

# Comment étalonner une sonde RTD ou sonde à résistance de platine (PRT)

## Note d'application

### Introduction

Il y a deux types d'étalonnage applicables aux sondes PRT : les essais en caractérisation et en tolérance. Le type d'étalonnage à effectuer est déterminé par la façon d'utiliser l'unité testée (UUT) et par la précision requise par l'utilisateur. Dans l'étalonnage par caractérisation, la résistance de l'unité testée (UUT) est déterminée en plusieurs points de température, et les données sont ajustées à une expression mathématique. Dans l'étalonnage par tolérance par contre, la résistance de l'unité testée (UUT) est comparée aux valeurs définies à des températures spécifiques. Aucun ajustement de données n'a lieu. Dans le laboratoire, nous devons effectuer ces deux types d'étalonnage en tenant compte des besoins de nos clients.

### Procédures d'étalonnage

#### Par caractérisation

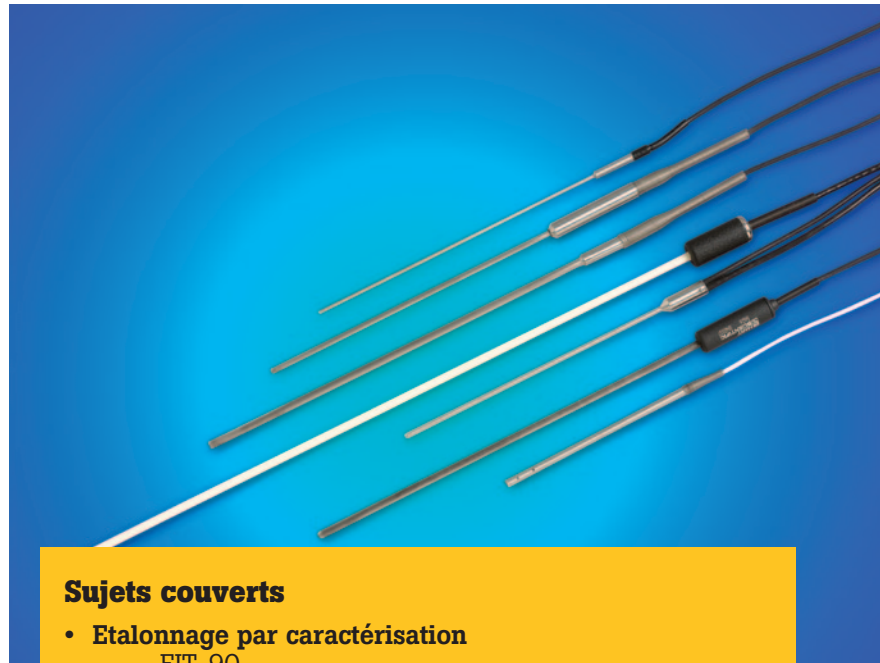
La caractérisation est la méthode la plus souvent utilisée pour l'étalonnage des sondes PRT de précision intermédiaire à élevée. Dans cette méthode, on détermine une nouvelle relation entre résistance et température à chaque étalonnage. Ce type d'étalonnage fournit en règle générale comme produit d'étalonnage de nouveaux coefficients d'étalonnage et une table d'étalonnage. Les cinq étapes de base à effectuer sont citées ci-dessous :

1. Placez la sonde de référence et les unités testées dans la source de température à proximité l'une de l'autre.
2. Connectez les cordons au(x) indicateur(s) pour assurer une connexion à 2, 3 ou 4 fils.
3. Mesurez la sonde de référence et déterminez la température.
4. Mesurez et enregistrez la résistance de la ou des unités testées.
5. Ajustez les données.

Certains indicateurs de mesure simplifient cette méthode en combinant ou en éliminant certaines étapes. Dans la discussion suivante, nous considérons une application impliquant la caractérisation d'une sonde PRT en comparaison à une sonde SPRT.

#### Etape 1 : Positionnement de la sonde

Toutes les sources de température présentent des instabilités et des gradients. Ceux-ci se traduisent par des erreurs d'étalonnage et/ou des incertitudes. Pour minimiser ces effets, les sondes doivent être positionnées le plus près possibles l'une de l'autre. Dans les bains, les sondes à étalonner doivent être positionnées selon une disposition radiale, avec la sonde de référence au centre (cible) du cercle. On



### Sujets couverts

- **Etalonnage par caractérisation**  
EIT-90  
Callendar-Van Dusen  
Equation polynomiale
- **Essais en tolérance**  
ASTM 1137  
IEC 60751

garantit ainsi une distance égale par rapport à la sonde de référence pour chacune des unités testées. Dans les sources de températures à four sec, la sonde de référence et les sondes à étalonner doivent être positionnées à la même distance par rapport au centre pour fournir des résultats optimaux, mais la référence peut être positionnée au centre s'il y a lieu.

