

Les thermocouples

Généralités

Dans un circuit fermé constitué de deux conducteurs de nature différente, il circule un courant lorsqu'on maintient entre les deux jonctions une différence de température. Ce phénomène, lié à l'effet Peltierⁱ (Inverse de l'effet Seebeckⁱⁱ), est utilisé pour la réalisation de sondes thermométriques très précises. La force électromotrice qui apparaît dans le circuit dépend de la nature des deux conducteurs et des températures des deux jonctions: celles-ci sont appelées respectivement soudure chaude et soudure froide. Une des jonctions est en général maintenue à une température de référence (par exemple 0 °C), l'autre servant de capteur.

Le thermocouple le plus précis est constitué de platine et d'un alliage platine + 10% de rhodium (couple Le Chatelier); la sensibilité est de l'ordre de 10 microvolts par degré. D'autres couples métalliques fournissent jusqu'à 70 microvolts par degré, mais les jonctions entre des corps tels que tellure ou bismuth, ainsi que les couples formés de cristaux de germanium dopés n et p, délivrent des forces électromotrices beaucoup plus considérables; ils sont toutefois difficilement manipulables. Le thermocouple le plus réfractaire (utilisable jusqu'à 2 800 °C) est formé de tungstène et d'un alliage de tungstène et de 26% de rhénium. Dans le domaine cryogénique, on peut atteindre 1 K (environ) avec certains couples, formés, par exemple, d'alliages or-cobalt

Historique

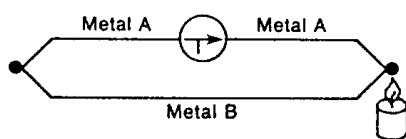
En 1822-1823, Thomas Seebeck décrit, dans un mémoire à l'Académie des sciences de Prusse, un phénomène qui correspond bien à la découverte du courant thermoélectrique se produisant dans un circuit fermé, formé de conducteurs différents et dont les jonctions sont à des températures différentes.

L'explication par Seebeck de ce phénomène est erronée, mais les classements de matériaux qu'il a établis en fonction de ce que, actuellement, on nomme le pouvoir thermoélectrique sont tout à fait corrects. Seebeck ne manque pas de noter le phénomène provoqué par une différence de température le long d'un conducteur homogène; ce phénomène sera redécouvert trente ans plus tard par William Thomson.

Vers 1834, Jean Charles Athanase Peltier publie dans les Annales de physique et chimie un article sur les anomalies de température observées aux jonctions de conducteurs de nature différente. Les expériences de Peltier sont confirmées, en 1838, par Antoine-César Becquerel et surtout Heinrich Lenz, mais les explications de Peltier concernant le phénomène découvert sont incorrectes.

Il faut attendre 1857 pour avoir, avec Thomson, une vue d'ensemble convenable des trois effets thermoélectriques (effet Peltier, effet Seebeck et effet Thomson) et une formulation encore admise aujourd'hui. Le calcul des propriétés des circuits thermoélectriques a été, pour la première fois, effectué d'une manière satisfaisante par E. Altenkirch en 1909.

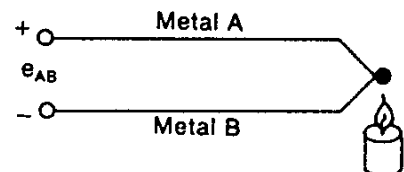
Explications



Lorsque deux fils composés de métaux différents sont raccordés à leurs extrémités et que l'une d'elles est chauffée, il se produit une circulation de courant continu dans le circuit. C'est l'effet Thermoélectrique.

Si on coupe le circuit, la tension apparaissant est fonction de la température et de la composition des deux métaux.

Tous les métaux dissemblables présentent cet effet.



Après des recherches de linéarité, de valeur de tension et de gamme de température, les combinaisons les plus courantes sont

| Premier métal | Second Métal | Symboles | Type | Limite en °C | Force électromotrice en μV |
|---------------|----------------|----------|-------|--------------|---------------------------------------|
| Cuivre (Cu) | Constantan (C) | Cu/C | T | -192 à +400 | 4277 à 100 °C |
| Fer (Fe) | Constantan (C) | Fe/C | J | -194 à +870 | 27390 à 500 °C |
| Chromel (Cr) | Constantan (C) | Cr/C | E | +1000 °C | 37000 à 500 °C |
| Chromel (Cr) | Alumel (Al) | Cr/Al | K | +1370 | 41310 à 1000 °C |
| Platine (Pt) | Rhodium (Rh) | Pt/Rh | S R B | +1700 | 10450 à 1000 °C |

Pour de petits changements de température, la variation de tension est proportionnelle à la variation de température : $\Delta e_{AB} = \Delta \alpha T$ - - α est appelé: coefficient de Seebeck.

Un des thermocouples le plus utilisé est le Chromel-Alumel ou Thermocouple de Type K. Il possède une plage de mesure étendue (-100 à + 1370 °C), une force électromotrice importante (41310 μ V à 1000 °C avec soudure froide à 0°C) et une courbe que l'on sait très bien linéariser pour obtenir sur toute l'étendue de mesure des précisions meilleures que 0,2%.

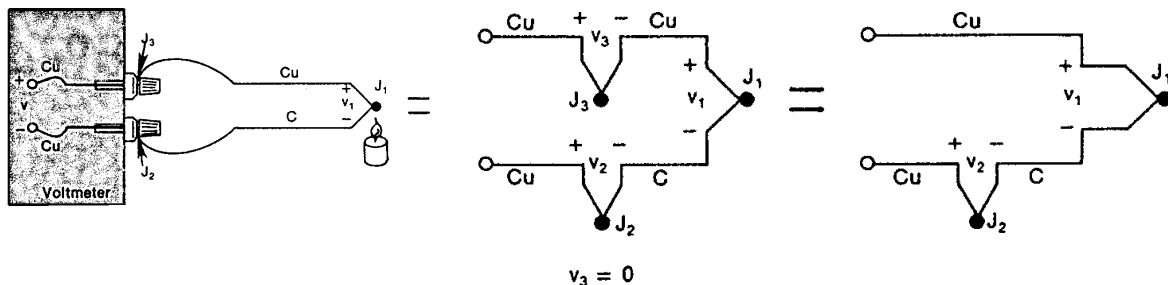
ALUMEL - Alliage composé de 95% de nickel, 2% d'aluminium, 2% de manganèse et 1% de silicium.

