thermiques se produisant lors d'un changement très rapide de température peuvent aussi endommager ou affecter la précision du capteur.

Les thermocouples ne sont habituellement pas aussi sensibles que les sondes résistives.

2 - Préparations

Il n'y a habituellement pas tant de préparation que cela, mais il faut quand même prendre certaines choses en compte. En premier lieu, il faut réaliser une inspection visuelle pour s'assurer que le capteur est en bon état, qu'il n'a pas été tordu ou endommagé et que les câbles aient l'air intacts.

Une contamination extérieure peut s'avérer être un problème, il est donc toujours bon de savoir où le capteur a été utilisé et dans quels types de milieux les mesures ont été réalisées. Il se peut que vous ayez à nettoyer le capteur avant son étalonnage, en particulier si vous avez prévu d'utiliser un bain liquide pour l'étalonnage.

La résistance d'isolation d'une sonde résistive peut être mesurée avant son étalonnage. Cela permet de s'assurer que le capteur n'est pas endommagé et que l'isolation entre le capteur et sa gaine est suffisante. Une chute de la résistance d'isolation peut provoquer des erreurs de mesure et constitue un signe d'endommagement du capteur.

3 - Source de température

Comme déjà mentionné plus haut, vous avez besoin d'une source de température pour étalonner un capteur de température. Vous ne pouvez pas simplement simuler une température.

Dans le cas d'applications industrielles, on utilise le plus souvent un four d'étalonnage. Ce dernier est pratique et transportable et, la plupart du temps, suffisamment précis.

Si vous avez besoin d'une précision plus élevée, vous pouvez utiliser un bain liquide. Malheureusement, ce dernier n'est

souvent pas facilement transportable. En revanche il peut être utilisé en conditions de laboratoire.

Pour le point à zéro degré Celsius, on utilise souvent un bain d'eau glacée agité. Il est relativement simple et peu onéreux tout en fournissant une bonne précision pour le point zéro.

Pour obtenir des températures avec une excellente exactitude, on utilise des cellules à points fixes. Ces dernières sont extrêmement précises, mais aussi très coûteuses. Elles sont principalement utilisées dans des laboratoires d'étalonnage de température accrédités.

4 - Capteur de température de référence

La température est générée grâce à une des sources de chaleur mentionnées dans le chapitre précédent. Vous devez bien évidemment connaître très précisément la température de la source de chaleur. Les fours d'étalonnage et les bains liquides sont équipés d'un capteur de référence interne qui mesure la température. Cependant, pour de meilleurs résultats, nous vous conseillons d'utiliser un capteur de température de référence distinct que vous insérerez à la même hauteur que le ou les capteurs à étalonner. Ce type de capteur de référence mesurera avec plus d'exactitude la température que le capteur à étalonner.

Naturellement, le capteur de référence doit être étalonné de manière traçable et valide. C'est plus facile d'envoyer un capteur de référence à étalonner que d'envoyer la source de température dans son ensemble (il faut cependant aussi garder à l'esprit le gradient de température du four d'étalonnage si vous étalonnez toujours le capteur de référence et non le four).

En ce qui concerne les caractéristiques thermodynamiques, le capteur de référence doit être aussi semblable que possible au capteur à étalonner pour s'assurer qu'ils aient un comportement similaire durant les changements de température.

Le capteur de référence et le capteur à étalonner doivent être immergés à la même profondeur dans la source de température. Habituellement, tous les capteurs doivent être plongés jusqu'au fond du four d'étalonnage. Dans le cas de capteurs très courts, cela s'avère difficile, car ils ne peuvent être immergés qu'à une profondeur limitée dans la source de température et vous devez toujours vous assurer que votre capteur de référence soit bien inséré à la même profondeur. Dans certains cas, cela nécessite un capteur de référence court dédié à cette application.

L'utilisation de cellules à points fixes vous permet de ne pas utiliser de capteur de référence, car la température est basée sur un phénomène physique connu, elle est donc extrêmement précise par nature.

5 - Mesurer la sortie d'un capteur de température

La plupart des capteurs de température ont une sortie électrique (résistance ou tension) qui doit être mesurée et convertie en température, vous avez donc besoin d'utiliser un appareil pour mesurer la température. Certaines sources de température offrent aussi des canaux de mesure pour les capteurs, aussi bien pour l'instrument testé (unité étalonnée) que pour le capteur de référence.