De plus, les éléments de détection doivent être sur un même plan horizontal. Même si les éléments de détection ont des longueurs différentes, il suffit de positionner la partie inférieure des sondes au même niveau. Une immersion suffisante doit être obtenue pour éviter les pertes liées aux tiges des sondes. On obtient généralement une immersion suffisante après avoir plongé les sondes à une profondeur égale à 20 fois le diamètre de la sonde plus la longueur de l'élément de détection. Considérons par exemple une sonde de 4,7625 mm (3/16 po) de diamètre avec un élément de détection de 25,4 mm (1 po) de long. On utilise cette formule simple :  $508 \times 4,7625 \text{ mm} \times 25,4 \text{ mm} = 95,25 + 25,4 \text{ mm} = 120,65 \text{ mm}$  ( $20 \times 3/16 + 1 \text{ po} = 3 \frac{3}{4} + 1 \text{ po} = 4 \frac{3}{4} \text{ po}$ ). Dans cet exemple, l'immersion

minimum est obtenue à 120,65 mm (4 3/4 po). Cette formule simple est appropriée avec les constructions de sonde à paroi mince et dans les situations présentant un bon transfert de chaleur. Si la sonde présente une construction à paroi épaisse et/ou en présence d'un transfert de chaleur médiocre (comme dans le cas d'un four sec aux trous incorrectement dimensionnés), le niveau d'immersion doit être augmenté.

## Etape 2 : Branchement à l'indicateur

Cette étape est simple. Les branchements doivent être serrés et dans la configuration à 2, 3 ou 4 fils appropriée. Si vous utilisez une configuration à 4 fils, vérifiez que les branchements en courant et en tension sont corrects. Voir la figure 1.

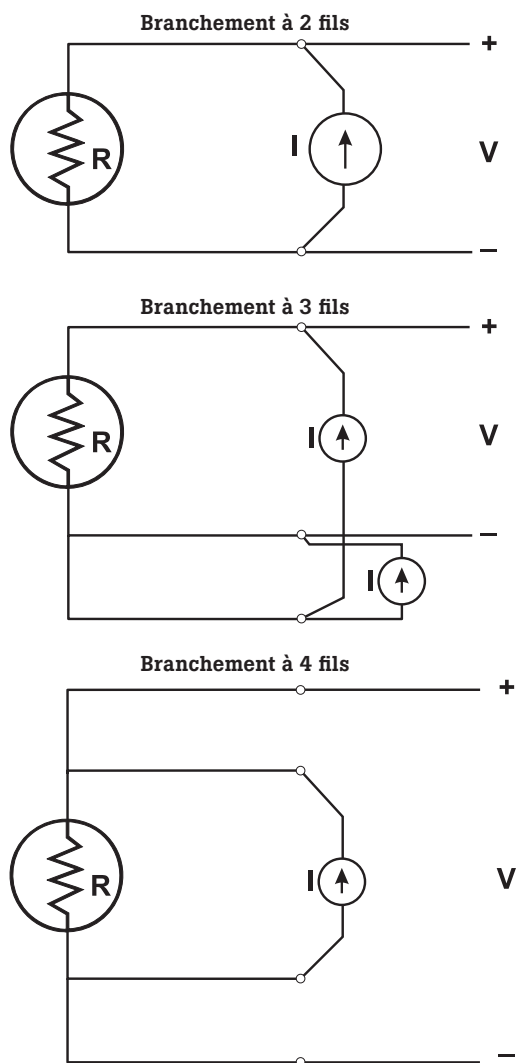


Figure 1. Schéma de branchement de l'indicateur du thermomètre.

## Etape 3 : Mesure de la sonde de référence et détermination de la température

Il y a deux façons de mesurer la sonde de référence et de déterminer la température. Les deux techniques ont la même précision potentielle. Autrement dit, si elles sont utilisées correctement, aucune technique n'est intrinsèquement plus précise que l'autre.

La première et meilleure méthode utilise des indicateurs sophistiqués conçus pour les applications de température. La résistance est mesurée et la température calculée à partir des coefficients d'étalonnage qui ont été saisis précédemment dans l'indicateur. Une fois ces coefficients d'étalonnage saisis, les calculs de température sont réalisés en interne et l'indicateur affiche les unités de température. Les données de température sont disponibles en temps réel. Certains indicateurs de mesure modernes affichent également les données graphiques, permettant à l'opérateur de déterminer la stabilité en un coup d'oeil. Ces deux fonctions accélèrent le processus et éliminent les erreurs potentielles des opérateurs dues à une interpolation de table incorrecte.