CHROMEL - Alliage composé de 80% de nickel et 20% de Chrome.

MESURE DES TENSIONS DE THERMOCOUPLE

On ne peut pas mesurer directement les tensions des thermocouples car le simple fait de le connecter sur un voltmètre crée des nouveaux thermocouples par les liaisons entre les fils du thermocouple et les bornes en cuivre ou en laiton du voltmètre.

Exemple avec un thermocouple cuivre-constantan (Cu/C) :



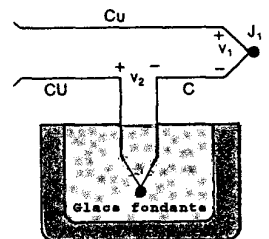
Nous voulons que le voltmètre lise seulement la tension générée par le thermocouple J1, c'est-à-dire V1 mais nous avons créé deux autres jonctions métalliques J2 et J3. Comme J3 est une liaison cuivre sur cuivre, il n'y a pas de création d'effet thermoélectrique. En revanche, J2 est une liaison cuivre constantan qui ajoute la tension V2 en opposition avec V1.

La lecture sur le voltmètre sera proportionnelle à la différence de température entre J1 et J2.

Nous ne pourrions connaître la température de J1 que si nous connaissons d'abord celle de J2.

RÉFÉRENCE DE LA JONCTION EXTERNE

Une manière de déterminer exactement et facilement la température de la jonction J2 est de la plonger celle-ci dans un bain de glace fondante, ce qui force sa température à 0°C, et alors, on pourra considérer J2 comme étant la jonction de référence.



Le schéma a donc maintenant une référence 0°C sur J2.

La lecture du voltmètre devient: $V = (V1 - V2)$ équivalent à $\alpha (t_{j1} - t_{j2})$.

Écrivons la formule avec des degrés Celsius : $T_{j1} (°C) + 273,15 = t_{j1}$

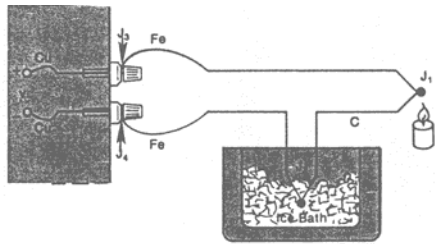
$$\begin{aligned} V = V1 - V2 &= \alpha [(t_{j1} + 273,15) - (t_{j2} + 273,15)] \\ &= \alpha (T_{j1} - T_{j2}) \\ &= \alpha (T_{j1} - 0) \\ &= \alpha T_{j1} \end{aligned}$$

Nous avons utilisé ce raisonnement pour souligner que la tension V2 de la jonction J2, dans le bain de glace, **n'est pas zéro volt**. C'est une fonction de la température absolue.

Cette méthode est très précise car la température 0°C (Point de fusion de la glace), peut être facilement et précisément contrôlée.

Le point de fusion de la glace est utilisé par les organismes de normalisation comme point de référence fondamental pour leurs tables de tension de thermocouple. Ainsi, à la lecture de ces tables, nous pourrions convertir directement la tension V1 en température Tj1.

L'exemple du thermocouple Cuivre/Constantan (Type T) est d'une utilisation facile pour les démonstrations car le cuivre est également le métal des bornes du voltmètre.

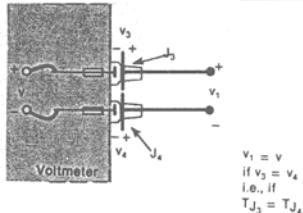


Faisons le même exemple avec un thermocouple Fer/Constantan (Type J) à la place du Cuivre/Constantan.

Le nombre de jonctions métalliques dissemblables augmente.

La mesure reste précise si les bornes Hi et Lo (J3 et J4) restent à la même température.

Dans ce cas, les deux tensions V3 et V4 sont identiques et s'annulent.

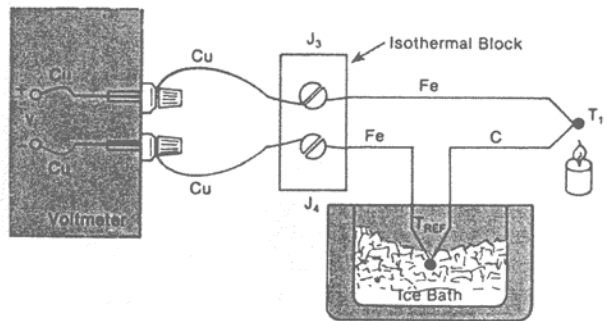


ANNULATION DES TENSIONS DE JONCTION

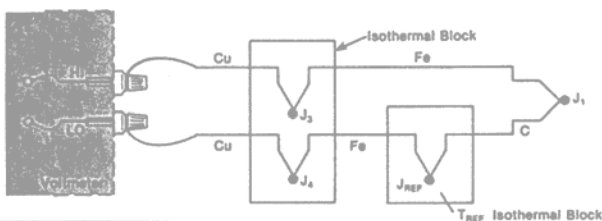
Si les deux bornes de mesure ne sont pas à la même température, il y aura une erreur d'autant plus importante que la différence de température entre les deux bornes sera importante.

Afin de minimiser les erreurs, les fils en cuivre de liaison avec le voltmètre doivent être connectés sur un bloc de jonction isothermique qui est un isolant électrique mais un très bon conducteur de la chaleur.