Si vous mesurez la sortie électrique, vous aurez besoin de convertir celle-ci en température en utilisant les normes internationales. Dans la plupart des applications industrielles, vous utiliserez un instrument de mesure capable de réaliser la conversion pour vous, de façon à lire directement le signal en unité de température (Celsius ou Fahrenheit).

Quels que soient les moyens utilisés pour cette mesure, assurez-vous de connaître l'exactitude et l'incertitude de l'instrument et de vous assurer que son étalonnage soit traçable et valide.

6 - Profondeur d'immersion

La profondeur d'immersion (qui correspond à la profondeur à laquelle vous insérez votre capteur dans votre source de température) doit être bien prise en compte au moment d'étalonner des capteurs de température.

Les experts en étalonnage de température de notre laboratoire nous ont fourni cette règle empirique pour utiliser un bain liquide agité (le pourcentage s'applique à la différence de température entre le liquide du bain et la température ambiante):

- Incertitude supplémentaire de 1% – immergez 5 diamètres + la longueur de l'élément de détection
- Incertitude supplémentaire de 0.01% – immergez 10 diamètres + la longueur de l'élément de détection
- Incertitude supplémentaire de 0.0001% – immergez 15 diamètres + la longueur de l'élément de détection

Rappelez-vous qu'un capteur de température mesure toujours sa propre température!

La conduction de chaleur dans un bain liquide agité est meilleure que celle dans un four d'étalonnage et la profondeur d'immersion requise est plus petite.

Il existe une recommandation Euramet concernant les fours d'étalonnage, conseillant d'immerger 15 fois le diamètre du capteur auquel on ajoute la longueur de l'élément sensible. Ainsi, si vous avez un capteur de 6 mm de diamètre dont l'élément sensible mesure 40 mm, vous immergerez $(6 \times 15 \text{ mm} + 40 \text{ mm}) = 130 \text{ mm}$.

Souvent, une des plus grandes sources d'incertitudes relatives à l'étalonnage de température provient d'un étalonnage réalisé trop rapidement.

Il est parfois difficile de connaître la longueur réelle de l'élément sensible à l'intérieur du capteur, mais celle-ci doit être mentionnée dans les spécifications du capteur.

De plus, vous devez savoir où est localisé l'élément sensible (il n'est pas toujours situé à l'extrémité du capteur).

Le capteur à étalonner et le capteur de référence doivent être immergés à la même profondeur de telle manière que le point central des deux éléments soit à la même profondeur.

Naturellement, dans le cas de capteurs très courts, ce n'est pas possible de les immerger très profondément. C'est une des raisons de l'incertitude élevée de l'étalonnage de ce type de capteurs.

7 - Stabilisation

Rappelez-vous qu'un capteur de température mesure toujours sa propre température !

La température change plutôt lentement, ainsi vous devez toujours patienter jusqu'à ce que toutes les parties se soient stabilisées à la température cible. Quand vous insérez le capteur à une certaine température, cela prendra toujours un certain temps avant que la température du capteur n'atteigne la température du milieu et qu'elle se soit stabilisée.

Votre capteur de référence et le capteur à étalonner (unité étalonnée) peuvent posséder des caractéristiques

thermodynamiques différentes, en particulier s'ils sont différents au niveau mécanique.

Souvent, une des plus grandes sources d'incertitudes relatives à l'étalonnage de température provient d'un étalonnage réalisé trop rapidement.

Si vous étalonnez régulièrement des capteurs de même type, nous vous conseillons de réaliser des tests pour apprendre le comportement de ces capteurs.

8 - Poignée d'un capteur de température

La poignée d'un capteur, ou jonction de transition, possède habituellement une limite haute de température. Si elle atteint une température trop élevée, cela peut endommager le capteur. Assurez-vous de bien connaître les spécifications des capteurs que vous étalonnez.

Si vous étalonnez à des températures élevées, on vous recommande d'utiliser un bouclier thermique pour protéger la poignée du capteur.

9 - Plage de température étalonnée

Dans le cas des capteurs de température, il est assez commun de ne pas étalonner la plage complète de température du capteur.

Faites particulièrement attention au moment d'étalonner les températures proches de la limite supérieure de la plage. Par exemple, une sonde résistive peut dériver de manière permanente si vous l'étalonnez dans sa plage de température la plus élevée.