On utilise la deuxième méthode lorsque l'indicateur de mesure n'assure pas le calcul de température approprié. (Certains indicateurs de mesure, tels que les multimètres numériques, intègrent les fonctions de conversions de températures les plus répandues. Celles-ci ne permettent pas toutefois d'utiliser des coefficients d'étalonnage spécifiques et ne peuvent pas être utilisées pour un étalonnage précis des températures.) Dans ce cas, la résistance est mesurée et la température est déterminée à partir d'une table d'étalonnage, d'un programme informatique ou d'une calculatrice.

Comme la température doit être calculée après la mesure de la résistance, le processus est plus lent et ne fournit pas de données de température immédiates en temps réel. Voir les tableaux 1 et 2 ci-dessous.

Tableau 1. Interpolation d'une table d'étalonnage RTD (résistance par rapport à température).

| t (°C) | R(t) (Ω) | dR/dt(t) Ω/°C |
|--------|----------|---------------|
| 400    | 249,8820 | 0,3514        |
| 401    | 250,2335 | 0,3513        |
| 402    | 250,5848 | 0,3512        |
| 403    | 250,9360 | 0,3511        |
| 450    | 267,3108 | 0,3456        |
| 451    | 267,6564 | 0,3455        |
| 452    | 268,0019 | 0,3454        |
| 453    | 268,3472 | 0,3452        |

|                                                                     |                                    |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Mesurer la résistance de la sonde de référence                   | 249,9071 Ω                         |
| 2. Repérer l'emplacement de la valeur dans la table                 | entre 249,8820 Ω et 250,2335 Ω     |
| 3. Soustraire la valeur inférieure de la table de la valeur mesurée | 249,9071 Ω - 249,8820 Ω = 0,0251 Ω |
| 4. Diviser par dR/dT(t) (pente de courbe)                           | 0,0251 / 0,3514 = 0,0714 °C        |
| 5. Ajouter la température fractionnaire à la valeur de table        | 0,0714 °C + 400 = 400,0714 °C      |

## Conseil technique

Le calcul manuel est plus sujet aux erreurs humaines et demande davantage de temps que l'utilisation d'un indicateur conçu pour la température.

**Tableau 2.** Interpolation d'un étalonnage RTD (table des rapports de résistance(W)).

| t(°C) | W(t)      | dt/dW(t) |
|-------|-----------|----------|
| 300   | 2,1429223 | 275,2199 |
| 301   | 2,1465557 | 275,3075 |
| 302   | 2,1501880 | 275,3951 |
| 303   | 2,1538192 | 275,4827 |
| 350   | 2,3231801 | 279,6655 |
| 351   | 2,3267558 | 279,7559 |
| 352   | 2,3303304 | 279,8464 |
| 353   | 2,3339037 | 279,9369 |

|                                                                     |                                                            |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1. Mesurer la résistance de la sonde de référence                   | 54.75258 Ω                                                 |
| 2. Calculer W (Rt/Rtpw) (Rtpw = 25,54964)                           | $54.75258 \Omega / 25.54964 \Omega = 2.1429883$            |
| 3. Repérer l'emplacement de la valeur dans la table                 | entre 2.1429223 y 2.1465557                                |
| 4. Soustraire la valeur inférieure de la table de la valeur mesurée | $2.1429883 - 2.1429223 = 0.000066$                         |
| 5. Diviser par dt/dW(t) (pente de courbe inverse)                   | $0.000066 \cdot 275.2199 = 0.0182 \text{ °C}$              |
| 6. Ajouter la température fractionnaire à la valeur de table        | $0.0182 \text{ °C} + 300 \text{ °C} = 300.0182 \text{ °C}$ |