Il sert à garder J3 et J4 à la même température. De ce fait, les deux jonctions Cuivre/Fer (J3 et J4) génèrent des tensions identiques mais en opposition et nous aurons toujours $V = \alpha (T1 - T_{ref})$



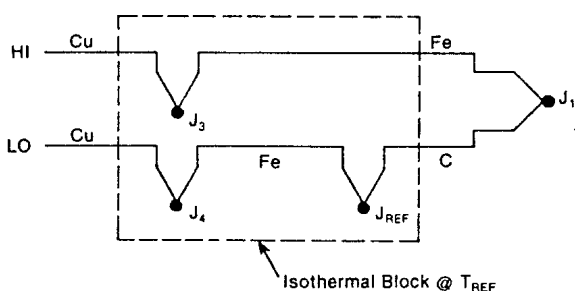
ÉLIMINATION DU BAIN DE GLACE



Remplaçons le bain de glace par un autre bloc isothermique.

Le nouveau bloc isothermique est à la température Tref et, parce que J3 et J4 sont toujours à la même température, nous pouvons toujours écrire : $V = \alpha (T1 - T_{ref})$

Ce circuit présente l'inconvénient de connecter 2 thermocouples. Modifions une première fois le circuit.

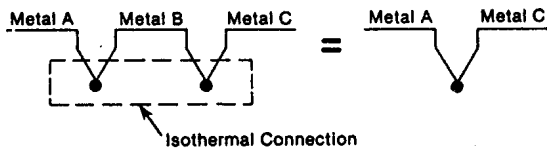


La tension de sortie n'a toujours pas changé :

$$V = \alpha (T1 - T_{ref})$$

Appliquons maintenant une loi empirique (Vérfiée expérimentalement). Cette loi dit:

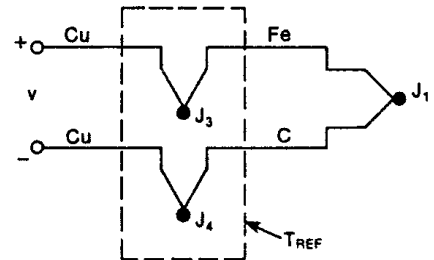
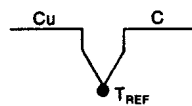
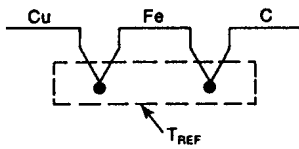
Un troisième métal inséré entre les deux métaux dissemblables d'une jonction thermocouple n'aura aucun effet sur la tension de sortie tant que les deux jonctions formées par le métal additionnel seront à la même température.



Cette conclusion est très intéressante car elle élimine complètement le besoin du fil de fer (Fe) sur l'entrée Lo du Voltmètre.

Thus the low lead

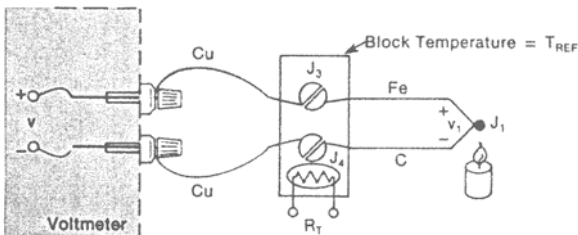
Becomes:



Et $V = \alpha (T_{j1} - T_{ref})$ ou α est le coefficient du thermocouple Fer/Constantan.

Les deux jonctions J3 et J4 deviennent maintenant la Jonction de référence et nous allons procéder à l'étape logique suivante :

Mesurer directement la température du bloc isothermique et utiliser cette information pour calculer la température T_{j1} .



Une thermistance (RT) dont la valeur ohmique est fonction de la température est un des moyens de mesurer la température du bloc isothermique.

La thermistance (RT) et les jonctions J3 et J4 sont à la même température grâce à la conception du bloc isothermique.

1. On mesure la thermistance RT pour calculer Tref, puis on converti Tref en tension équivalente de jonction Vref.
2. On mesure V auquel on soustrait Vref pour obtenir V1, puis on converti V1 en température Tj1.

Cette procédure est appelée **Compensation Logicielle** (Software Compensation) car elle utilise des calculs pour compenser l'effet induit par la jonction de référence.

La mesure de température du bloc isothermique peut être réalisée grâce à un capteur ayant une fonction de transfert proportionnelle à la température comme une sonde platine, une thermistance ou un capteur de température en circuit intégré.

Il semble logique de poser la question suivante:

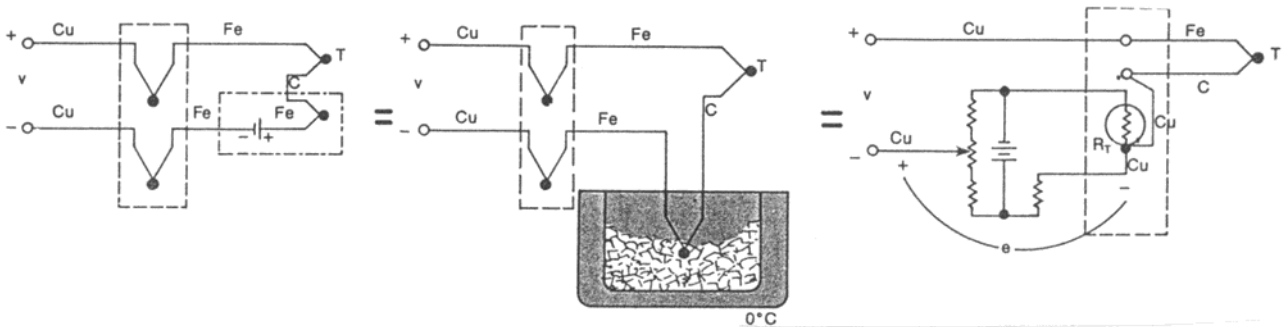
Nous utilisons un matériel (Thermistance, sonde platine ou circuit intégré) déjà capable de mesurer une température, pourquoi alors utiliser un thermocouple qui nécessite une compensation de la jonction de référence ?