De plus, les points les plus bas d'une plage de température d'un capteur peuvent être difficiles/coûteux à étalonner.

On recommande donc d'étalonner la plage de température à laquelle le capteur va être utilisé.

10 - Points d'étalonnage

Lors d'un étalonnage en milieu industriel, vous devez pouvoir vous assurer que le capteur est linéaire. Il est souvent suffisant d'étalonner trois à cinq points répartis à travers la plage.

En fonction du type de capteur, vous pouvez recourir à plus de points si vous savez que le capteur est susceptible de ne pas être linéaire.

Si vous étalonnez des capteurs au platine et que vous avez prévu de calculer des coefficients basés sur les résultats d'étalonnage, vous devrez étalonner à des points de température adaptés au calcul de ses coefficients. Les

coefficients les plus courants pour les sondes platines sont les coefficients ITS-90 et Callendar van Dusen. Pour les thermistances, on peut utiliser les coefficients Steinhart-Hart.

Quand l'étalonnage des capteurs est réalisé dans un laboratoire accrédité, les points peuvent aussi être sélectionnés en fonction de la plus petite incertitude du laboratoire.

11 - Ajustement d'un capteur de température

Malheureusement, la plupart des capteurs de température ne peuvent pas être ajustés. De ce fait, si vous découvrez une erreur dans l'étalonnage, vous ne pouvez pas la corriger en ajustant le capteur lui-même. À la place, vous devrez utiliser des coefficients pour corriger les relevés du capteur.

Dans certains cas, vous pouvez compenser l'erreur du capteur dans d'autres parties de la boucle de mesures de température (dans les transmetteurs ou le SNCC).

Autres éléments à prendre en compte

Documentation

Comme dans tout étalonnage, l'étalonnage d'un capteur de température doit être documenté par un certificat d'étalonnage.

Traçabilité

Lors d'un étalonnage, les étalons de référence utilisés doivent posséder une traçabilité valide remontant aux étalons nationaux ou équivalents. La traçabilité doit être une chaîne continue d'étalonnages dont on connaît l'incertitude de chacun.

Vous pourrez trouver plus d'informations sur la traçabilité métrologique au sein du post de blog : [Traçabilité métrologique: Vos étalonnages sont-ils traçables?](#)

Incertitude de mesure

Comme dans tout étalonnage, ainsi que dans l'étalonnage de capteurs de température, vous devez toujours connaître l'incertitude totale du procédé d'étalonnage. Lors d'un étalonnage de température, le procédé d'étalonnage (la façon avec laquelle vous réalisez l'étalonnage) peut facilement être la composante d'incertitude principale dans l'incertitude totale.

Vous pourrez trouver plus d'informations concernant

l'incertitude d'étalonnage en lisant le post de blog : [Incertitude d'étalonnage pour les non mathématiciens.](#)

Automatiser l'étalonnage

L'étalonnage de température est toujours une opération relativement longue, car la température change lentement et vous devez toujours attendre qu'elle se stabilise. Ainsi, il s'avère très intéressant de pouvoir automatiser vos étalonnages de température. L'étalonnage aura toujours la même durée, mais s'il est automatisé vous n'aurez pas besoin d'être présents pendant tout son déroulement.

Cela vous permettra bien évidemment de gagner du temps et de l'argent.

De plus, une fois automatisé, vous êtes sûrs que votre étalonnage sera toujours réalisé de la même façon.



PRODUITS BEAMEX

Nous vous invitons à regarder ce que Beamex peut vous offrir en matière d'étalonnage de température ou de services d'étalonnage.

[Calibrateurs de température Beamex](#)



SUR LE MÊME SUJET

Si vous avez trouvé cet article de blog intéressant, vous pourriez apprécier les suivants : n'hésitez pas à parcourir tous les articles du blog Beamex dont vous pourrez apprécier la lecture.

- [Sondes de température Pt100: ce qu'il faut savoir](#)
- [Les thermocouples](#)
- [Les unités de température et leur conversion](#)

Je tiens à remercier les experts en étalonnage de température de notre laboratoire accrédité pour leur aide inestimable dans la rédaction de cet article. Et je tiens tout particulièrement à remercier notre étalon Toni Alatalo, le responsable de notre laboratoire de température accrédité!