#### Etape 4 : Mesure des unités testées (UUT)

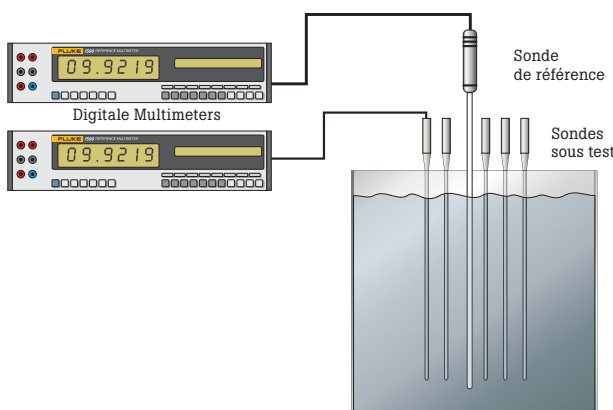
Les unités testées étant des thermomètres à résistance similaires à la sonde de référence, on les mesure de manière similaire. Si plusieurs unités testées sont en cours d'étalonnage, veillez à prévoir un temps d'auto-échauffement suffisant au moment de les brancher ou de les activer, avant de lancer l'enregistrement des données. Vérifiez également que l'indicateur est réglé sur la gamme appropriée pour fournir le courant de source appropriée et empêcher les changements de gamme entre les mesures à températures différentes. Les mesures sont relevées en règle générale en commençant par la plus haute température d'étalonnage et en allant vers le bas. L'utilisation d'une valeur moyenne, calculée à partir de plusieurs mesures à la même température, accroît également la précision de l'étalonnage. Le dispositif de mesure possède souvent des fonctions statistiques pour faciliter cette pratique. Une bonne pratique consiste aussi à interrompre le processus par une mesure supplémentaire de la sonde de référence. La séquence pendant laquelle les sondes (référence et unité testée) sont mesurées est également appelée schéma de mesure. De nombreuses variables doivent être considérées pour concevoir le schéma de mesure. Il doit considérer les points suivants :

- Précision : plus la précision souhaitée est élevée, plus tous les éléments suivants doivent être pris en compte.
- Stabilité de la source de température : plus la source est stable, plus l'opérateur dispose de temps pour effectuer les mesures avant que les changements de température n'entraînent des erreurs.

- Nombre d'unités testées : plus leur nombre est élevé, plus leur prise en compte demande de temps.
- Nombre d'indicateurs de mesure : la sonde de référence et les unités testées sont-elles mesurées avec le même indicateur ou avec différents indicateurs ?
- Type d'indicateur : un indicateur de mesure conçu pour l'étalonnage en température possède souvent des fonctionnalités qui offrent une certaine flexibilité au schéma de mesure.
- Caractéristiques de l'unité testée : le temps d'auto-chauffage, les caractéristiques de la source de courant, la stabilité et la qualité globale influencent le processus de mesure.

Nous ne pouvons pas ici anticiper toutes les variables et présenter les solutions optimales. Nous considérerons toutefois dans les exemples suivants plusieurs scénarios d'étalonnage typiques et schémas de mesure recommandés.

#### Exemple 1 : 2 indicateurs de multimètres numériques, 1 sonde de référence et 5 unités testées

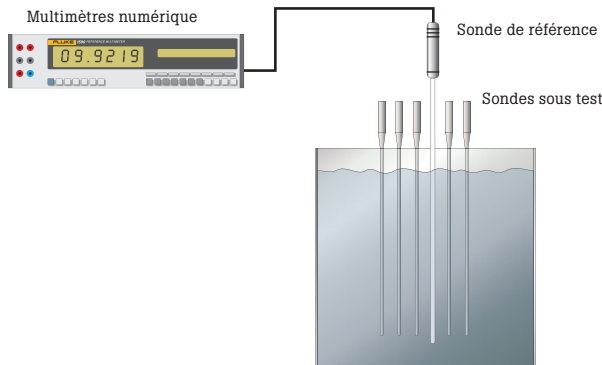


La sonde de référence est connectée à un indicateur, et la première unité testée est connectée au deuxième indicateur. Cet agencement permet d'exposer les sondes à mesurer au courant en permanence, en éliminant ainsi les erreurs d'autochauffage liées au changement des conditions du courant. Les unités testées seront connectées et mesurées individuellement. La formule est la suivante :

$$\text{REF}(1)\text{-UUT (1) - REF(2)-UUT (2) - REF(3)-UUT (3) - REF(4)-UUT (4) - REF(5)-UUT (5)}$$

Cet agencement assure 5 lectures, chacune pour la référence et l'unité testée. Faites la moyenne des valeurs relevées et utilisez-la pour ajuster les données. Si les lectures de sonde de référence sont en résistance, la température doit être calculée. Après les lectures, répétez le processus pour les unités testées supplémentaires.

## Exemple 2 : 1 indicateur de multimètre numérique, 1 sonde de référence et 5 unités testées

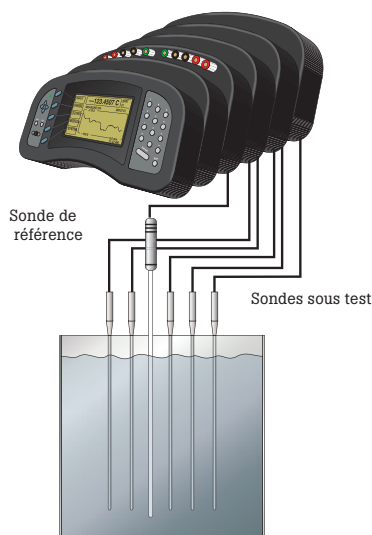


Cet exemple est similaire au premier sauf que la sonde de référence et l'unité testée doivent être mesurées par le même indicateur. L'opérateur suit le même schéma mais doit prévoir davantage de temps entre les lectures pour tenir compte de l'autochauffage. Comme l'opération implique davantage de temps, il peut s'avérer utile de réduire le nombre des valeurs relevées de cinq à trois, sauf si la source de chaleur est extrêmement stable. Chaque sonde est connectée et mesurée individuellement. La formule est la suivante :

attendre-REF(1)-attendre-UUT (1) -  
attendre-REF(2)-attendre-UUT(2)  
- attendre-REF(1)-attendre-UUT(3)-terminé