La réponse est simple. Les thermistances, sondes platine ou circuit intégré ont des plages de mesure limitées ; Les thermocouples ont des plages très étendues, peuvent être de formes très diverses, et même serrés sous des vis.

En résumé, les thermocouples sont les moyens de mesure de température les plus universels et, la compensation logicielle est non seulement la plus simple à mettre en œuvre mais aussi la plus efficace.

COMPENSATION MATÉRIELLE (HARDWARE COMPENSATION)

Plutôt que de mesurer la température de la jonction de référence et calculer sa tension équivalente, nous pourrions mettre une pile (ou un générateur de tension) dans le circuit pour annuler la tension de décalage de la jonction de référence afin de considérer celle-ci comme étant à 0°C.

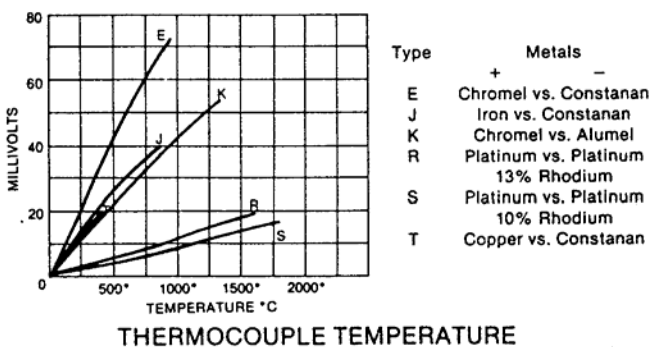


La tension de compensation e est fonction de la température du capteur R_T . La tension V est maintenant référencée à 0°C et peut être lue et convertie par les tables standards.

CONVERSION TENSION -> TEMPÉRATURE

Maintenant que nous utilisons soit la compensation logicielle, soit la compensation matérielle, afin d'obtenir une jonction de référence à 0°C, nous devons convertir la tension V mesurée en température.

Malheureusement, les relations entre tension et température des thermocouples ne sont pas linéaires.



THERMOCOUPLE TEMPERATURE
vs.
VOLTAGE GRAPH
Figure 16

Relation Tension-Température

À la lecture de ces courbes, on ne peut que vérifier que les thermocouples sont des appareils non linéaires.

On peut voir que le thermocouple de type K (Chromel/Alumel) est presque linéaire entre 0°C et 1000°C. Il pourra être utilisé avec une bonne précision, en calculant simplement un facteur d'échelle.

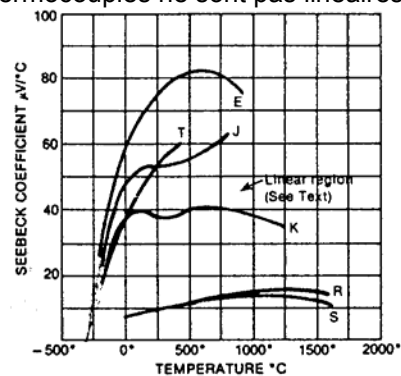
Pour obtenir les valeurs des températures en fonction des tensions lues, nous pourrions entrer les tables **NBTT (National Bureau of Standards Thermocouples Tables)** dans un ordinateur, mais cela entraînerait des très gros fichiers de données et des temps de recherche prohibitifs.

Une approche plus viable est d'utiliser des fonctions polynomiales de puissances croissantes telles que:

$$T = a_0 + (a_1)x + (a_2)x^2 + (a_3)x^3 + (a_4)x^4 + \dots + (a_n)x^n$$

Avec: T = Température
 x = Tension du thermocouple
 a = Coefficients uniques pour chaque thermocouple
 n = Ordre maximum du polynôme

Si on accroît n , la précision augmente. Par exemple, avec $n=9$ la précision est d'environ 1 °C. Cette précision dépend du type de thermocouple utilisé.



SEEBECK COEFFICIENT vs. TEMPERATURE
Figure 17

Coefficient de Seebeck (α)

Table des différents coefficients en fonction du type de thermocouple et pour les plages de mesure.

| | Type E | Type J | Type K | Type R | Type S | Type T |
|----|--|--|---|--|--|--|
| | Nickel 10% Chrome (+) et Constantan (-) | Fer (+) et Constantan (-) | Nickel 20% Chrome (+) et Nickel 5% Al/Mg/Si (-) | Platine 13% Rhodium (+) et Platine (-) | Platine 10% Rhodium (+) et Platine (-) | Cuivre (+) et Constantan (-) |
| | -100 °C à 1000°C ± 0.5 °C au 9 ^e ordre | 0 °C à 760°C ± 0.1 °C au 5 ^e ordre | 0 °C à 1370 °C ± 0.7 °C au 8 ^e ordre | 0 °C à 1000 °C ± 0.5 °C au 8 ^e ordre | 0 °C à 1750 °C ± 1 °C au 9 ^e ordre | -160 °C à 400 °C ± 0.5 °C au 7 ^e ordre |
| a0 | 0.104967248 | -0.048868252 | 0.226584602 | 0.263632917 | 0.927763167 | 0.100860910 |
| a1 | 17189.45282 | 19873.14503 | 24152.10900 | 179075.491 | 169526.5150 | 25727.94369 |
| a2 | -282639.0850 | -218614.5353 | 67233.4248 | -48840341.37 | -31568363.94 | -767345.8295 |
| a3 | 12695339.5 | 11569199.78 | 2210340.682 | 1.90002E +10 | 8990730663 | 78025595.81 |
| a4 | -448703084.6 | -264917531.4 | -860963914.9 | -4.82704E +12 | -1.63565E +12 | -9247486589 |
| a5 | 1.10866E +10 | 2018441314 | 4.83506E +10 | 7.62091E +14 | 1.88027E +14 | 6.97688E +11 |
| a6 | -1.76807E +11 | | -1.18452E +12 | -7.20026E +16 | -1.37241E +16 | -2.66192E +13 |
| a7 | 1.71842E +12 | | 1.38690E +13 | 3.71496E +18 | 6.17501E +17 | 3.94078E +14 |
| a8 | -9.19278E +12 | | -6.33708E +13 | -8.03104E +19 | -1.56105E +19 | |
| a9 | 2.06132E +13 | | | | 1.69535E +20 | |

