



SONDES À RÉSISTANCE - STRUCTURE ET APPLICATION

Variation de la résistance électrique en fonction de la température

La résistance électrique des métaux varie avec la température ; l'accroissement de la résistance électrique proportionnel à la température définit un **coefficient de température positif (C.T.P.)**

En pratique, on cherche à réaliser le capteur avec un matériau ayant un coefficient de température élevé et une caractéristique aussi linéaire que possible en fonction de la température ; on recherche une bonne tenue aux hautes températures et une résistance nominale suffisante.

Éléments sensibles normalisés en platine

Le platine a fait ses preuves en tant que matériau de résistance dans la mesure de température industrielle. Il présente l'avantage d'une grande résistance aux produits chimiques, d'une relative facilité de mise en œuvre (notamment pour la fabrication de fil), d'une très grande pureté et d'une bonne reproductibilité des propriétés électriques. En vue de garantir une interchangeabilité universelle, ces propriétés sont définies par la norme EN 60 751.

Cette norme définit la résistance électrique et les écarts admissibles en fonction de la température. Par ailleurs, elle détermine la valeur nominale de la résistance de mesure et la plage de température. Pour le calcul, on différencie les plages de température : -200 à 0 °C et 0 à 850 °C.

Un polynôme du 3^e degré est valable pour la plage -200 à 0 °C :

$$R(t) = R_0(1 + A \times t + B \times t^2 + C \times (t - 100^\circ\text{C}) \times t^3)$$

Un polynôme du 2^e degré est valable pour la plage 0 à 850 °C :

$$R(t) = R_0(1 + A \times t + B \times t^2)$$

... avec les coefficients :

$$A = 3,9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

La grandeur R_0 est appelée valeur nominale et indique la valeur de résistance à 0 °C.

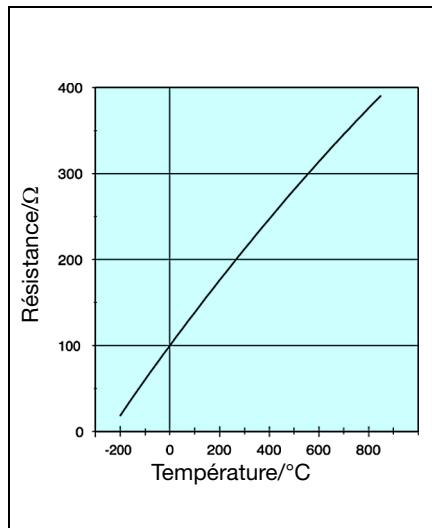


Figure 1 : caractéristique Pt 100.

Selon la norme EN 60 751, la valeur nominale est 100 Ω à 0 °C. C'est pour cela que l'on parle également de sonde **Pt100**.

On propose également des éléments sensibles avec des valeurs nominales de 500 Ω et de 1000 Ω. Ils présentent l'avantage d'une plus grande sensibilité, c.-à-d. d'une variation plus importante de la valeur de résistance en fonction de la température.

Dans une plage de température de 100 °C, on obtient des variations de résistance de l'ordre de :

0,4 Ω/K pour un élément Pt100

2,0 Ω/K pour un élément Pt500

4,0 Ω/K pour un élément Pt1000

Comme autre grandeur caractéristique, la norme définit un coefficient de température pondéré entre 0 et 100 °C. Il indique la variation de résistance moyenne se rapportant à la valeur nominale à 0 °C :

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \times 100^\circ\text{C}} = 3,850 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

R_0 et R_{100} sont les valeurs de résistance pour respectivement 0 °C et 100 °C.

Calcul de la température à partir de la résistance

En thermométrie, la température est déduite à partir de la résistance du capteur. Les formules citées indiquent la relation entre la résistance électrique et la température.

Pour les températures supérieures à 0 °C, une formule peut être déduite de la représentation de la caractéristique selon EN 60 751 :

$$t = \frac{-R_0 \times A + [(R_0 \times A)^2 - 4 \times R_0 \times B \times (R_0 - R)]^{1/2}}{2 \times R_0 \times B}$$

R = résistance mesurée en Ω

t = température calculée en °C

R_0 , A , B = paramètres suivant DIN EN 60 751

Tolérances

La norme DIN fait la différence entre deux classes de tolérances :

Classe A : $\Delta t = \pm (0,15 + 0,002 \times |t|)$

Classe B : $\Delta t = \pm (0,30 + 0,005 \times |t|)$

t = température en °C (en valeur absolue)

La formule suivante s'applique pour le calcul de l'écart limite ΔR en Ω, à une température $t > 0$ °C :

$$\Delta R = R_0(A + 2 \times B \times t) \times \Delta t$$

À une température $t < 0$ °C :

$$\Delta R = R_0(A + 2 \times B \times t - 300^\circ\text{C} \times C \times t^2 + 4 \times C \times t^3) \times \Delta t$$

La classe de tolérances A est applicable pour les températures de -200 à +600 °C tandis que la classe de tolérances B s'applique à la plage de -200 à +850 °C.

Classes de tolérances supplémentaires

De plus en plus souvent, on se rend compte que les deux classes de tolérances définies par la norme ne sont pas suffisantes pour certaines applications. En se basant sur ces tolérances normalisées, **JUMO** a créé une classification spéciale de façon à pouvoir répondre aux différents besoins du marché.

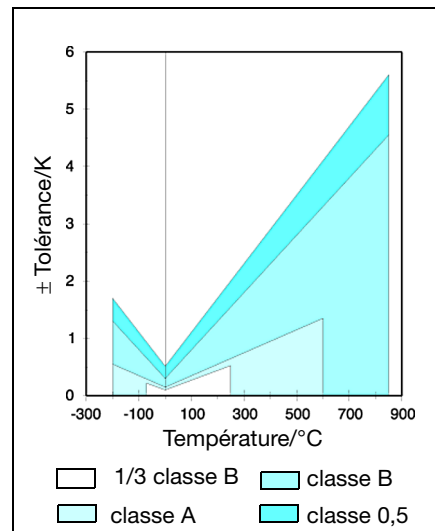


Figure 2 : évolution des tolérances en fonction de la température mesurée.

Classe de tolérance	Catégorie d'élément	Plage de température	Tolérance en K
Classe 1/3 DIN B	À couche mince À enroulement	-50 à +200°C -70 à +250°C	± (0,10 K + 0,0017 x Itl)
Classe A	À couche mince À enroulement	-70 à +300°C -200 à +600°C	± (0,15 K + 0,002 x Itl)
Classe B	À couche mince À enroulement	-70 à +600°C -200 à +850°C	± (0,30 K + 0,005 x Itl)
Classe 0,5	À couche mince À enroulement	-70 à +600°C -200 à +850°C	± (0,50 K + 0,006 x Itl)

Tableau 1 : plage de température valable pour les différentes classes de tolérance Itl = température de mesure en °C (valeur absolue)

Structure des sondes à résistance

Parallèlement à un très grand nombre d'exécutions spéciales, il existe des exécutions entièrement définies par les normes.

Sondes à résistance avec tête de raccordement

Ce type de sonde à résistance est de construction modulaire.

La sonde se compose de l'élément de mesure, de la gaine, de la tête de raccordement et du socle de raccordement ainsi que d'un système de raccordement sur process, bride, raccord.

La partie de la sonde à résistance en relation directe avec la grandeur mesurée est appelée **élément sensible**.

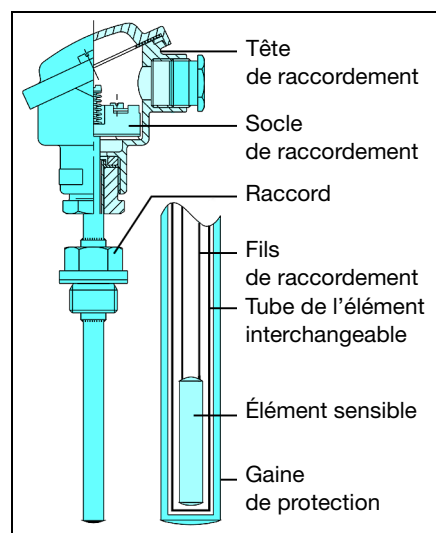


Figure 3 : structure d'une sonde à résistance.

Les éléments de mesure sont des ensembles préfabriqués, se composant de l'élément sensible et du socle de raccordement, l'élément sensible étant logé dans un **tube en bronze** (SnBz6) suivant DIN 17 681 (jusqu'à 300 °C) ou en nickel.

Il est inséré dans la **gaine de protection** proprement dite, qui est souvent en acier inox.

L'extrémité du tube vient s'appliquer contre le fond de la gaine de protection de manière à assurer une bonne conductibilité thermique.

Les vis de fixation de l'élément de mesure sont montées sur ressorts de manière à garantir le bon contact entre l'extrémité du tube et le fond de la gaine de protection, et ceci même en cas de dilatation inégale du tube et de la gaine. Les éléments de mesure sont interchangeables. Les sondes à résistance sont fabriquées en exécution simple ou double. Leurs cotes sont définies par la norme DIN 43 762. Il existe également des capteurs avec convertisseur de mesure, en technique deux fils, intégré.

En l'absence d'élément de mesure interchangeable, l'élément sensible est logé directement dans la gaine de protection protégé par de l'oxyde d'aluminium ou un matériau thermoconducteur. Après mise en place, le socle de raccordement est monté dans la tête du capteur et les fils de liaison sont soudés. Il ne sera donc plus possible d'échanger l'élément sensible ; si nécessaire, la sonde à résistance complète devra être remplacée.

En cas d'utilisation d'un **doigt de gant**, il est possible de retirer la sonde sans être obligé de vidanger l'installation ou de la mettre hors pression.

Il s'agit d'une gaine de protection, montée de manière fixe au point de mesure, dans laquelle on insère la sonde. Certaines exécutions comportent un taraudage, ce qui permet de visser la sonde dans le doigt de gant. La sonde à résistance peut se composer uniquement de l'élément de mesure ou avoir sa propre gaine de protection. Mais dans ce cas, le temps de réponse devient beaucoup plus long.

Le doigt de gant est soit soudé au point d'utilisation (ce qui n'est pas possible pour la gaine de protection en raison de la faible épaisseur de paroi) soit muni d'un filetage, généralement au pas du gaz.

Le doigt de gant étant en contact direct avec le fluide, il doit être adapté aux conditions de résistance mécanique et chimique

selon le milieu à mesurer.

En ce qui concerne les **têtes de raccordement**, la norme DIN 43 729 définit les formes A et B, qui se différencient par leurs dimensions et quelque peu par leur forme.

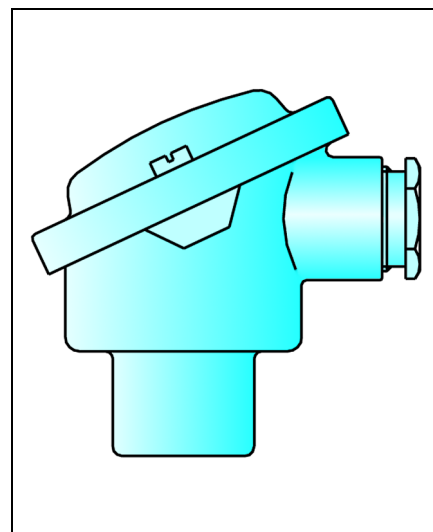


Figure 4 : tête de raccordement suivant DIN 43 729, forme B.