Cet agencement assure 3 lectures, chacune pour la référence et l'unité testée. Faites la moyenne des valeurs relevées et utilisez-la pour ajuster les données. Ici aussi, si les lectures de la sonde de référence sont en résistances, la température doit être calculée. Après l'opération, répétez le processus pour les autres unités testées.

## Exemple 3 : 1 indicateur de thermomètre à canaux multiples, 1 sonde de référence et 5 unités testées



Dans cet exemple, toutes les sondes sont connectées directement à l'indicateur du thermomètre, modèle Fluke Calibration 1560 Black Stack. L'indicateur contrôle la mesure et explore toutes les sondes en calculant les statistiques en temps réel. Le courant peut être fourni en permanence ou non, selon le type d'indicateur du thermomètre. Si le courant est fourni en permanence, il n'y aura pas d'erreurs d'autochauffage. Si le courant n'est pas fourni en permanence, veillez à assurer la permutation rapidement pour réduire les erreurs d'autochauffage à un niveau négligeable. La formule est la suivante :

REF - UUT 1 - UUT 2 - UUT 3 - UUT 4 - UUT  
5 - répéter 10 fois ou plus

Cet agencement assure de nombreuses lectures, chacune pour la référence et toutes les unités testées. La moyenne peut être calculée et affichée directement par l'indicateur. Par ailleurs, les valeurs relevées de la sonde de référence étant des températures, aucun calcul supplémentaire n'est nécessaire ; les données sont prêtes à être ajustées.

## Etape 5 : Ajustement de la courbe d'étalonnage du thermomètre

L'ajustement des données est simple en théorie mais compliqué en pratique. Il s'agit essentiellement de résoudre une série d'équations simultanées qui contiennent les données d'étalonnage pour aboutir à une série de coefficients spécifiques à la sonde PRT et à l'étalonnage. Plusieurs logiciels sur le marché ont été spécifiquement programmés pour cette tâche. Certaines applications ont des fonctions limitées et ne peuvent résoudre que les fonctions de température de base. D'autres applications ont une utilisation plus souple et permettent de sélectionner le nombre et l'emplacement des points d'étalonnage et d'assurer l'analyse de la précision pour l'ajustement résultant. Ce dernier type d'application est préférable. Pour les métrologues qui souhaitent gérer les algorithmes eux-mêmes, un bon logiciel mathématique tels que Mathcad ou Mathematica, voire un tableur comme Excel, sont extrêmement utiles. Hart Scientific propose deux programmes : TableWare pour calculer les coefficients d'étalonnage, et MET/TEMP II pour automatiser les tâches d'étalonnage et calculer les coefficients d'étalonnage. Les programmes peuvent bien entendu être rédigés dans un langage informatique moderne (avec une double précision ou mieux, une représentation en virgule flottante) pour effectuer les calculs avec une précision identique.

On utilise plusieurs équations pour la caractérisation de la sonde PRT. Parmi les plus répandues, on compte l'échelle internationale des températures de 1990 (EIT-90), l'équation de Callendar-Van Dusen et les polynômes de troisième au cinquième degré. Bien sûr, avec plusieurs modèles disponibles pour décrire le comportement d'un système physique, nous devons choisir celui qui convient le mieux à notre situation. La discussion qui suit couvre les fonctions et l'objectif de chaque modèle et décrit la forme des équations. Les étapes nécessaires pour ajuster effectivement les données seront abordées dans la section mathématique plus loin dans ce manuel.

**EIT-90 :** La série de fonctions EIT-90 a été développée grâce à un effort concerté des grands spécialistes en température de la communauté internationale de

métrologie. Ces fonctions servent à décrire le comportement de la sonde SPRT, avec un très haut degré de précision, par rapport aux points fixes sur lesquels l'échelle repose. Elles assurent extrêmement bien cette comparaison avec les sondes SPRT et avec des sondes PRT de haute qualité. L'EIT-90 utilise une structure fonction de référence-fonction d'écart qui a de nombreux avantages par rapport aux polynômes traditionnels ; ce modèle est préférable pour les applications qui exigent une précision élevée. Dans les équations ci-dessous, le T majuscule renvoie aux températures EIT-90 exprimées en degrés Kelvin.