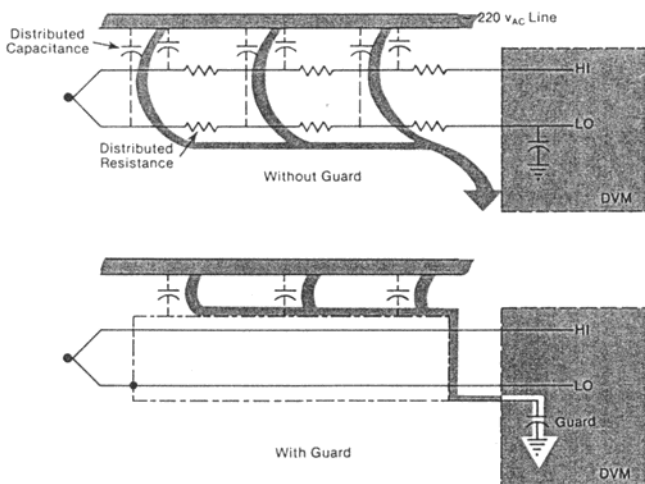
SENSIBILITÉ DU MOYEN DE MESURE

Pour les thermocouples de type K (Chromel/Alumel), le voltmètre doit être capable de mesurer 4 µV pour détecter une variation de 0,1 °C. Ces faibles amplitudes des signaux sont la porte ouverte aux parasites et bruits électriques.

Pour cette raison, les instruments de mesure doivent utiliser des techniques très poussées de réjection de bruit.

RÉJECTION DU BRUIT ET TECHNIQUES DE GARDE

La garde (Guard) des moyens de mesure et le blindage des lignes de thermocouples doivent être utilisés afin de minimiser les effets parasites dus aux bruits électriques.



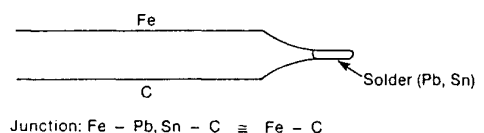
Les bruits sont induits sur les fils des thermocouples et faussent les mesures.

Les bruits sont captés par le blindage et évacués par la garde du voltmètre.

PRÉCAUTIONS DE CABLAGE

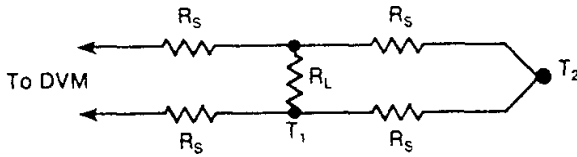
Il y a plusieurs manières de connecter les deux fils d'un thermocouple.

- Soudure à l'étain
- Soudure à l'argent
- Soudure électrique sans apport de métal
- Brasure
- Interpénétration des deux métaux par forte pression
- Interpénétration des deux métaux par choc



Dans le cas de soudure avec apport de métal, nous introduisons un troisième métal. Ceci n'a aucune importance tant que les deux jonctions sont à la même température (Voir loi empirique du troisième métal).

ISOLEMENT ENTRE LES DEUX FILS



Les fils composant un thermocouple n'ont pas une résistance ohmique nulle. Dans le cas de grande longueur et de résistance linéaire non négligeable, il est important de soigner l'isolement entre les deux fils.

La résistance série (R_s) peut devenir importante alors que la résistance d'isolement peut être faible. Dans ce cas, la jonction thermocouple se situera à R_L et V deviendra proportionnel à la température T_1 , pas à T_2 .

RÉSISTANCE DE LIGNE

Les fils constituant un thermocouple n'ont pas une résistance ohmique nulle. La table suivante donne les valeurs de résistance de ligne en Ω (ohm) par pied (double fil)¹ à 25°C en fonction du type de thermocouple et de la jauge (gauge) des fils.

| Jauge | | Type K | Type J | Type T | Type E | Type S | Type R | Type C | Type G | Type D |
|---------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------------|------------|------------|--------------|----------|--------------|
| AWG No. | Diamètre (inches) | Chromel/Alumel | Fer/Constantan | Cuivre/Constantan | Chromel/Constantan | Pt/Pt10%Rh | Pt/Pt13%Rh | W5%Re/W26%Re | W/W26%Re | W3%Re/W25%Re |
| 6 | 0.162 | 0.023 | 0.014 | 0.012 | 0.027 | 0.007 | 0.007 | 0.009 | 0.008 | 0.009 |
| 8 | 0.128 | 0.037 | 0.022 | 0.019 | 0.044 | 0.011 | 0.011 | 0.015 | 0.012 | 0.015 |
| 10 | 0.102 | 0.058 | 0.034 | 0.029 | 0.069 | 0.018 | 0.018 | 0.023 | 0.020 | 0.022 |
| 12 | 0.081 | 0.091 | 0.054 | 0.046 | 0.109 | 0.028 | 0.029 | 0.037 | 0.031 | 0.035 |
| 14 | 0.064 | 0.146 | 0.087 | 0.074 | 0.175 | 0.045 | 0.047 | 0.058 | 0.049 | 0.055 |
| 16 | 0.051 | 0.230 | 0.137 | 0.117 | 0.276 | 0.071 | 0.073 | 0.092 | 0.078 | 0.088 |
| 18 | 0.040 | 0.374 | 0.222 | 0.190 | 0.448 | 0.116 | 0.119 | 0.148 | 0.126 | 0.138 |
| 20 | 0.032 | 0.586 | 0.357 | 0.298 | 0.707 | 0.185 | 0.190 | 0.235 | 0.200 | 0.220 |
| 24 | 0.0201 | 1.490 | 0.878 | 0.7526 | 1.78 | 0.464 | 0.478 | 0.594 | 0.560 | 0.560 |
| 26 | 0.0159 | 2.381 | 1.405 | 1.204 | 2.836 | 0.740 | 0.760 | 0.945 | 0.803 | 0.890 |
| 30 | 0.0100 | 5.984 | 3.551 | 3.043 | 7.169 | 1.85 | 1.91 | 2.38 | 2.03 | 2.26 |
| 32 | 0.0080 | 9.524 | 5.599 | 4.758 | 11.31 | 1.96 | 3.04 | 3.8 | 3.22 | 3.60 |
| 34 | 0.0063 | 15.17 | 8.946 | 7.66 | 18.09 | 4.66 | 4.82 | 6.04 | 5.10 | 5.70 |
| 36 | 0.0050 | 24.08 | 14.20 | 12.17 | 28.76 | 7.40 | 7.64 | 9.6 | 8.16 | 9.10 |
| 38 | 0.0039 | 38.20 | 23.35 | 19.99 | 45.41 | 11.6 | 11.95 | 15.3 | 12.9 | 15.3 |
| 40 | 0.00315 | 60.88 | 37.01 | 31.64 | 73.57 | 18.6 | 19.3 | 24.4 | 20.6 | 23.0 |
| 44 | 0.0020 | 149.6 | 88.78 | 76.09 | 179.2 | 74.0 | 76.5 | 60.2 | 51.1 | 56.9 |
| 50 | 0.0010 | 598.4 | 355.1 | 304.3 | 716.9 | 185 | 191 | 240 | 204 | 227 |
| 56 | 0.00049 | 2408 | 1420 | 1217 | 2876 | 740 | 764 | 1000 | 850 | 945 |