Les têtes de raccordement sont réalisées en fonte, en inox, en aluminium ou en matière synthétique (PVC-PUR-PAGG...). Il existe encore d'autres formes adaptées à des conditions d'utilisation spéciales. Le mode de protection n'est pas normalisé, habituellement il s'agit du mode IP54 (résistant aux projections d'eau).

Le diamètre nominal du forage destiné à recevoir la gaine de protection est de :

- 22, 24 ou 32 mm pour les têtes de raccordement forme A
- 15 mm, filetage M 24 x 1,5 ou 1/2" gaz pour les têtes de raccordement forme B.

La tête de raccordement forme B, la plus petite des deux, pour laquelle sont conçus les convertisseurs de mesure en technique deux fils, est la plus répandue.

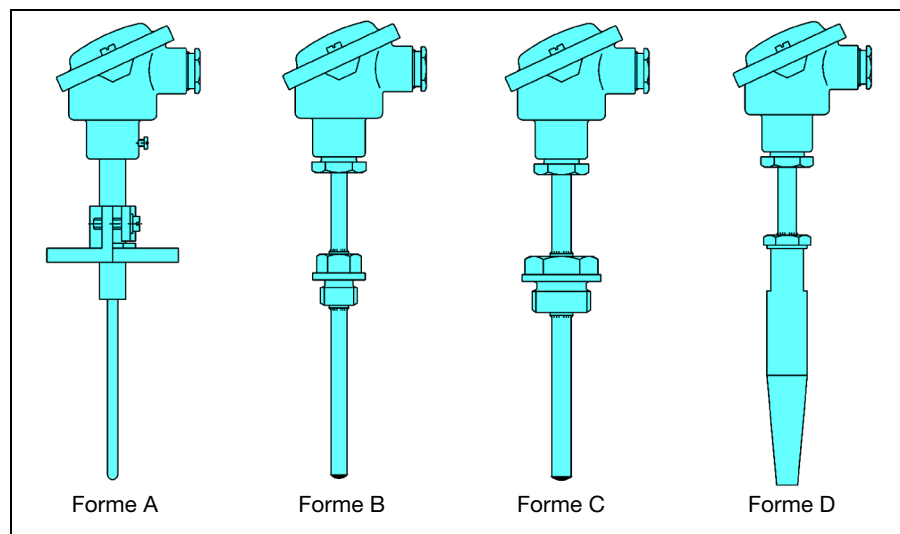


Figure 5 : thermomètres suivant DIN 43 770

Différentes exécutions de gaine de protection pour sondes à résistance et thermocouples, répondant à différents besoins, sont définies par les normes DIN 43 764 à 43769. Elles sont toutes équipées d'un élément de mesure interchangeable et d'une tête de raccordement forme B. Les normes définissent également le diamètre et la longueur des gaines de protection.

Les différentes formes des gaines de protection de capteurs (avec bride, conique, etc.) sont identifiées à l'aide des lettres A à G. Les exécutions correspondant à ces lettres sont décrites par la norme DIN 43 763 :

Forme A : gaine émaillée pour fixation par bride coulissante pour mesurer la température des gaz de fumée

Forme B : gaine avec raccord soudé 1/2" gaz

Forme C : gaine avec raccord soudé 1" gaz

Forme D : gaine à souder à paroi épaisse résistant à la pression

Forme E : gaine à extrémité conique pour réponse rapide, fixation par bride coulissante

Forme F : gaine comme forme E mais avec bride à souder

Forme G : gaine comme forme E mais avec raccord soudé 1" gaz.

La norme DIN 43 763 définit également les matériaux et leur description au moyen d'abréviations spéciales. La dénomination "gaine de protection DIN 43 763-B1-H", par exemple, désigne une gaine de forme B, donc avec raccord soudé 1/2" gaz d'une

longueur de 305 mm (code 1) en acier (code H). Par ailleurs, la norme détermine la pression d'air, d'eau ou de vapeur admissible ainsi que la vitesse d'écoulement maxi. De ce fait, les gaines de protection peuvent très bien être déterminées dès la phase d'études de l'installation à réaliser. En outre, un grand nombre d'exécutions spéciales, avec tête de raccordement normalisée ou non, avec raccordement par connecteur ou câble de raccordement fixe sont réalisables.

Sondes à résistance suivant DIN EN 14 597

Les sondes à résistance raccordées sur des régulateurs ou limiteurs de température d'installations produisant de la chaleur doivent remplir les conditions de la norme DIN EN 14 597. Il s'agit de sondes à résistances comme décrites ci-avant mais avec en plus une homologation TÜV.

Les sondes à résistance doivent pouvoir résister pendant au moins une heure à des températures supérieures de 15% à la température limite supérieure, en respectant un temps de réponse variant en fonction du milieu à mesurer (par ex., pour l'air $t_{0,63} = 120$ s). Par ailleurs, les sondes doivent être conçues pour résister aux contraintes mécaniques de pression extérieure et de vitesse d'écoulement du fluide en température.

Toute modification de ces sondes devra faire l'objet d'une nouvelle homologation TÜV.

Sondes à résistance avec enveloppe antidéflagrante

Partout où l'on stocke, traite, fabrique des matières combustibles, il peut se développer au contact de l'air une atmosphère explosive représentant un danger pour

l'environnement. Les normes européennes EN 50 014 à EN 50 020 définissent les conditions que doivent remplir les appareils électriques pour pouvoir être installés dans des zones avec risques d'explosion.

Les appareils homologués selon ces normes peuvent être utilisés dans l'ensemble de la communauté européenne.

Enveloppe antidéflagrante EEx "d" résistante à la pression

Les capteurs avec enveloppe EEx "d" sont conçus de manière à ce que tous les éléments susceptibles d'enflammer une atmosphère explosive soient enfermés de manière sûre dans l'enveloppe de protection ou dans la tête de raccordement. Une explosion interne ne peut donc pas se propager vers l'extérieur. Cette sécurité est obtenue grâce à des tolérances très serrées, des câbles d'arrivée spéciaux et une tête de raccordement de construction normalisée particulièrement robuste.

Avantage de cette exécution :

- il n'est pas nécessaire d'avoir une alimentation à sécurité intrinsèque
- possibilité de montage à deux, trois ou quatre fils
- également livrable avec convertisseur de mesure en technique 2 fils.

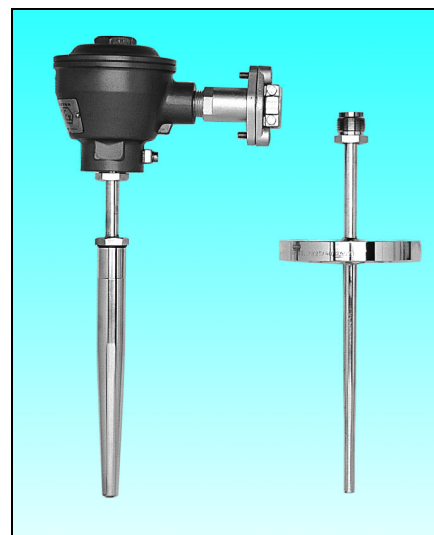


Figure 6 : sonde à résistance avec enveloppe antidéflagrante résistante à la pression EEx "d".

Sécurité intrinsèque EEx "i"

Contrairement au mode anti-déflagrant "d" qui, en général, s'applique aux appareils, le mode anti-déflagrant "i" concerne l'ensemble du circuit électrique.

Pour les sondes à résistance de ce type, le convertisseur de mesure en technique 2 fils à sécurité intrinsèque et signal de sortie de 4 à 20 mA est placé directement dans la tête de raccordement et inclus dans un circuit de courant de sécurité intrinsèque. Ce montage présente des avantages considérables :

- signal de sortie insensible aux parasites
- frais d'installation réduits
- pas de tarage de ligne
- transmission du signal de mesure à grande distance
- possibilité d'effectuer les travaux de montage et de réparation en cours de service.

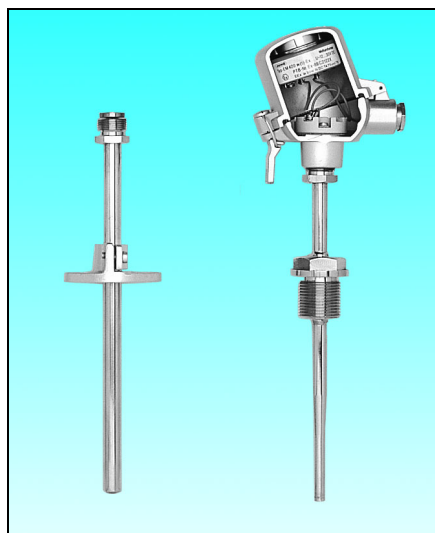


Figure 7 : sonde à résistance à sécurité intrinsèque EEx "i".

Sondes à résistance avec convertisseur de mesure en technique 2 fils

Les sondes à résistance avec convertisseur de mesure pour prise de température dans des milieux liquides ou gazeux sont utilisées lorsque l'on veut transmettre les signaux de mesure à grande distance, sans risque de parasitage. Le convertisseur de mesure transforme le signal de la sonde en un signal de courant de 4 à 20 mA linéaire et proportionnel à la température. L'alimentation du convertisseur de mesure est assurée par les câbles de raccordement, en utilisant le courant permanent de 4 mA. En raison du décalage du début du signal, on parle de « life zero ». Le convertisseur de mesure en technique 2 fils amplifie le signal et réduit considérablement sa sensibilité aux parasites. Pour les exécutions de ce type, le convertisseur de mesure en technique 2 fils, logé dans de la résine époxyde, est placé directement dans la tête de raccordement de la sonde à résistance.

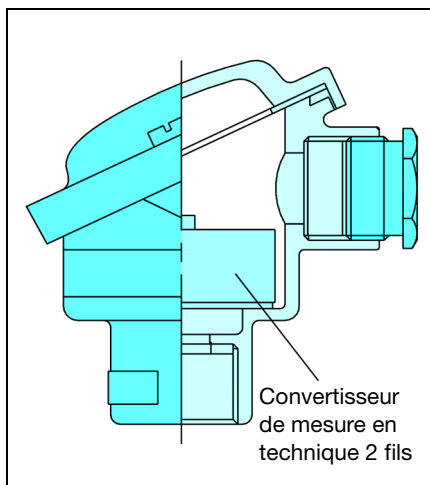


Figure 8 : tête de raccordement avec convertisseur de mesure en technique 2 fils.

Le convertisseur de mesure est adapté pour des températures d'utilisation jusqu'à 90 °C. En dehors de la tête de raccordement forme B standard, les têtes de raccordement des formes BFR, JFR, BBK, B, CNI ou BUSH sont également livrables avec convertisseur intégré.

Sondes à résistance avec câble de raccordement

Les sondes à résistance avec câble de raccordement n'ont ni élément de mesure interchangeable ni tête de raccordement. L'élément sensible est relié directement au câble de raccordement et placé dans la gaine de protection. Pour assurer sa fixation et son étanchéité, l'extrémité de la gaine de protection est sertie sur le câble. Pour un meilleur contact avec le milieu à mesurer, l'espace intérieur entre la gaine et l'élément sensible est habituellement comblé avec un matériau thermoconducteur. La température mesurée max. est déterminée en premier lieu par la résistance thermique du matériau d'isolation et de la gaine du câble de raccordement. À titre d'exemple, le tableau ci-dessous indiquent certains matériaux et la température max. correspondante :

Matériau	t _{max} /°C
PVC	80
PVC 105	105
Silicone	180
PTFE	260

Les exécutions de sonde à résistance sont très variées ; dans de nombreux cas, elles sont spécifiques aux demandes du client.