**Equation 1.** Rapport de résistance EIT-90

$$W(T_{90}) = \frac{R(T_{90})}{R_{TPW}}$$

Où:  $W(T_{90})$  = rapport de résistance à la température T  
 $R(T_{90})$  = résistance mesurée à la température T  
 $R_{TPW}$  = résistance mesurée au point triple de l'eau

**Equation 2.** Ecart de la fonction de référence EIT-90.

$$\Delta W(T_{90}) = W(T_{90}) - W_r(T_{90})$$

Où:  $\Delta W(T_{90})$  = écart du rapport de résistance W calculé à partir de la fonction de référence à une température T  
 $W(T_{90})$  = rapport de résistance calculé à la température T (de l'équation (1))  
 $W_r(T_{90})$  = valeur de fonction de référence à la température T

**Equation 3.** Fonction de référence pour la gamme 13,8033 K à 273,16 K (-259,3467 °C à 0,01 °C) :

$$\ln(W_r(T_{90})) = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \left( \frac{\ln\left(\frac{T_{90}}{273,16}\right) + 1,5}{1,5} \right)^i$$

Où:  $W_r(T_{90})$  = valeur de fonction de référence à la température T  
 $A_i$  = coefficients de la fonction de référence à partir de la définition

**Equation 4.** Fonction d'écart pour la sous-gamme de 83,8058 K à 273,16 K (-189,3442 °C à 0,01 °C) :

$$\Delta W_4(T_{90}) = a_4 \cdot (W(T_{90}) - 1) + b_4 \cdot (W(T_{90}) - 1) \cdot \ln(W(T_{90}))$$

Où:  $W(T_{90})$  = écart calculé à la température T (de l'équation (2))  
 $W(T_{90})$  = résistance calculée à la température T (de l'équation (1))  
 $a_4, b_4$  = coefficients d'étalonnage résultants

**Equation 5.** Fonction de référence pour la gamme de 273,15 K à 1 234,93 K (0,00 °C to 961,78 °C) :

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left( \frac{\frac{T_{90}}{K} - 754,15}{481} \right)^i$$

Où:  $W_r(T_{90})$  = valeur de fonction de référence à la température T  
 $C_i$  = coefficients de la fonction de référence à partir de la définition

**Equation 6.** Fonction d'écart pour la sous-gamme de 273,15 K à 692,677 K (0,00 °C à 419,527 °C) :

$$\Delta W_8(T_{90}) = a_8 \cdot (W(T_{90}) - 1) + b_8 \cdot (W(T_{90}) - 1)^2$$

Où:  $\Delta W(T_{90})$  = écart calculé à la température T (de l'équation (2))  
 $W(T_{90})$  = rapport de résistance calculé à la température T (de l'équation (1))  
 $a_8, b_8$  = coefficients d'étalonnage résultants

Les désignations 4 et 8 dans les fonctions d'écart, les équations (4) et (6) ont été insérées par l'Institut national des normes et des technologies (NIST) aux États-Unis pour l'identification des sous-gammes spécifiques. Les valeurs des coefficients  $A_i$  et  $C_i$  dans les fonctions de référence, les équations (3) et (5) sont fournies dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Coefficients de fonction de référence EIT-90

| Coefficient | Valeur        |
|-------------|---------------|
| $A_0$       | -2,135 347 29 |
| $A_1$       | 3,183 247 20  |
| $A_2$       | -1,801 435 97 |
| $A_3$       | 0,717 272 04  |
| $A_4$       | 0,503 440 27  |
| $A_5$       | -0,618 993 95 |
| $A_6$       | -0,053 323 22 |
| $A_7$       | 0,280 213 62  |
| $A_8$       | 0,107 152 24  |
| $A_9$       | -0,293 028 65 |
| $A_{10}$    | 0,044 598 72  |
| $A_{11}$    | 0,118 686 32  |
| $A_{12}$    | -0,052 481 34 |
| $C_0$       | 2,781 572 54  |
| $C_1$       | 1,646 509 16  |
| $C_2$       | -0,137 143 90 |
| $C_3$       | -0,006 497 67 |
| $C_4$       | -0,002 344 44 |
| $C_5$       | 0,005 118 68  |
| $C_6$       | 0,001 879 82  |
| $C_7$       | -0,002 044 72 |
| $C_8$       | -0,000 461 22 |
| $C_9$       | 0,000 457 24  |

**Callendar-Van Dusen-Gleichung:** L'équation de Callendar-Van Dusen (CVD) a une longue histoire. Elle était la principale équation pour l'interpolation SPRT et PRT pendant de nombreuses années. Elle formait la base des échelles de température de 1927, 1948 et 1968. Cette équation est beaucoup plus simple que les équations EIT-90 mais présente de sérieuses limitations pour la précision de l'ajustement. Elle n'est donc pas adaptée aux applications exigeant une haute précision mais convient parfaitement aux applications de précision plus modeste. Elle continue d'être le modèle préféré des sondes à résistance de platine d'aujourd'hui, pour son histoire et de sa simplicité mais surtout pour sa capacité d'adaptation non démentie. Dans les équations ci-dessous, le  $t$  minuscule renvoie aux températures EIT-90 exprimées en degrés Celsius.