Normalement, si la liaison entre les fils est correcte, la valeur ohmique de la résistance de ligne n'a aucune influence sur la mesure de la température.

Cependant, dans certains cas, il est nécessaire de connaître, en détail, le circuit électronique effectuant la mesure de la tension de thermocouple. En effet, certains circuits d'entrée sont conçus pour détecter des coupures ou des courts-circuits de ligne.

Dans ce dessein, une tension est injectée, par l'intermédiaire de résistances, sur les extrémités de la ligne et le circuit résultant se comporte alors comme un pont diviseur fonction de la résistance de ligne.

Les spécifications des constructeurs doivent donner les valeurs ohmiques des résistances de ligne des thermocouples.

¹ Cela signifie que la valeur comprend la résistance de la totalité de la ligne thermocouple et ne doit pas être multiplié par deux.

| Table des tensions de Thermocouple Type K (Chromel/Alumel) | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| Tension thermoélectrique en millivolts avec jonction de référence à 0°C | | | | | | | | | | | | |
| °C | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | °C |
| -270 | -6,458 | | | | | | | | | | | -270 |
| -260 | -6,441 | -6,444 | -6,446 | -6,448 | -6,450 | -6,452 | -6,453 | -6,455 | -6,456 | -6,457 | -6,458 | -260 |
| -250 | -6,404 | -6,408 | -6,413 | -6,417 | -6,421 | -6,425 | -6,429 | -6,432 | -6,435 | -6,438 | -6,441 | -250 |
| -240 | -6,344 | -6,351 | -6,358 | -6,364 | -6,371 | -6,377 | -6,382 | -6,388 | -6,394 | -6,399 | -6,404 | -240 |
| -230 | -6,262 | -6,271 | -6,280 | -6,289 | -6,297 | -6,306 | -6,314 | -6,322 | -6,329 | -6,337 | -6,344 | -230 |
| -220 | -6,158 | -6,170 | -6,181 | -6,192 | -6,202 | -6,213 | -6,223 | -6,233 | -6,243 | -6,253 | -6,262 | -220 |
| -210 | -6,035 | -6,048 | -6,061 | -6,074 | -6,087 | -6,099 | -6,111 | -6,123 | -6,135 | -6,147 | -6,158 | -210 |
| -200 | -5,891 | -5,907 | -5,922 | -5,936 | -5,951 | -5,965 | -5,980 | -5,994 | -6,007 | -6,021 | -6,035 | -200 |
| -190 | -5,730 | -5,747 | -5,763 | -5,780 | -5,796 | -5,813 | -5,829 | -5,845 | -5,860 | -5,876 | -5,891 | -190 |
| -180 | -5,550 | -5,569 | -5,587 | -5,606 | -5,624 | -5,642 | -5,660 | -5,678 | -5,695 | -5,712 | -5,730 | -180 |
| -170 | -5,354 | -5,374 | -5,394 | -5,414 | -5,434 | -5,454 | -5,474 | -5,493 | -5,512 | -5,531 | -5,550 | -170 |
| -160 | -5,141 | -5,163 | -5,185 | -5,207 | -5,228 | -5,249 | -5,271 | -5,292 | -5,313 | -5,333 | -5,354 | -160 |
| -150 | -4,912 | -4,936 | -4,959 | -4,983 | -5,006 | -5,029 | -5,051 | -5,074 | -5,097 | -5,119 | -5,141 | -150 |
| -140 | -4,669 | -4,694 | -4,719 | -4,743 | -4,768 | -4,792 | -4,817 | -4,841 | -4,865 | -4,889 | -4,912 | -140 |
| -130 | -4,410 | -4,437 | -4,463 | -4,489 | -4,515 | -4,541 | -4,567 | -4,593 | -4,618 | -4,644 | -4,669 | -130 |
| -120 | -4,138 | -4,166 | -4,193 | -4,221 | -4,248 | -4,276 | -4,303 | -4,330 | -4,357 | -4,384 | -4,410 | -120 |
| -110 | -3,852 | -3,881 | -3,910 | -3,939 | -3,968 | -3,997 | -4,025 | -4,053 | -4,082 | -4,110 | -4,138 | -110 |
| -100 | -3,553 | -3,584 | -3,614 | -3,644 | -3,674 | -3,704 | -3,734 | -3,764 | -3,793 | -3,823 | -3,852 | -100 |
| -90 | -3,242 | -3,274 | -3,305 | -3,337 | -3,368 | -3,399 | -3,430 | -3,461 | -3,492 | -3,523 | -3,553 | -90 |
| -80 | -2,920 | -2,953 | -2,985 | -3,018 | -3,050 | -3,082 | -3,115 | -3,147 | -3,179 | -3,211 | -3,242 | -80 |
| -70 | -2,586 | -2,620 | -2,654 | -2,687 | -2,721 | -2,754 | -2,788 | -2,821 | -2,854 | -2,887 | -2,920 | -70 |
| -60 | -2,243 | -2,277 | -2,312 | -2,347 | -2,381 | -2,416 | -2,450 | -2,484 | -2,518 | -2,552 | -2,586 | -60 |