C'est pourquoi nous ne citons ici que quelques caractéristiques de base.

- Diamètre : 2 à 8 mm
- Longueur de la gaine de protection : 35 à 150 mm
- Matériaux de gaine : acier inox, laiton, acier avec revêtement
- Technique de raccordement : 2, 3 ou 4 fils
- Fixation mécanique : par bride coulissante, montage à visser, par raccord coulissant, clamp, SMS.

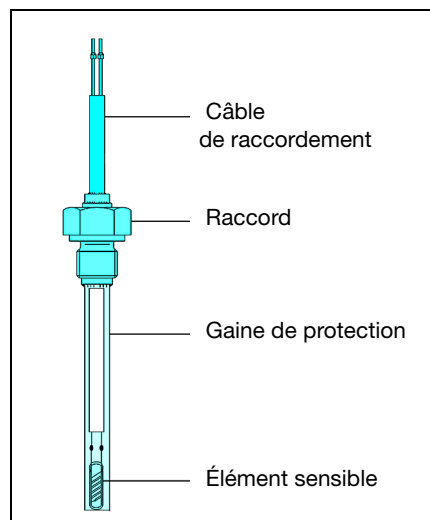


Figure 9 : structure d'une sonde à résistance avec câble de raccordement.

La sonde à résistance pour stériliseurs est encore une autre exécution de sonde à résistance.

Cette sonde à résistance doit répondre à des exigences de fiabilité très importantes. La jonction gaine de protection/câble de raccordement est étanche à la vapeur d'eau et résiste à des pressions absolues de 0,1 à 4 bar à des températures allant jusqu'à 150 °C. Les exécutions de base sont équipées de câbles de raccordement en téflon PTFE résistant à des températures élevées et de gaines de protection lisses. Jusqu'à 3 éléments Pt100 suivant EN 60 751 peuvent être montés dans ces sondes (voir fiche technique 90.2830).

Sondes à résistance chemisées

Les sondes à résistance chemisées sont constituées par une gaine flexible contenant un isolant minéral. Les fils conducteurs en cuivre sont insérés dans de l'oxyde de magnésium, fortement comprimé, dans la gaine à paroi mince. La résistance de mesure en technique 2, 3 ou 4 fils reliée aux fils conducteurs est placée dans un embout de protection en inox. Cet embout et le câble chemisé sont soudés ensemble. Ces exécutions existent à partir de 1,9 mm

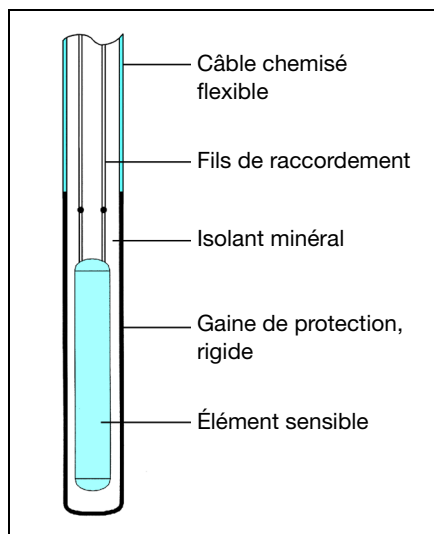


Figure 10 : structure d'une sonde à résistance chemisée.

La très bonne conductibilité thermique entre la **gaine de protection** et l'élément sensible permet d'obtenir des temps de réponse très courts ($t_{0,5}$ à partir de 1,2 s) et une grande précision de mesure. Le montage antivibratoire garantit une longue durée de vie. La flexibilité de la **gaine** [rayon de courbure minimal = $5 \times$ diamètre extérieur (1,5/1,9/3/4/5/6 mm)] permet d'effectuer des prises de température à des endroits difficilement accessibles. En raison de leurs propriétés, les sondes à résistance chemisées sont utilisées dans l'industrie chimique, les centrales électriques, la construction des moteurs, les bancs d'essais ainsi que pour toutes les prises de mesure nécessitant une grande flexibilité alliée à la facilité de mise en place.

Sondes à résistance pour compteur de calories

Les sondes à résistance pour compteur de calories sont homologuées PTB. Les différentes exécutions sont conformes au projet de norme européenne EN14 34. **Les sondes à résistance à tête de raccordement** sont livrables pour la prise de température directe et également avec un ajustement pour insertion dans un doigt de gant approprié. La longueur utile varie de 85 à 400 mm. **La sonde à résistance avec câble de raccordement** à visser ou sous gaine de protection est une variante de cette exécution. Les sondes à résistance à visser avec filetage M 10 $\times$ 1 permettent la prise de mesure en contact direct avec le fluide et offrent l'avantage de temps de réponse courts et d'une dissipation calorifique réduite. En cas d'utilisation de sondes à résistance sous gaine avec

tolérances d'ajustement, il n'est pas utile de vider le système pour procéder au changement de sonde. La solution idéale consiste à monter les sondes à résistance à visser avec câble de raccordement dans des vannes à boisseau sphérique pour tuyauterie de 1/2", 3/4" et 1" de diamètre. Du fait de la construction particulière des vannes à boisseau sphérique, il n'est pas nécessaire de vider le circuit pour monter ou remplacer les sondes. En raison des petits diamètres de tuyau, la longueur utile est au maximum de 30 mm. Du fait de l'optimisation de la structure interne des sondes à résistance **JUMO**, la dissipation calorifique, inférieure à 0,03 K, est négligeable et au-dessous de celle fixée pour l'homologation PTB (0,1 K).

Sondes à résistance à piquer

Cette exécution de sonde est une variante de celle avec câble de raccordement, à laquelle a été ajoutée une poignée. Elle est caractérisée par sa résistance aux chocs thermiques, son étanchéité à l'eau et à la vapeur ainsi que sa résistance aux chocs et aux vibrations. La sonde à résistance en montage 2 ou 3 fils est scellée dans une gaine de protection ; celle-ci est en inox avec une pointe centrée ou biseautée. La poignée, réalisée en PTFE, matière synthétique PPS ou silicone HTV, est résistante à un grand nombre de produits corrosifs. Pour une meilleure tenue à la température, le câble de raccordement est isolé par un revêtement PTFE.

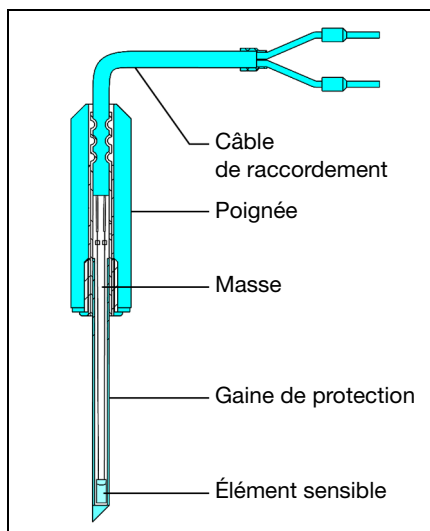


Figure 11 : structure d'une sonde à résistance à piquer.

Une excellente étanchéité tant à l'eau qu'à la vapeur est obtenue par injection de produit isolant dans le manchon de jonction.

Sonde à résistance d'applique

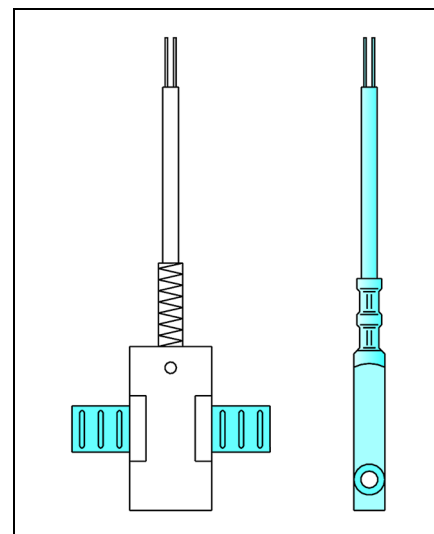


Figure 12 : sonde à résistance d'applique.

L'utilisation des sondes à résistance d'applique est préconisée pour les mesures de température sur tuyauteries ou autres surfaces rondes ou planes. Le montage très simple à l'aide de colliers de fixation ou de serrage évite les interventions mécaniques au point de mesure. D'autres exécutions sont munies d'un œillet et peuvent être fixées par vis sur une surface quelconque. Du fait de la prise de température indirecte, le débit du fluide n'est absolument pas perturbé. Par ailleurs, ni la pression, ni les influences chimiques n'ont d'effet sur la durée de vie de la sonde à résistance. La faible masse thermique du capteur limite les perturbations sur le point de mesure. L'utilisation de pâte conductrice améliore la transmission thermique. Dans le cas de grands écarts de température entre milieu ambiant et produit à mesurer, il est conseillé de munir la sonde à résistance d'une isolation thermique.

Sondes à résistance d'ambiance et d'extérieur

Différentes exécutions sont disponibles pour la prise de température dans les locaux et à l'extérieur. Pour l'**exécution destinée aux locaux d'habitation**, la résistance de mesure est logée dans un boîtier esthétique avec mode de protection IP 20. Pour les **sondes à résistance d'extérieur destinées aux applications industrielles**, mode de protection IP 65, l'élément sensible est monté à l'extérieur du boîtier sous un capot de protection.



Il existe également une exécution avec élément sensible placé dans une gaine en inox. Le raccordement électrique se fait au moyen d'un presse-étoupe Pg9.

Le domaine d'utilisation habituel s'étend de -30 à +80 °C. Certaines exécutions peuvent être équipées d'un convertisseur de mesure en technique 2 fils avec signal de sortie de 4 à 20 mA.

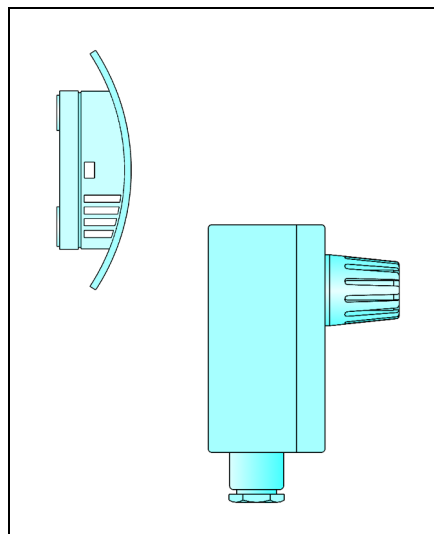


Figure 13 : sondes à résistance d'ambiance et d'extérieur.

Sondes à résistance de précision

Pour obtenir un maximum de fidélité à long terme, les éléments de mesure bobinés sont raccordés librement dans la gaine de protection de façon à éliminer toute contrainte mécanique due à la température du fait de la différence existant entre les coefficients de dilatation.