**Equation 7.** Rapport de résistance Callendar-Van Dusen

$$W(t) = \frac{R(t)}{R_0}$$

Où :  $W(t)$  = rapport de résistance à la température  $t$   
 $R(t)$  = résistance mesurée à la température  $t$   
 $R_0$  = résistance mesurée 0 °C

et...

**Equation 8.** Equation de Callendar-Van Dusen

$$W(t) = 1 + At + Bt^2 + Ct^3 \cdot (t - 100)$$

Où :  $W(t)$  = rapport de résistance à la température  $t$  (référence 0 °C)  
 $A, B, C$  = coefficients d'étalonnage ( $C = 0$  pour les températures supérieures à 0 °C)

REMARQUE: Toutes les températures sont exprimées en °C et le rapport de résistance ( $W$ ) est référencé à 0 °C plutôt qu'au point triple de l'eau (0,010 °C) comme dans le cas de l'EIT-90.

**Polynômes :** Les polynômes sont fréquemment utilisés comme modèle pour les phénomènes physiques dans tous les domaines scientifiques. Ils ont des applications limitées avec les sondes PRT car il faut en utiliser un nombre élevé pour réaliser l'ajustement approprié. (Rappelez-vous que les fonctions de référence de l'EIT-90 sont des polynômes de 9e et 12e degrés pour les gammes supérieures à 0 °C et inférieures à 0 °C.) De plus, les modèles précédents utilisent le rapport de résistance comme variable pour l'ajustement. La plupart des polynômes utilisés s'ajustent directement à la résistance. Comme la résistance n'est pas aussi stable que le rapport de résistance, ces modèles présentent des limitations importantes. Cela dit, les polynômes peuvent être très utiles dans des gammes limitées et dans les applications avec des exigences de précision très modestes.

**Equation 9.** Equation polynomiale RTD typique

$$t = a + bR + cR^2 + dR^3 + eR^4$$

Où :  $t$  = température  
 $R$  = résistance  
 $a, b, c, d, e$  = coefficients d'étalonnage

### Méthode d'essais en tolérance

Les étalonnages PRT impliquant des essais en tolérance sont réservés aux applications à faible précision. Dans ce type d'étalonnage, on compare la résistance de l'unité testée avec les valeurs définies à des températures spécifiques. Les valeurs sont définies par l'un des modèles courants tels que la courbe ASTM 1137 ou CEI 60751. Les sondes PRT étalonnées de cette façon sont généralement utilisées dans les applications industrielles où l'indicateur n'est pas en mesure d'accepter des coefficients uniques mais est préprogrammé avec une courbe PRT commune. La sonde doit être testée pour assurer sa conformité à la courbe d'intérêt. Des classes de précision auxquelles les sondes doivent adhérer sont définies.

Les deux classes de précision courantes sont la classe A et la classe B :

|                 | IEC 60751                         | ASTM 1137                          |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Classe A</b> | $\pm [0.15 + (0.002 \cdot t)]$ °C | $\pm [0.13 + (0.0017 \cdot t)]$ °C |
| <b>Classe B</b> | $\pm [0.30 + (0.005 \cdot t)]$ °C | $\pm [0.25 + (0.0042 \cdot t)]$ °C |

Ces classes incluent les erreurs résultant des écarts dans  $R_0$  et des erreurs de pente. On verra fréquemment des sondes homologuées à une fraction de la classe A. Par exemple, 0,1 ASTM classe A. Une précision fractionnaire est réalisable dans les capteurs seuls, mais très difficile à réaliser dans les sondes. Les calculs sont simples. Voir ci-dessous :

**Exemple 4 : Calculer la précision d'une sonde de 0,1 ASTM classe A à 100 °C**

- $1. = (0.13 + (0.0017 \cdot t)) \cdot 0,1$
- $2. = (0.13 + (0.0017 \cdot 100)) \cdot 0,1$
- $3. = (0.13 + 0.17) \cdot 0,1 = 0.03$

Les sondes PRT conformes à une spécification standard de type ASTM 1137 ou CEI 60751 doivent tomber dans les tolérances des valeurs de résistance définies pour une température donnée. Les valeurs de résistance sont définies par une forme de l'équation de Callendar-Van Dusen (CVD) et les valeurs spécifiées pour les coefficients  $A$ ,  $B$  et  $C$  (voir tableau 4). Ces valeurs peuvent être déterminées en utilisant une table publiée, ou calculées en résolvant les équations.