| -50 | -1,889 | -1,925 | -1,961 | -1,996 | -2,032 | -2,067 | -2,102 | -2,137 | -2,173 | -2,208 | -2,243 | -50 |
| -40 | -1,527 | -1,563 | -1,600 | -1,636 | -1,673 | -1,709 | -1,745 | -1,781 | -1,817 | -1,853 | -1,889 | -40 |
| -30 | -1,156 | -1,193 | -1,231 | -1,268 | -1,305 | -1,342 | -1,379 | -1,416 | -1,453 | -1,490 | -1,527 | -30 |
| -20 | -0,777 | -0,816 | -0,854 | -0,892 | -0,930 | -0,968 | -1,005 | -1,043 | -1,081 | -1,118 | -1,156 | -20 |
| -10 | -0,392 | -0,431 | -0,469 | -0,508 | -0,547 | -0,585 | -0,624 | -0,662 | -0,701 | -0,739 | -0,777 | -10 |
| 0 | 0,000 | -0,039 | -0,079 | -0,118 | -0,157 | -0,197 | -0,236 | -0,275 | -0,314 | -0,353 | -0,392 | 0 |
| 0 | 0,000 | 0,039 | 0,079 | 0,119 | 0,158 | 0,199 | 0,238 | 0,277 | 0,317 | 0,357 | 0,397 | 0 |
| 10 | 0,397 | 0,437 | 0,477 | 0,517 | 0,557 | 0,597 | 0,637 | 0,677 | 0,718 | 0,758 | 0,798 | 10 |
| 20 | 0,798 | 0,838 | 0,879 | 0,919 | 0,960 | 1,000 | 1,041 | 1,081 | 1,122 | 1,162 | 1,203 | 20 |
| 30 | 1,203 | 1,244 | 1,285 | 1,325 | 1,366 | 1,407 | 1,448 | 1,489 | 1,529 | 1,570 | 1,611 | 30 |
| 40 | 1,611 | 1,652 | 1,693 | 1,734 | 1,776 | 1,817 | 1,858 | 1,899 | 1,940 | 1,981 | 2,022 | 40 |
| 50 | 2,022 | 2,064 | 2,105 | 2,146 | 2,188 | 2,229 | 2,270 | 2,312 | 2,353 | 2,394 | 2,436 | 50 |
| 60 | 2,436 | 2,477 | 2,519 | 2,560 | 2,601 | 2,643 | 2,684 | 2,726 | 2,767 | 2,809 | 2,850 | 60 |
| 70 | 2,850 | 2,892 | 2,933 | 2,975 | 3,016 | 3,058 | 3,100 | 3,141 | 3,183 | 3,224 | 3,266 | 70 |
| 80 | 3,266 | 3,307 | 3,349 | 3,390 | 3,432 | 3,473 | 3,515 | 3,556 | 3,598 | 3,639 | 3,681 | 80 |
| 90 | 3,681 | 3,722 | 3,764 | 3,805 | 3,847 | 3,888 | 3,930 | 3,971 | 4,012 | 4,054 | 4,095 | 90 |
| 100 | 4,095 | 4,137 | 4,178 | 4,219 | 4,261 | 4,302 | 4,343 | 4,384 | 4,426 | 4,467 | 4,508 | 100 |
| 110 | 4,508 | 4,549 | 4,590 | 4,632 | 4,673 | 4,714 | 4,755 | 4,796 | 4,837 | 4,878 | 4,919 | 110 |
| 120 | 4,919 | 4,960 | 5,001 | 5,042 | 5,083 | 5,124 | 5,164 | 5,205 | 5,246 | 5,287 | 5,327 | 120 |
| 130 | 5,327 | 5,368 | 5,409 | 5,450 | 5,490 | 5,531 | 5,571 | 5,612 | 5,652 | 5,693 | 5,733 | 130 |
| 140 | 5,733 | 5,774 | 5,814 | 5,855 | 5,895 | 5,936 | 5,976 | 6,016 | 6,057 | 6,097 | 6,137 | 140 |
| 150 | 6,137 | 6,177 | 6,218 | 6,258 | 6,298 | 6,338 | 6,378 | 6,419 | 6,459 | 6,499 | 6,539 | 150 |
| 160 | 6,539 | 6,579 | 6,619 | 6,659 | 6,699 | 6,739 | 6,779 | 6,819 | 6,859 | 6,899 | 6,939 | 160 |
| 170 | 6,939 | 6,979 | 7,019 | 7,059 | 7,099 | 7,139 | 7,179 | 7,219 | 7,259 | 7,299 | 7,338 | 170 |
| 180 | 7,338 | 7,378 | 7,418 | 7,458 | 7,498 | 7,538 | 7,578 | 7,618 | 7,658 | 7,697 | 7,737 | 180 |
| 190 | 7,737 | 7,777 | 7,817 | 7,857 | 7,897 | 7,937 | 7,977 | 8,017 | 8,057 | 8,097 | 8,137 | 190 |
| 200 | 8,137 | 8,177 | 8,216 | 8,256 | 8,296 | 8,336 | 8,376 | 8,416 | 8,456 | 8,497 | 8,537 | 200 |
| 210 | 8,537 | 8,577 | 8,617 | 8,657 | 8,697 | 8,737 | 8,777 | 8,817 | 8,857 | 8,898 | 8,938 | 210 |
| 220 | 8,938 | 8,978 | 9,018 | 9,058 | 9,099 | 9,139 | 9,179 | 9,220 | 9,260 | 9,300 | 9,341 | 220 |
| 230 | 9,341 | 9,381 | 9,421 | 9,462 | 9,502 | 9,543 | 9,583 | 9,624 | 9,664 | 9,705 | 9,745 | 230 |
| 240 | 9,745 | 9,786 | 9,826 | 9,867 | 9,907 | 9,948 | 9,989 | 10,029 | 10,070 | 10,111 | 10,151 | 240 |
| 250 | 10,151 | 10,192 | 10,233 | 10,274 | 10,315 | 10,355 | 10,396 | 10,437 | 10,478 | 10,519 | 10,560 | 250 |
| 260 | 10,560 | 10,600 | 10,641 | 10,682 | 10,723 | 10,764 | 10,805 | 10,846 | 10,887 | 10,928 | 10,969 | 260 |
| 270 | 10,969 | 11,010 | 11,051 | 11,093 | 11,134 | 11,175 | 11,216 | 11,257 | 11,298 | 11,339 | 11,381 | 270 |
| 280 | 11,381 | 11,422 | 11,463 | 11,504 | 11,546 | 11,587 | 11,628 | 11,669 | 11,711 | 11,752 | 11,793 | 280 |