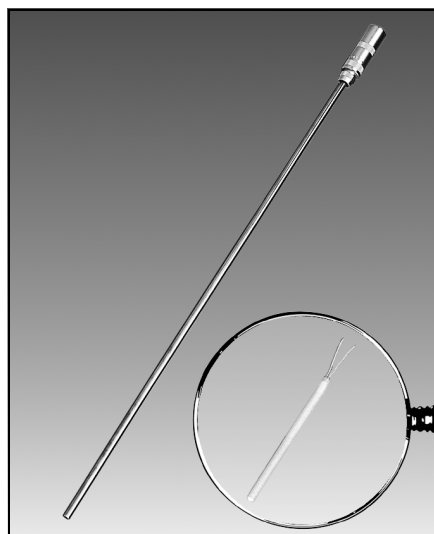


Figure 14 : sonde à résistance de précision.

Toutefois les vibrations entraînent très rapidement la rupture des enroulements. Ces sondes à résistance font preuve d'une très grande stabilité à long terme (inférieure à 1 mK) mais ne peuvent pas être utilisées pour des applications industrielles en raison de leur faible résistance mécanique. Dans ce cas, **JUMO** utilise une résistance de mesure, dont l'enroulement de platine est fixé dans une enveloppe en céramique. La liaison avec le connecteur est réalisée en montage 4 fils. Une gaine en acier inox protège la résistance de mesure contre toute contrainte mécanique. La plage de température s'étend de 0 à 300 °C. En ce qui concerne la stabilité à long terme, on constate des écarts inférieurs à 15 mK, après 250 heures de fonctionnement à la température maximale.

Technique de mesure

Raccordement de sondes à résistance

La mesure de température avec un élément résistif est effectuée en mesurant la d.d.p. générée aux bornes de cette résistance par un courant de mesure suivant la loi d'Ohm :

$$U = R \times I$$

Il convient de choisir un courant de mesure aussi faible que possible pour éviter que la résistance ne chauffe. On peut admettre qu'un courant de mesure de 1 mA n'a pas d'influence néfaste notable. À 0 °C, ce courant provoque une différence de potentiel de 0,1 V pour une résistance Pt100. Cette tension de mesure doit être transmise aussi fidèlement que possible au point d'affichage ou d'exploitation par les câbles de raccordement.

On distingue 3 types de montage :

Montage 2 fils

La sonde à résistance est reliée par une ligne de deux conducteurs à l'appareil électronique qui exploite la mesure. Comme tout autre conducteur électrique, cette ligne a sa propre résistance qui est donc montée en série avec la résistance de mesure. Les deux résistances s'additionnant, la température affichée est systématiquement plus élevée. Sur des grandes distances, la résistance de ligne peut être de plusieurs ohms et fausser considérablement la mesure. Pour éviter cet écart, il faut procéder à la compensation électrique de la résistance de ligne : l'appareil électronique est conçu de façon à ce que l'on puisse se baser sur une résistance de ligne de 10 Ω, par ex. Lors du raccordement de la sonde à résistance, une résistance de

tarage est montée dans l'une des lignes de mesure et le capteur de température est remplacé, dans un premier temps, par une résistance de 100,00 Ω. On modifie la résistance de tarage jusqu'à ce que l'appareil affiche 0 °C. C'est en raison de ce travail de tarage assez fastidieux et du fait que l'influence de la température sur la ligne de mesure n'est pas prise en compte que le montage 2 fils est de moins en moins utilisé.

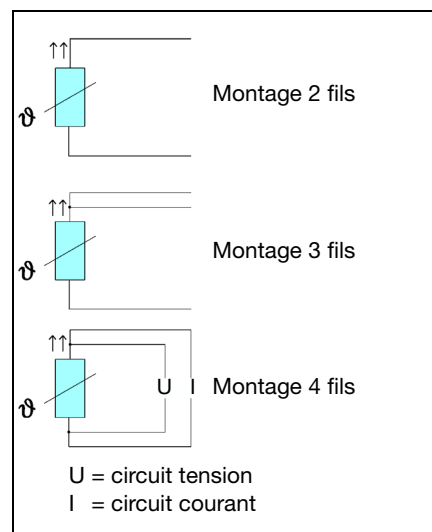


Figure 15 : raccordement de la sonde à résistance.

Montage 3 fils

En montage 3 fils, les influences des résistances de ligne et leurs variations en fonction de la température sont minimisées. Pour ce montage, un fil supplémentaire est relié à une borne de la sonde à résistance. Il se forme donc deux circuits de mesure, dont l'un sert de référence. Le montage 3 fils permet de compenser la valeur de la résistance de ligne ainsi que ses variations dues à la température. Il faut s'assurer que les 3 fils aient les mêmes propriétés et la même température. Ceci se vérifie dans la plupart des cas, c'est pourquoi le montage 3 fils est le plus répandu de nos jours. Un tarage de ligne s'avère superflu avec ce montage.

Montage 4 fils

Le montage 4 fils est le mode de raccordement optimal pour les sondes à résistance. La mesure n'est pas influencée par les résistances de ligne, ni par leurs variations en fonction de la température. Il n'est pas nécessaire de procéder au tarage de ligne. Les deux fils alimentent la sonde à résistance en courant de mesure I. La d.d.p. aux bornes de l'élément sensible est transmise par deux autres fils.



Lorsque la valeur de la résistance d'entrée de l'appareil électronique situé en aval est très supérieure à la résistance de ligne, celle-ci peut être négligée. La d.d.p. déterminée de cette manière est indépendante des propriétés des câbles de liaison électrique.

Dans le cas du montage 3 fils tout comme dans celui du montage 4 fils, il faut remarquer que ce montage ne va pas toujours jusqu'à l'élément de mesure. Très souvent, le montage interne, qui relie la résistance à la tête de raccordement, est en technique 2 fils. On retrouve donc ici, dans une moindre mesure, tous les problèmes cités pour le montage 2 fils. La résistance totale, c.-à-d. la somme des valeurs de résistance des fils conducteurs et de la résistance de mesure, est appelée **résistance de la sonde** suivant DIN 16 160.

Isolement insuffisant

L'isolement imparfait entre les lignes d'arrivée ainsi que dans le matériau d'isolation lui-même, dans lequel est logé l'élément sensible, peut provoquer une autre erreur de mesure, se traduisant par l'affichage d'une température trop basse. Pour une sonde à résistance Pt100, on a un écart d'affichage de 0,25 K pour une résistance de fuite de 100 kΩ et de 1 K pour 25 kΩ. Compte tenu de la variabilité en fonction de la température des résistances d'isolation, l'erreur de mesure causée par ces résistances, peut se modifier en fonction des conditions de mesure. En particulier dans le cas des isolants céramiques, la résistance diminue lorsque la température s'élève.

Cet effet n'a pratiquement pas d'influence dans le cas de résistances en platine, la température nominale de 600 °C étant relativement faible. Par contre, l'humidité qui pourrait pénétrer dans l'isolation a un effet beaucoup plus marquant et peut conduire à des écarts de mesure importants. C'est pour cette raison que les résistances de mesure sont souvent mises sous verre ou scellées hermétiquement. L'élément de mesure interchangeable proprement dit est également rendu étanche pour éviter que l'humidité ne pénètre à l'intérieur. Cependant lors de la réparation de sondes à résistance sans élément de mesure interchangeable, il faut s'assurer de la parfaite étanchéité du montage réalisé.

Auto-échauffement

Pour pouvoir mesurer le signal de sortie d'une sonde à résistance, il faut qu'un courant passe dans la résistance. Ce courant

de mesure entraîne une dissipation de puissance et, par conséquent, un échauffement de la résistance. La mesure indique une température trop élevée. L'auto-échauffement dépend de différents facteurs, entre autres, de la possibilité d'absorption par le fluide à mesurer de la puissance dissipée. D'après la relation $P = R \times I^2$, cet effet dépend également de la valeur de base de la résistance de mesure : pour un même courant de mesure, une résistance Pt1000 s'échauffe 10 fois plus qu'une résistance Pt100. Par ailleurs, certaines caractéristiques de construction (dimension de la sonde à résistance) ainsi que la conductivité et la capacité thermique sont déterminantes pour l'erreur de mesure provoquée. La capacité thermique et la vitesse d'écoulement du fluide à mesurer ont également une influence considérable sur cet effet. Les fabricants de sondes à résistance indiquent très souvent un coefficient d'auto-échauffement, qui est une valeur de l'échauffement en fonction d'une dissipation de puissance dans la résistance de mesure. Ce genre de mesure calorimétrique est effectuée dans des conditions définies (dans l'eau $V = 0,5 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$, dans l'air $V = 2 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$). Toutefois, ces indications ont un caractère plutôt théorique et servent à la comparaison des différents types d'élément.

Dans la plupart des cas, le courant de mesure est fixé à 1 mA par le fabricant de capteurs, cette valeur s'étant révélée proche de la pratique et n'entraînant pas d'auto-échauffement notable.

Si l'on prend, par exemple, le cas d'une résistance Pt100 placée dans un réservoir fermé et entièrement isolé contenant 10 cm^3 d'air, celle-ci provoquerait après une heure, avec un courant de mesure de 1 mA, un échauffement de l'air de 39 K. Dans le cas de gaz ou de liquides en mouvement, l'effet est moins important en raison de la dissipation de chaleur bien plus importante.

Suivant les conditions existantes au point de mesure, il faut mesurer l'auto-échauffement sur site. Pour ce faire, on mesure la température à différentes valeurs de courant.

Le coefficient d'auto-échauffement E se calcule selon la formule suivante :

$$E = \Delta t / (R \times I^2)$$

Δt = (température affichée) – (température du fluide),
R = résistance de la sonde,
I = courant de mesure.

À l'aide du coefficient d'auto-échauffement, il est possible de déterminer le courant de mesure max. admissible pour un écart de mesure Δt toléré.

$$I = (\Delta t / E \times R)^{1/2}$$

Tensions thermoélectriques parasites

L'effet des tensions thermoélectriques perturbe la prise de température au moyen de sondes à résistance. Les tensions thermoélectriques se produisent au point de jonction de deux métaux différents.

Ces points de jonction se situent souvent sur les lignes de la sonde à résistance : les fils de raccordement des résistances sont souvent en argent pour les conducteurs, alors que leur prolongement est réalisé en fils de cuivre ou de nickel.

On peut supposer que les deux points de jonction sont à la même température et, par conséquent, que les tensions thermoélectriques produites s'annulent. En réalité, il peut y avoir des écarts de température par suite de différences de dissipation de chaleur vers l'extérieur. La tension thermoélectrique produite provoque une mesure erronée sur l'appareil de mesure.

La tension thermoélectrique ainsi produite est positive ou négative, la valeur lue est trop élevée ou trop basse.

L'erreur produite dépend beaucoup des propriétés de l'appareil électronique, qui traite le signal, et de la manière dont la tension est convertie en température.

Une méthode simple, permettant de diagnostiquer cette source d'erreur, consiste à effectuer deux mesures en inversant le sens du courant. Plus l'écart est important entre les deux valeurs mesurées, plus la tension thermoélectrique produite est élevée.

Fonction de transfert

Du fait des résistances thermiques qui existent toujours dans la sonde, celle-ci ne réagit jamais directement mais toujours à retardement. L'écart de mesure provoqué par ce temps de retard suite à un brusque changement de valeur de la grandeur mesurée est appelé **temps de réponse**.