Les mesures des essais en tolérance sont effectuées de la même manière que les mesures de la caractérisation. La température EIT-90 est déterminée par le thermomètre de référence. La résistance de l'unité testée est ensuite comparée aux valeurs de résistance définies, et l'état correct ou échec est déterminé en fonction des tolérances spécifiées (c.-à-d. classe A ou classe B).

**Tableau 4.** Equations pour ASTM 1137 et CEI 60751

| Gamme                                        | Equation de Callendar-Van Dusen            |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $-200\text{ °C} \leq t < 0\text{ °C}$        | $R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3]$ |
| $0\text{ °C} \leq t \leq 650\text{ °C}$      | $R_t = R_0[1 + At + Bt^2]$                 |
| Valeurs de coefficient STM 1137 et CEI 60751 |                                            |
| A = 3,9083 X 10 <sup>-3</sup>                |                                            |
| B = -5,775 X 10 <sup>-7</sup>                |                                            |
| C = -4,183 X 10 <sup>-12</sup>               |                                            |

**Exemple 5 : Calculer la tolérance d'une sonde de 0,1 ASTM classe A à 100 °C**

|                                                                                                         |                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Mesurer la température de la sonde de référence                                                         | 100,00 °C                  |
| Mesurer la température indiquée de l'unité testée en utilisant l'équation et les coefficients ASTM 1137 | 100,05 °C (vorgegeben)     |
| Calculer l'erreur                                                                                       | 0,05 °C                    |
| Calculer la tolérance à 100,00 °C                                                                       | 0,03 °C (Voir l'exemple 4) |
| Déterminer l'état de la tolérance                                                                       | Echec (0,05 °C > 0,03 °C)  |

Pour être certain de l'état de la tolérance d'un instrument étalonné, il est nécessaire que les incertitudes d'étalonnage soient sensiblement meilleures que la tolérance de l'instrument étalonné. Un rapport de 4:1 ou quatre fois supérieur à la tolérance de l'instrument étalonné est normalement requis. Si tel n'est pas le cas, on s'expose à un risque inacceptablement élevé de voir les instruments acceptés sur une base erronée, ou de voir les instruments injustement rejetés alors qu'ils sont dans les limites de tolérance. A mesure que l'amplitude de l'erreur détectée se rapproche de la tolérance de l'instrument étalonné, le risque de voir l'état de tolérance incorrectement attribué augmente. Des bandes de garde peuvent être utiles dans ces

circonstances. Par exemple, avec une bande de garde à 80 % de la tolérance, les instruments dans la fourchette des 80 % de tolérance sont acceptés, les instruments en dehors de cette tolérance sont rejetés et les instruments dans l'intervalle sont indéterminés. La bande de garde peut être d'autant plus resserrée que les incertitudes d'étalonnage sont faibles.

### Conclusion

Les procédures d'étalonnage des sondes à résistance de platine sont identiques avec la méthode par caractérisation ou avec la méthode par tolérance. Pour une précision optimale sur les équipements modernes, choisissez la méthode par caractérisation. Pour les équipements qui ne permettent pas la caractérisation, les essais en tolérance sont parfois l'unique solution, et c'est une situation courante dans l'industrie aujourd'hui. En procédant aux essais en tolérance, il est important d'utiliser des équipements et des procédures avec une précision suffisante pour déterminer l'état de la tolérance avec fiabilité.

**Fluke Calibration.***Precision, performance, confidence.™*

Electrical

RF

▶ Temperature

Pressure

Flow

Software

**Fluke Calibration**

PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.

**Fluke Europe B.V.**PO Box 1186, 5602 BD  
Eindhoven, The Netherlands**For more information call:**In the U.S.A. (877) 355-3225 or  
Fax (425) 446-5116In Europe/M-East/Africa +31 (0) 40 2675 200 or  
Fax +31 (0) 40 2675 222In Canada (800)-36-FLUKE or  
Fax (905) 890-6866From other countries +1 (425) 446-5500 or  
Fax +1 (425) 446-5116Web access: <http://www.flukecal.com>

©2009, 2012 Fluke Calibration.

Specifications subject to change without notice.

Printed in U.S.A. 1/2013 3788781B\_EN

Pub\_ID: 11627-fre

**Modification of this document is not permitted  
without written permission from Fluke Calibration.**