Pour simplifier, on peut imaginer que la sonde à résistance est composée de résistances et de capacités thermiques. Les matériaux ont des conductivités thermiques différentes et forment les résistances. Les masses des matériaux et leur chaleur massique représentent les capacités thermiques. Très souvent, les composants des sondes à résistance ont ces deux propriétés en même temps. La rapidité de réponse de la sonde à résistance dépend en premier lieu du rapport entre la résistance thermique et la capacité thermique de la sonde à résistance. Plus la résistance thermique est forte, plus le temps d'échauffement de la sonde à résistance est long. Pour obtenir des temps de réponse courts, il faudrait donc toujours utiliser des résistances aussi petites que possible et des matériaux fins ayant une bonne conductivité thermique. Un espace avec de l'air entre l'élément de mesure et la gaine de protection a une influence particulièrement néfaste, tous les gaz étant de très mauvais conducteurs thermiques. Pour y remédier, il convient de loger l'élément de mesure dans une pâte conductrice ou de l'oxyde métallique. En raison de leur masse thermique plus réduite, les thermocouples ont généralement des temps de réponse plus courts que les sondes à résistance. Ceci vaut tout particulièrement pour les thermocouples chemisés à paroi très fine. Néanmoins, dans la plupart des cas, cet avantage est complètement annulé par la capacité thermique plus importante de l'armature de protection. En règle générale, plus le diamètre de la gaine de protection est grand, plus le temps de réponse est long. Il faudrait donc, dans la mesure où les conditions mécaniques le permettent, utiliser des gaines de protection de petit diamètre et des armatures à paroi très mince.

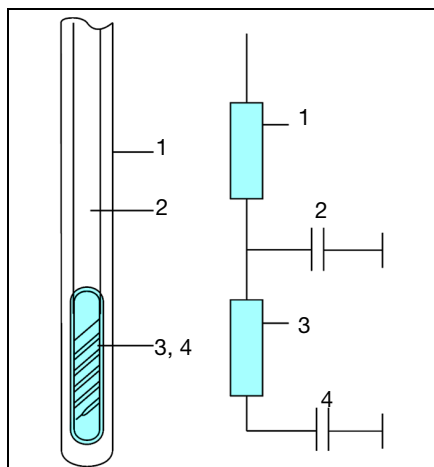


Figure 16 : résistances thermiques

dans une sonde à résistance.

La conductivité thermique du matériau de la gaine est aussi très importante. Comparativement, le cuivre et le fer ont une bonne conductivité thermique ce qui n'est pas le cas de l'acier inoxydable et de la céramique.

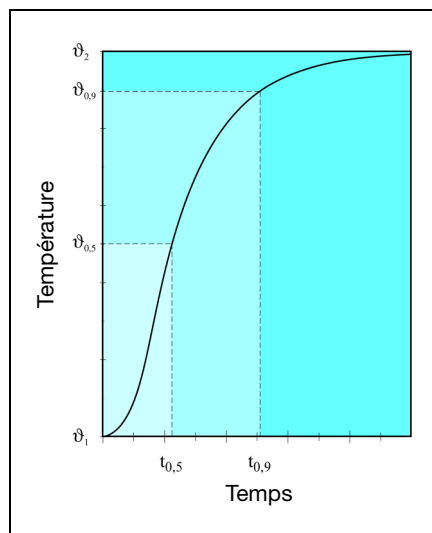


Figure 17 : la fonction de transfert.

La **fonction de transfert**, c.-à-d. l'évolution de la valeur mesurée en cas de brusque variation de la température sur la sonde, donne des indications à ce sujet. Pour déterminer la fonction de transfert, la sonde est placée dans de l'eau ou dans de l'air en mouvement ; pour cela, des dispositifs d'essai spéciaux, comme décrits dans la norme DIN EN 60 751, par exemple, s'avèrent nécessaires. Deux temps de réponse caractérisent la fonction de transfert :

- **Temps de réponse pour 50 % de la valeur $t_{0,5}$**

C'est le temps nécessaire pour que la valeur mesurée atteigne 50 % de la valeur finale

- **Temps de réponse pour 90 % de la valeur $t_{0,9}$**

C'est le temps nécessaire pour que la valeur mesurée atteigne 90 % de la valeur finale.

Le temps τ nécessaire pour atteindre 63,2% de la valeur finale n'est pas indiqué pour éviter toute confusion avec la constante de temps d'une fonction e. La fonction de transfert de pratiquement toutes les sondes diffère nettement d'une telle fonction.

Erreurs de mesure possibles avec les sondes à résistance

Influence de la ligne de mesure

En cas de mesures effectuées avec des sondes à résistance, des influences dues à la construction ou à la technique de mesure, peuvent fausser le résultat. Les principaux effets, pouvant provoquer des écarts de mesure, sont décrits ci-après : comme décrit précédemment, la résistance de ligne est prise en compte dans la mesure comme une résistance montée en série par rapport à la résistance de mesure. Tout particulièrement dans le cas de grandes installations avec des lignes de raccordement relativement longues, la résistance de ligne peut avoir le même ordre de grandeur que la résistance de mesure. Il est donc absolument indispensable de procéder au tarage de ligne, ce qui se fait généralement par déplacement du point zéro de l'appareil raccordé. Toutefois ce type de compensation ne prend pas en compte les variations de résistance en fonction de la température. Si la ligne de raccordement est soumise à des variations de température, ceci provoque des écarts de mesure plus ou moins importants. Cet effet n'apparaît qu'en cas de résistance de ligne assez élevées, c.-à-d. pour des lignes longues avec des petites sections de câble.

Erreurs dues à la dissipation de chaleur

La sonde est rarement utilisée pour mesurer des températures qui se trouvent dans la plage de la température ambiante. Si la température mesurée est supérieure ou inférieure à la température ambiante, un gradient de température entre point de mesure et environnement se forme sur la sonde. Ceci fausse l'affichage de température : la chaleur est transmise de la zone plus chaude à la zone moins chaude par la gaine de protection ou la structure interne de la sonde. Par ailleurs, la résistance de mesure est reliée au câble de raccordement qui forme une liaison métallique directe entre la résistance de mesure et le système. Le câble générant un pont thermique provoque également un écart de mesure. Les bons conducteurs thermiques ont toujours une résistance thermique faible. Le fait d'avoir des lignes d'arrivée à résistance faible provoque donc toujours une erreur importante due à la dissipation de la chaleur.



En outre, la construction du capteur détermine l'erreur due à la dissipation de la chaleur. La sonde à résistance doit avoir une bonne liaison thermique avec la gaine de protection tout en ayant une neutralité thermique par rapport aux lignes d'arrivée. Pour éviter qu'il y ait trop de dissipation de chaleur, il ne faut pas choisir une longueur utile trop réduite pour la sonde à résistance. La profondeur d'immersion (la longueur de la partie de la sonde à résistance qui est en contact avec le milieu à mesurer) dépend de la nature du fluide à mesurer et de la quantité de chaleur transmise par ce fluide pendant une unité de temps. Un liquide circulant rapidement, par ex., transmet plus de chaleur et peut mieux compenser la dissipation de chaleur de la sonde à résistance que l'air au repos. Pour les prises de mesure dans des liquides, les longueurs utiles peuvent, en règle générale, être inférieures de 50% à celles nécessaires pour les prises de mesure dans des gaz.

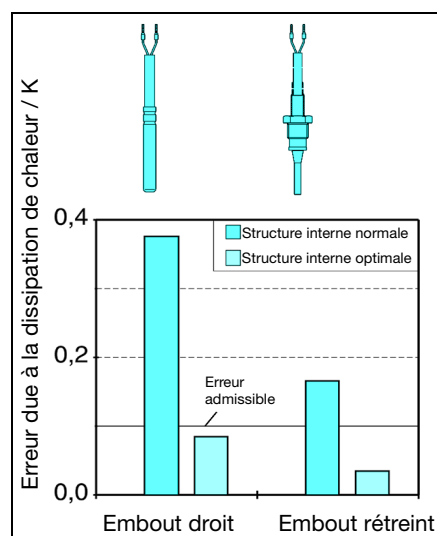


Figure 18 : diminution de l'erreur due aux échanges de chaleur par la forme de la gaine de protection et la structure interne.

Donnons un exemple de l'influence de la construction du capteur sur l'erreur due aux échanges de chaleur, l'erreur de mesure due aux échanges de chaleur ne doit pas être supérieure à 0,1 K, la prise de mesure par sonde à résistance se faisant dans les conditions suivantes :

- température mesurée : 80 °C
- température ambiante : 20 °C
- fluide à mesurer : eau avec une vitesse d'écoulement de 0,1 à 0,2 ms⁻¹

Particulièrement pour les capteurs courts, avec des longueurs utiles inférieures à 50 mm, l'obtention de la précision de mesure sus-mentionnée soulève des problèmes qui doivent être résolus par la construction du capteur. Les fils de liaison en cuivre sont reliés à la sonde à résistance. En général, une pâte conductrice est utilisée pour parfaire la liaison thermique entre l'élément sensible et la gaine de protection. Sans mesure de neutralisation thermique particulière, l'erreur due à la dissipation de chaleur est d'environ 0,3 K.

On obtient une amélioration de 50% en réduisant le diamètre de la gaine de protection dans la zone de l'élément sensible. Cependant avec une erreur de 0,15 K, ce type de capteur ne répond toujours pas aux critères d'essai. C'est seulement la suppression du pont thermique entre la ligne de raccordement et la sonde à résistance, qui permet de réduire l'erreur de mesure due à la dissipation de chaleur à 0,03 K, soit un dixième de l'erreur de mesure constatée initialement.

Mesures pour réduire l'erreur de mesure due à la dissipation de chaleur

Il n'est pas toujours possible de construire un capteur optimal, pour lequel le résultat de mesure ne soit pas faussé par l'erreur due à la dissipation de chaleur pour chaque problème de mesure. Néanmoins il convient d'étudier soigneusement les critères de sélection lors de la définition du capteur.

Étalonnage

En raison d'influences mécaniques et chimiques ainsi que de signes de vieillissement, tels que recristallisations et diffusions, il est possible qu'après une période d'utilisation plus ou moins longue d'une sonde à résistance, sa caractéristique diffère de celle qu'elle avait au moment de la livraison.

Pour pouvoir prendre en compte et compenser une éventuelle dérive, la sonde à résistance doit être étalonnée à intervalles réguliers.

L'étalonnage consiste à vérifier les valeurs de températures indiquées et, le cas échéant, à consigner par écrit les écarts constatés. L'ajustage – terme souvent utilisé dans ce contexte – consiste à intervenir au niveau de l'appareil de façon à réduire, au moins au-dessous des limites d'erreur, les écarts de mesure.

L'étalonnage équivaut à vérifier et à mesurer individuellement la précision de chaque sonde à résistance.

Néanmoins le constructeur ne peut donner aucune garantie quant à la stabilité à long terme de ces valeurs, car il ne peut prévoir ni les conditions ni la fréquence d'utilisation de la sonde à résistance et, par conséquent, les contraintes subies par celle-ci.

Dans la première phase d'utilisation, il convient de procéder chaque année à l'étalonnage des sondes à résistance et de comparer les résultats obtenus avec ceux de l'étalonnage précédent.

On peut ainsi établir un historique de la sonde à résistance et en tirer des conclusions concernant sa stabilité.

En cas de reproductibilité suffisante des valeurs mesurées pour une application précise, on peut prolonger ou réduire les intervalles d'étalonnage.

Il n'est pas possible de fournir une réponse généralement satisfaisante en ce qui concerne le déroulement et la précision de l'étalonnage. Une mise au point, définissant les plages de température et les points de mesure, est toujours faite entre l'utilisateur et l'organisme d'étalonnage. La précision de mesure dépend de la nature de la mesure.

Bureau National de Métrologie - FRETAC

En raison de la libre circulation des marchandises au sein de la communauté européenne depuis 1992, des nouvelles normes de qualité, telles que la norme ISO 9001 et d'une législation plus sévères concernant la responsabilité civile pour les produits, la documentation des procédures et la vérification des appareils de mesure sont soumis à des critères plus sévères. À ceci s'ajoutent la demande d'un standard qualité de plus en plus élevé de la part des clients. La norme ISO 9001, qui décrit globalement le concept d'un système assurance-qualité, impose des règles très pointues.

Lorsqu'une entreprise veut obtenir la certification selon cette norme, il faut que la reproductibilité suivant les normes et standards nationaux des appareils d'essai déterminants pour la fabrication soit reconnue.

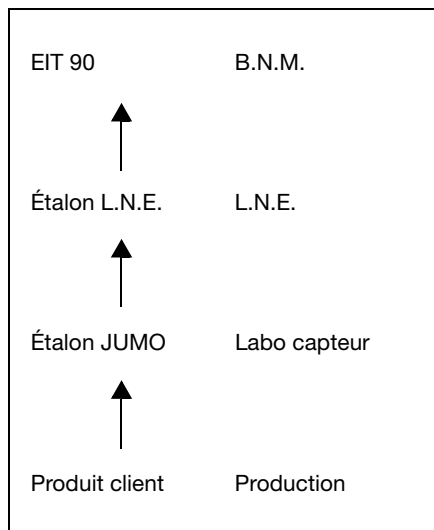


Figure 19 : reproductibilité.

Par reproductibilité suivant les normes nationales, on entend que lors du contrôle d'un matériel d'essai, les mesures soit documentées de façon à assurer la reproductibilité en fonctions des règles fixées par la législation.

Pour la France, c'est le BNM qui définit les standards nationaux et les compare avec les résultats de mesure des autres instituts, de manière à ce que les grandeurs physiques essentielles, telles que la température, puissent être représentées de la même manière dans le monde entier.

Les organismes officiels n'arrivent pas à faire face à la demande toujours croissante d'appareils étalonnés de cette manière. C'est pour cette raison, que des laboratoires d'étalonnage, au sein des industries, sont raccordés au BNM.

Remarque concernant la fiabilité

Toutes les soudures sur les sondes et doigts de gant sont contrôlées dans le cadre d'un système d'assurance-qualité élémentaire selon DIN 85 63, partie 113. Des conditions particulières sont valables pour certains domaines d'application (par ex. construction de réservoirs sous pression). Lorsque le client signale que les capteurs sont destinés à ces domaines d'application, ils sont soumis à un contrôle des soudures suivant NE 287 et NE 288.

Charge de pression pour les sondes de température

La tenue en pression des armatures de protection utilisées pour les sondes à résistance dépend fortement des différents paramètres du process.

Parmi eux :

- la température
- la pression
- la vitesse d'écoulement
- les vibrations

De plus, il faut prendre en considération les caractéristiques matérielles de l'armature de protection comme le matériau, la longueur utile, le diamètre et le mode de raccordement au process.

Les diagrammes suivants sont issus de la norme DIN 43 763 et montrent la charge limite pour les différentes formes de base en fonction de la température et la longueur utile ainsi que la vitesse d'écoulement, la température et le milieu.

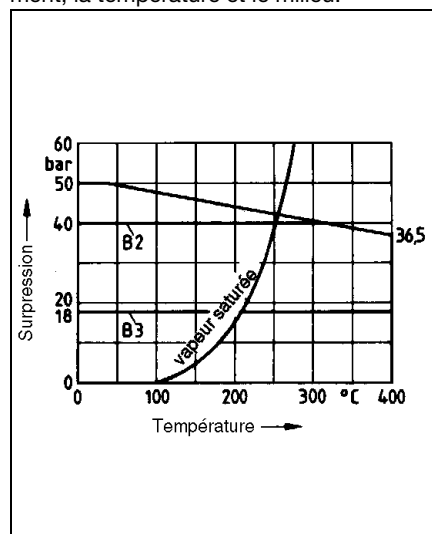


Figure 20 : charge de pression pour gaine de protection forme B.

Acier inoxydable AISI 316 Ti
 v jusqu'à 25 m/s dans l'air
 v jusqu'à 3 m/s dans l'eau

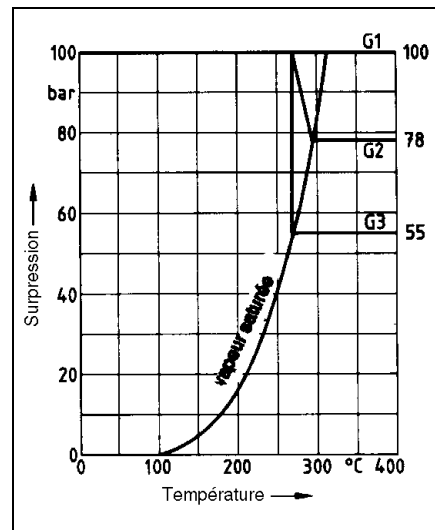


Figure 21 : charge de pression pour gaine de protection forme G.

Acier inoxydable AISI 316 Ti
 v jusqu'à 40 m/s dans l'air
 v jusqu'à 4 m/s dans l'eau



Comme déjà expliqué dans la norme, il s'agit de valeurs indicatives qu'il faut vérifier séparément pour chaque application. De faibles divergences des conditions de mesure peuvent provoquer la destruction de la gaine de protection.

Si un contrôle de l'armature de protection est demandé lors de la commande d'une sonde à résistance, il faut indiquer le type de charge et les valeurs limites.

Pour nombre d'autres sondes, la figure 12 présente les limites de charge (valeurs indicatives) pour différents diamètres. La charge de pression maximale des gaines de protection cylindriques est représentée en fonction de l'épaisseur de la paroi pour différents diamètres.

Les indications sont valables pour les gaines de protection en acier inoxydable AISI 316 Ti, une longueur utile de 100 mm, une vitesse d'écoulement de 10 m/s dans l'air ou 4 m/s dans l'eau, et une plage de température de -20 à +100 °C. On a pris en considération un facteur de sécurité de 1,8. Pour des températures plus élevées ou d'autres matériaux, il faut réduire la charge de pression maximale du pourcentage indiqué dans le tableau.

Matériau	Température	Réduction
CrNi 1.4571	jusqu'à +200 °C	-10%
CrNi 1.4571	jusqu'à +300 °C	-20%
CrNi 1.4571	jusqu'à +400 °C	-25%
CrNi 1.4571	jusqu'à +500 °C	-30%
CuZn 2.0401	jusqu'à +100 °C	-15%
CuZn 2.0401	jusqu'à +175 °C	-60%

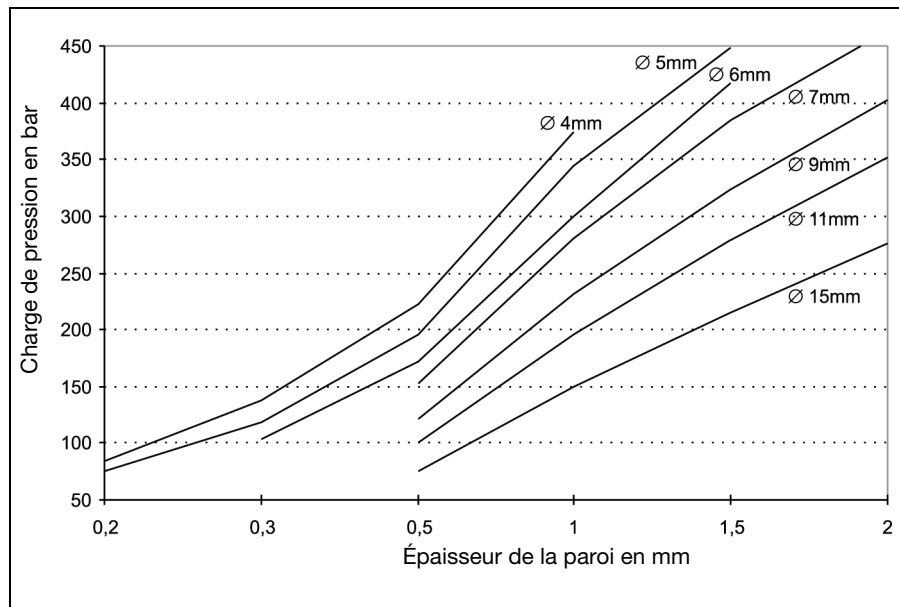


Figure 22 : limites de charge des gaines de protection en fonction des diamètres.

JUMO GmbH & Co. KG
 Adresse de livraison :
 Mackenrodtstraße 14,
 36039 Fulda, Allemagne
 Adresse postale :
 36035 Fulda, Allemagne
 Tél. : +49 661 6003-0
 Fax : +49 661 6003-607
 E-Mail : mail@jumo.net
 Internet : www.jumo.net

JUMO Régulation SAS
 Actipôle Borny
 7 rue des Drapiers
 B.P. 45200
 57075 Metz - Cedex 3, France
 Tél. : +33 3 87 37 53 00
 Fax : +33 3 87 37 89 00
 E-Mail : info@jumo.net
 Internet : www.jumo.fr

JUMO AUTOMATION
 S.P.R.L. / P.G.M.B.H. / B.V.B.A
 Industriestraße 18
 4700 Eupen, Belgique
 Tél. : +32 87 59 53 00
 Fax : +32 87 74 02 03
 E-Mail : info@jumo.be
 Internet : www.jumo.be

JUMO
 Mess- und Regeltechnik AG
 Laubisrütistrasse 70
 8712 Stäfa, Suisse
 Tél. : +41 44 928 24 44
 Fax : +41 44 928 24 48
 E-Mail : info@jumo.ch
 Internet : www.jumo.ch



Contrôle de pression pour les armatures de protection des sondes

Les armatures de protection soudées des sondes JUMO sont soumises à un contrôle d'étanchéité. Suivant la structure de l'armature de protection, on effectue un test de fuite ou un contrôle de pression.

Les sondes fabriquées suivant DIN ou des directives spécifiques à un domaine (chimie, pétroindustrie, réservoirs sous pression, chaudière de vapeur) exigent différents contrôles de pression suivant l'application.

Si les sondes doivent être fabriquées suivant ces normes ou directives, il faut indiquer lors de la commande les contrôles nécessaires ou bien les normes ou directives à respecter.

Étendue des contrôles

Les contrôles peuvent être effectués sur chaque armature de protection et documentés avec un rapport de contrôle ou un certificat de contrôle de fabrication suivant DIN EN 10 204 (supplément de prix).

Type des contrôles

Les contrôles peuvent être effectués sur des armatures de protection d'une longueur utile maximale de 1050 mm avec fixation par bride DN 25 ou par filetage au maximum 1".

Il est possible d'effectuer les contrôles suivants :

Type de contrôle	Milieu de contrôle	Plage de pression	Durée du contrôle
Test de fuite	hélium	vide	10 s
Contrôle de pression I	azote	1 à 50 bars	10 s
Contrôle de pression II	eau	50 à 300 bars	10 s

Test de fuite

On crée le vide à l'intérieur de la gaine de protection. On diffuse de l'hélium à l'extérieur de l'armature de protection. Si la gaine de protection présente une fuite, l'hélium pénètre à l'intérieur et il est détecté par un système d'analyse. L'augmentation de pression permet de déterminer le taux de fuite (taux de fuite $> 1 \times 10^{-6}$ l/bar).

Contrôle de pression I

La gaine de protection est soumise à une surpression externe avec de l'azote. Si la gaine de protection présente une fuite, un courant volumique détectable apparaît à l'intérieur de la gaine.

Contrôle de pression II

La gaine de protection est soumise à une surpression externe avec de l'eau. Cette pression doit rester constante pendant un certain temps. Si ce n'est pas le cas, l'armature de protection n'est pas étanche.

Process de soudage qualifiés pour la production des gaines de protection des sondes

Outre l'utilisation d'un matériau parfait, au final la technique d'assemblage est également décisive pour la stabilité mécanique et la qualité de l'armature de protection. C'est pour cette raison que JUMO oriente sa technique de soudage suivant les normes européennes EN 287 et EN 288. Pour les travaux de soudage manuels, JUMO emploie des soudeurs contrôlés suivant la norme EN 287. Pour les process de soudage automatisés, ceux-ci sont qualifiés par un WPS (directive de soudage) suivant la norme EN 288.

Le tableau suivant donne un aperçu des process de soudage qualifiés :

Matériau	Soudage à l'arc TIG	
	manuel	automatique
W11, W11 avec W01-W04 suivant EN 287	Diamètre gaine 2 à 30 mm Épaisseur de la paroi 0,75 à 5,6 mm	Diamètre gaine 5 à 10 mm Épaisseur de la paroi 0,5 à 1,0 mm

Tableau 10 : process de soudage qualifiés.

JUMO GmbH & Co. KG
 Adresse de livraison :
 Mackenrodtstraße 14,
 36039 Fulda, Allemagne
 Adresse postale :
 36035 Fulda, Allemagne
 Tél. : +49 661 6003-0
 Fax : +49 661 6003-607
 E-Mail : mail@jumo.net
 Internet : www.jumo.net

JUMO Régulation SAS
 Actipôle Borny
 7 rue des Drapiers
 B.P. 45200
 57075 Metz - Cedex 3, France
 Tél. : +33 3 87 37 53 00
 Fax : +33 3 87 37 89 00
 E-Mail : info@jumo.net
 Internet : www.jumo.fr

JUMO AUTOMATION
 S.P.R.L. / P.G.M.B.H. / B.V.B.A
 Industriestraße 18
 4700 Eupen, Belgique
 Tél. : +32 87 59 53 00
 Fax : +32 87 74 02 03
 E-Mail : info@jumo.be
 Internet : www.jumo.be

JUMO
 Mess- und Regeltechnik AG
 Laubisrütistrasse 70
 8712 Stäfa, Suisse
 Tél. : +41 44 928 24 44
 Fax : +41 44 928 24 48
 E-Mail : info@jumo.ch
 Internet : www.jumo.ch



Valeurs de base suivant EN 60 751 (EIT 90)

en ohms, pour sondes à résistance Pt 100, graduées de 1 en 1 °C

°C	-0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-200	18,520	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-190	22,825	22,397	21,967	21,538	21,108	20,677	20,247	19,815	19,384	18,952
-180	27,096	26,671	26,245	25,819	25,392	24,965	24,538	24,110	23,682	23,254
-170	31,335	30,913	30,490	30,067	29,643	29,220	28,796	28,371	27,947	27,552
-160	35,543	35,124	34,704	34,284	33,864	33,443	33,022	32,601	32,179	31,757
-150	39,723	39,306	38,889	38,472	38,055	37,637	37,219	36,800	36,382	35,963
-140	43,876	43,462	43,048	42,633	42,218	41,803	41,388	40,972	40,556	40,140
-130	48,005	47,593	47,181	46,769	46,356	45,944	45,531	45,117	44,704	44,290
-120	52,110	51,700	51,291	50,881	50,470	50,060	49,649	49,239	48,828	48,416
-110	56,193	55,786	55,378	54,970	54,562	54,154	53,746	53,337	52,928	52,519
-100	60,256	59,850	59,445	59,039	58,633	58,227	57,821	57,414	57,007	56,600
- 90	64,300	63,896	63,492	63,088	62,684	62,280	61,876	61,471	61,066	60,661
- 80	68,325	67,924	67,522	67,120	66,717	66,315	65,912	65,509	65,106	64,703
- 70	72,335	71,934	71,534	71,134	70,733	70,332	69,931	69,530	69,129	68,727
- 60	76,328	75,929	75,530	75,131	74,732	74,333	73,934	73,534	73,134	72,735
- 50	80,306	79,909	79,512	79,114	78,717	78,319	77,921	77,523	77,125	76,726
- 40	84,271	83,875	83,479	83,083	82,687	82,290	81,894	81,497	81,100	80,703
- 30	88,222	87,827	87,432	87,038	86,643	86,248	85,853	85,457	85,062	84,666
- 20	92,160	91,767	91,373	90,980	90,586	90,192	89,798	89,404	89,010	88,616
- 10	96,086	95,694	95,302	94,909	94,517	94,124	93,732	93,339	92,946	92,553
0	100,000	99,609	99,218	98,827	98,436	98,044	97,653	97,261	96,870	96,478

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,000	100,391	100,781	101,172	101,562	101,953	102,343	102,733	103,123	103,513
10	103,903	104,292	104,682	105,071	105,460	105,849	106,238	106,627	107,016	107,405
20	107,794	108,182	108,570	108,959	109,347	109,735	110,123	110,510	110,898	111,286
30	111,673	112,060	112,447	112,835	113,221	113,608	113,995	114,382	114,768	115,155
40	115,541	115,927	116,313	116,699	117,085	117,470	117,856	118,241	118,627	119,012
50	119,397	119,782	120,167	120,552	120,936	121,321	121,705	122,090	122,474	122,858
60	123,242	123,626	124,009	124,393	124,777	125,160	125,543	125,926	126,309	126,692
70	127,075	127,458	127,840	128,223	128,605	128,987	129,370	129,752	130,133	130,515
80	130,897	131,278	131,660	132,041	132,422	132,803	133,184	133,565	133,946	134,326
90	134,707	135,087	135,468	135,848	136,228	136,608	136,987	137,367	137,747	138,126
100	138,506	138,885	139,264	139,643	140,022	140,400	140,779	141,158	141,536	141,914
110	142,293	142,671	143,049	143,426	143,804	144,182	144,559	144,937	145,314	145,691
120	146,068	146,445	146,822	147,198	147,575	147,951	148,328	148,704	149,080	149,456
130	149,832	150,208	150,583	150,959	151,334	151,710	152,085	152,460	152,865	153,210
140	153,584	153,959	154,333	154,708	155,082	155,456	155,830	156,204	156,578	156,952
150	157,325	157,699	158,072	158,445	158,818	159,191	159,564	159,937	160,309	160,682
160	161,054	161,427	161,799	162,171	162,543	162,915	163,286	163,658	164,030	164,401
170	164,772	165,143	165,514	165,885	166,256	166,627	166,997	167,368	167,738	168,108
180	168,478	168,848	169,218	169,588	169,958	170,327	170,696	171,066	171,435	171,804
190	172,173	172,542	172,910	173,279	173,648	174,016	174,384	174,752	175,120	175,488
200	175,856	176,224	176,591	176,959	177,326	177,693	178,060	178,427	178,794	179,161
210	179,528	179,894	180,260	180,627	180,993	181,359	181,725	182,091	182,456	182,822
220	183,188	183,553	183,918	184,283	184,648	185,013	185,378	185,743	186,107	186,472
230	186,836	187,200	187,564	187,928	188,292	188,656	189,019	189,383	189,746	190,110
240	190,473	190,836	191,199	191,562	191,924	192,287	192,649	193,012	193,374	193,736
250	194,098	194,460	194,822	195,183	195,545	195,906	196,268	196,629	196,990	197,351
260	197,712	198,073	198,433	198,794	199,154	199,514	199,875	200,235	200,595	200,954
270	201,314	201,674	202,033	202,393	202,752	203,111	203,470	203,829	204,188	204,546
280	204,905	205,263	205,622	205,980	206,338	206,696	207,054	207,411	207,769	208,127
290	208,484	208,841	209,198	209,555	209,912	210,269	210,626	210,982	211,339	211,695
300	212,052	212,408	212,764	213,120	213,475	213,831	214,187	214,542	214,897	215,252

Les valeurs de base sont calculées suivant l'échelle de température internationale EIT 90.

(Pour les sondes à résistance Pt 500 ou Pt 1000, il faut multiplier les valeurs de base par 5 ou 10.)

JUMO GmbH & Co. KG
 Adresse de livraison :
 Mackenrodtstraße 14,
 36039 Fulda, Allemagne
 Adresse postale :
 36035 Fulda, Allemagne
 Tél. : +49 661 6003-0
 Fax : +49 661 6003-607
 E-Mail : mail@jumo.net
 Internet : www.jumo.net

JUMO Régulation SAS
 Actipôle Borny
 7 rue des Drapiers
 B.P. 45200
 57075 Metz - Cedex 3, France
 Tél. : +33 3 87 37 53 00
 Fax : +33 3 87 37 89 00
 E-Mail : info@jumo.net
 Internet : www.jumo.fr

JUMO AUTOMATION
S.P.R.L. / P.G.M.B.H. / B.V.B.A
 Industriestraße 18
 4700 Eupen, Belgique
 Tél. : +32 87 59 53 00
 Fax : +32 87 74 02 03
 E-Mail : info@jumo.be
 Internet : www.jumo.be

JUMO
Mess- und Regeltechnik AG
 Laubisrütistrasse 70
 8712 Stäfa, Suisse
 Tél. : +41 44 928 24 44
 Fax : +41 44 928 24 48
 E-Mail : info@jumo.ch
 Internet : www.jumo.ch



Valeurs de base suivant EN 60 751 (EIT 90)

en ohms, pour sondes à résistance Pt 100, graduées de 1 en 1 °C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
310	215,608	215,962	216,317	216,672	217,027	217,381	217,736	218,090	218,444	218,798
320	219,152	219,506	219,860	220,213	220,567	220,920	221,273	221,626	221,979	222,332
330	222,685	223,038	223,390	223,743	224,095	224,447	224,799	225,151	225,503	225,855
340	226,206	226,558	226,909	227,260	227,612	227,963	228,314	228,664	229,015	229,366
350	229,716	230,066	230,417	230,767	231,117	231,467	231,816	232,166	232,516	232,865
360	233,214	233,564	233,913	234,262	234,610	234,959	235,308	235,656	236,005	236,353
370	236,701	237,049	237,397	237,745	238,093	238,440	238,788	239,135	239,482	239,829
380	240,176	240,523	240,870	241,217	241,563	241,910	242,256	242,602	242,948	243,294
390	243,640	243,986	244,331	244,677	245,022	245,367	245,713	246,058	246,403	246,747
400	247,092	247,437	247,781	248,125	248,470	248,814	249,158	249,502	249,845	250,189
410	250,533	250,876	251,219	251,562	251,906	252,248	252,591	252,934	253,277	253,619
420	253,962	254,304	254,646	254,988	255,330	255,672	256,013	256,355	256,696	257,038
430	257,379	257,720	258,061	258,402	258,743	259,083	259,424	259,764	260,105	260,445
440	260,785	261,125	261,465	261,804	262,144	262,483	262,823	263,162	263,501	263,840
450	264,179	264,518	264,857	265,195	265,534	265,872	266,210	266,548	266,886	267,224
460	267,562	267,900	268,237	268,574	268,912	269,249	269,586	269,923	270,260	270,597
470	270,933	271,270	271,606	271,942	272,278	272,614	272,950	273,286	273,622	273,957
480	274,293	274,628	274,963	275,298	275,633	275,968	276,303	276,638	276,972	277,307
490	277,641	277,975	278,309	278,643	278,977	279,311	279,644	279,978	280,311	280,644
500	280,978	281,311	281,643	281,976	282,309	282,641	282,974	283,306	283,638	283,971
510	284,303	284,634	284,966	285,298	285,629	285,961	286,292	286,623	286,954	287,285
520	287,616	287,947	288,277	288,608	288,938	289,268	289,599	289,929	290,258	290,588
530	290,918	291,247	291,577	291,906	292,235	292,565	292,894	293,222	293,551	293,880
540	294,208	294,537	294,865	295,193	295,521	295,849	296,177	296,505	296,832	297,160
550	297,487	297,814	298,142	298,469	298,795	299,122	299,449	299,775	300,102	300,428
560	300,754	301,080	301,406	301,732	302,058	302,384	302,709	303,035	303,360	303,685
570	304,010	304,335	304,660	304,985	305,309	305,634	305,958	306,282	306,606	306,930
580	307,254	307,578	307,902	308,225	308,549	308,872	309,195	309,518	309,841	310,164
590	310,487	310,810	311,132	311,454	311,777	312,099	312,421	312,743	313,065	313,386
600	313,708	314,029	314,351	314,672	314,993	315,314	315,635	315,956	316,277	316,597
610	316,918	317,238	317,558	317,878	318,198	318,518	318,838	319,157	319,477	319,796
620	320,116	320,435	320,754	321,073	321,391	321,710	322,029	322,347	322,666	322,984
630	323,302	323,620	323,938	324,256	324,573	324,891	325,208	325,526	325,843	326,160
640	326,477	326,794	327,110	327,427	327,744	328,060	328,376	328,692	329,008	329,324
650	329,640	329,956	330,271	330,587	330,902	331,217	331,533	331,848	332,162	332,477
660	332,792	333,106	333,421	333,735	334,049	334,363	334,677	334,991	335,305	335,619
670	335,932	336,246	336,559	336,872	337,185	337,498	337,811	338,123	338,436	338,748
680	339,061	339,373	339,685	339,997	340,309	340,621	340,932	341,244	341,555	341,867
690	342,178	342,489	342,800	343,111	343,422	343,732	344,043	344,353	344,663	344,973
700	345,284	345,593	345,903	346,213	346,522	346,832	347,141	347,451	347,760	348,069
710	348,378	348,686	348,995	349,303	349,612	349,920	350,228	350,536	350,844	351,152
720	351,460	351,768	352,075	352,382	352,690	352,997	353,304	353,611	353,918	354,224
730	354,531	354,837	355,144	355,450	355,756	356,062	356,368	356,674	356,979	357,285
740	357,590	357,896	358,201	358,506	358,811	359,116	359,420	359,725	360,029	360,334
750	360,638	360,942	361,246	361,550	361,854	362,158	362,461	362,765	363,068	363,371
760	363,674	363,977	364,280	364,583	364,886	365,188	365,491	365,793	366,095	366,397
770	366,699	367,001	367,303	367,604	367,906	368,207	368,508	368,810	369,111	369,412
780	369,712	370,013	370,314	370,614	370,914	371,215	371,515	371,815	372,115	372,414
790	372,714	373,013	373,313	373,612	373,911	374,210	374,509	374,808	375,107	375,406
800	375,704	376,002	376,301	376,599	376,897	377,195	377,493	377,790	378,088	378,385
810	378,683	378,980	379,277	379,574	379,871	380,167	380,464	380,761	381,057	381,353
820	381,650	381,946	382,242	382,537	382,833	383,129	383,424	383,720	384,015	384,310
830	384,605	384,900	385,195	385,489	385,784	386,078	386,373	386,667	386,961	387,255
840	387,549	387,843	388,136	388,430	388,723	389,016	389,310	389,603	389,896	390,188
850	390,481	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Les valeurs de base sont calculées suivant l'échelle de température internationale EIT 90.

(Pour les sondes à résistance Pt 500 ou Pt 1000, il faut multiplier les valeurs de base par 5 ou 10.)



Mesure électrique de la température

Avec des thermocouples et des sondes à résistance

de Matthias Nau

Aujourd'hui, on ne peut pas imaginer l'automatisation et la fabrication des biens de consommation sans les éléments sensibles électriques. Alors que l'automatisation croît à une vitesse vertigineuse, leur progression dans l'industrie n'a pas cessé au cours des dernières années et décennies..



Figure 23 : ouvrage „Mesure électrique de la température“ Avec des thermocouples et des sondes à résistance

C'est pourquoi il est d'autant plus important pour l'utilisateur de trouver parmi les nombreux moyens proposés pour mesurer électriquement la température celui qui est le mieux adapté à son cas.

Ce guide de 164 pages présente les bases théoriques de la mesure électrique de la température, la réalisation des éléments sensibles dans la pratique, leur normalisation, le raccordement électrique, les tolérances et les différents modèles.

De plus, il donne des détails sur les différentes armatures pour les thermocouples, leur classification suivant les normes et les différents domaines d'utilisation. Le livre est complété par des tableaux détaillés sur les forces électromotrices et les résistances suivant les normes EN, ce qui en fait un guide précieux pour les débutants en matière de mesure électrique de la

température.

Vous pouvez commander ce guide sous le numéro d'article 90/00431166 ou le télécharger à l'adresse www.jumo.fr

Etude des erreurs d'une chaîne de mesure de température

avec exemple de calcul

de Gerd Scheller

Ce guide de 44 pages est un outil pour estimer l'incertitude de mesure, en particulier grâce aux exemples de calcul du chapitre 3. Nous sommes tout disposés à discuter avec nos clients de cas concrets et à leur apporter une aide effective.



Figure 24 : ouvrage „Etude des erreurs d'une chaîne de mesure de température avec exemple de calcul“

Pour pouvoir comparer des mesures, il faut connaître leur qualité, c'est-à-dire indiquer l'incertitude de mesure. Le „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“, ISO/BIPM publié en 1993, généralement abrégé GUM, introduit une méthode standard pour déterminer et indiquer l'incertitude de mesure. Cette méthode a été reprise dans le monde entier par les laboratoires de calibrage. Toutefois, il faut certaines connaissances mathématiques pour l'appliquer. Certains chapitres de la brochure expliquent, de manière simplifiée, l'incertitude de mesure pour tous les utilisateurs de chaînes de mesure de la température.

Les erreurs dues au montage des capteurs de température et au raccordement du circuit électronique d'analyse conduisent à une augmentation de l'erreur de mesure. A cela s'ajoutent des quotes-parts d'incertitude de mesure est suivie d'exemples de calcul.

Lorsque l'utilisateur connaît les quotes-parts d'incertitude de mesure et leur ordre de grandeur, il a la possibilité de réduire certaines quotes-parts en modifiant les conditions de montage ou en changeant d'appareils. Il est impératif de savoir quelle incertitude de mesure appliquer à une mesure. Par ex., si une norme indique une valeur limite pour l'écart de la température par rapport à la consigne, l'incertitude de mesure du dispositif de mesure utilisé devra être égale au maximum à 1/3 de cette valeur limite

Vous pouvez commander ce guide sous le numéro d'article 90/00429854 ou le télécharger sur Internet sous www.jumo.fr

JUMO GmbH & Co. KG

Adresse de livraison :
Mackenrodtstraße 14,
36039 Fulda, Allemagne
Adresse postale :
36035 Fulda, Allemagne
Tél. : +49 661 6003-0
Fax : +49 661 6003-607
E-Mail : mail@jumo.net
Internet : www.jumo.net

JUMO Régulation SAS

Actipôle Borny
7 rue des Drapiers
B.P. 45200
57075 Metz - Cedex 3, France
Tél. : +33 3 87 37 53 00
Fax : +33 3 87 37 89 00
E-Mail : info@jumo.net
Internet : www.jumo.fr

JUMO AUTOMATION

S.P.R.L. / P.G.M.B.H. / B.V.B.A
Industriestraße 18
4700 Eupen, Belgique
Tél. : +32 87 59 53 00
Fax : +32 87 74 02 03
E-Mail : info@jumo.be
Internet : www.jumo.be

JUMO

Mess- und Regeltechnik AG
Laubisrütistrasse 70
8712 Stäfa, Suisse
Tél. : +41 44 928 24 44
Fax : +41 44 928 24 48
E-Mail : info@jumo.ch
Internet : www.jumo.ch



Deutscher Kalibrierdienst (DKD) chez JUMO

Laboratoire de calibrage pour la grandeur de mesure Température

A cause d'une prise de conscience accrue quant à la qualité, de l'amélioration des techniques de mesure et surtout des systèmes d'assurance-qualité comme par ex. la norme ISO 9000, les exigences en matière de documentation des process et de surveillance des outils de mesure sont plus sévères. A cela s'ajoute les demandes des clients de normes de qualité élevées pour leurs produits. Les normes ISO 9000 et EN 45 000, ont des exigences particulièrement sévères : les mesures doivent être raccordées à des étalons nationaux ou internationaux. Le principe légal est le suivant : les fournisseurs et les fabricants (de produits soumis à des process dont la température est une grandeur essentielle) sont obligés de faire vérifier, avant utilisation ou à des intervalles de temps déterminés, tous les moyens de test qui peuvent affecter la qualité du produit. En règle générale, il s'agit de calibrer et d'ajuster les outils certifiés. Comme la demande en appareils calibrés est très importante, les organismes gouvernementaux ne suffisent pas. C'est pourquoi l'industrie a créé des laboratoires de calibrage rattachés au Deutscher Kalibrierdienst (DKD) et sous l'autorité du Physikalisch-Technischer-Bundesanstalt (PTB) pour les questions de métrologie.

Dans le laboratoire de calibrage DKD de JUMO, on effectue des calibrages pour la grandeur de mesure Température depuis 1992. Cette installation permet de proposer à tous le calibrage comme une prestation de service, dans un cadre attractif du point de vue prix et temps.

Il est possible d'établir des certificats de calibrage DKD, pour les sondes à résistance, les thermocouples, les chaînes de mesure à affichage direct, les enregistreurs, les calibrateurs de température à bloc et les sondes de température avec convertisseur de mesure intégré sur la plage de mesure -80 à +1100°C. Le raccordement à des étalons de référence y est le critère le plus important. C'est pourquoi tous les certificats de calibrage DKD sont reconnus sans autre preuve du raccordement. Le laboratoire de calibrage DKD de JUMO est accrédité conformément à la norme

EN ISO/CEI 17 025 sous la référence
DKD-K-09501-04.