| Table des tensions de Thermocouple Type K (Chromel/Alumel) | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| Tension thermoélectrique en millivolts avec jonction de référence à 0°C | | | | | | | | | | | | |
| °C | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | °C |
| 290 | 11,793 | 11,835 | 11,876 | 11,918 | 11,959 | 12,000 | 12,042 | 12,083 | 12,125 | 12,166 | 12,207 | 290 |
| 300 | 12,207 | 12,249 | 12,290 | 12,332 | 12,373 | 12,415 | 12,456 | 12,498 | 12,539 | 12,581 | 12,623 | 300 |
| 310 | 12,623 | 12,664 | 12,706 | 12,747 | 12,789 | 12,831 | 12,872 | 12,914 | 12,955 | 12,997 | 13,039 | 310 |
| 320 | 13,039 | 13,080 | 13,122 | 13,164 | 13,205 | 13,247 | 13,289 | 13,331 | 13,372 | 13,414 | 13,456 | 320 |
| 330 | 13,456 | 13,497 | 13,539 | 13,581 | 13,623 | 13,665 | 13,706 | 13,748 | 13,790 | 13,832 | 13,874 | 330 |
| 340 | 13,874 | 13,915 | 13,957 | 13,999 | 14,041 | 14,083 | 14,125 | 14,167 | 14,208 | 14,250 | 14,292 | 340 |
| 350 | 14,292 | 14,334 | 14,376 | 14,418 | 14,460 | 14,502 | 14,544 | 14,586 | 14,628 | 14,670 | 14,712 | 350 |
| 360 | 14,712 | 14,754 | 14,796 | 14,838 | 14,880 | 14,922 | 14,964 | 15,006 | 15,048 | 15,090 | 15,132 | 360 |
| 370 | 15,132 | 15,174 | 15,216 | 15,258 | 15,300 | 15,342 | 15,384 | 15,426 | 15,468 | 15,510 | 15,552 | 370 |
| 380 | 15,552 | 15,594 | 15,636 | 15,679 | 15,721 | 15,763 | 15,805 | 15,847 | 15,889 | 15,931 | 15,974 | 380 |
| 390 | 15,974 | 16,016 | 16,058 | 16,100 | 16,142 | 16,184 | 16,227 | 16,269 | 16,311 | 16,353 | 16,395 | 390 |
| 400 | 16,395 | 16,438 | 16,480 | 16,522 | 16,564 | 16,607 | 16,649 | 16,691 | 16,733 | 16,776 | 16,818 | 400 |
| 410 | 16,818 | 16,860 | 16,902 | 16,945 | 16,987 | 17,029 | 17,072 | 17,114 | 17,156 | 17,199 | 17,241 | 410 |
| 420 | 17,241 | 17,283 | 17,326 | 17,368 | 17,410 | 17,453 | 17,495 | 17,537 | 17,580 | 17,622 | 17,664 | 420 |
| 430 | 17,664 | 17,707 | 17,749 | 17,792 | 17,834 | 17,876 | 17,919 | 17,961 | 18,004 | 18,046 | 18,088 | 430 |
| 440 | 18,088 | 18,131 | 18,173 | 18,216 | 18,258 | 18,301 | 18,343 | 18,385 | 18,428 | 18,470 | 18,513 | 440 |
| 450 | 18,513 | 18,555 | 18,598 | 18,640 | 18,683 | 18,725 | 18,768 | 18,810 | 18,853 | 18,895 | 18,938 | 450 |
| 460 | 18,938 | 18,980 | 19,023 | 19,065 | 19,108 | 19,150 | 19,193 | 19,235 | 19,278 | 19,320 | 19,363 | 460 |
| 470 | 19,363 | 19,405 | 19,448 | 19,490 | 19,533 | 19,576 | 19,618 | 19,661 | 19,703 | 19,746 | 19,788 | 470 |
| 480 | 19,788 | 19,831 | 19,873 | 19,916 | 19,959 | 20,001 | 20,044 | 20,086 | 20,129 | 20,172 | 20,214 | 480 |
| 490 | 20,214 | 20,257 | 20,299 | 20,342 | 20,385 | 20,427 | 20,470 | 20,512 | 20,555 | 20,598 | 20,640 | 490 |
| 500 | 20,640 | 20,683 | 20,725 | 20,768 | 20,811 | 20,853 | 20,896 | 20,938 | 20,981 | 21,024 | 21,066 | 500 |
| 510 | 21,066 | 21,109 | 21,152 | 21,194 | 21,237 | 21,280 | 21,322 | 21,365 | 21,407 | 21,450 | 21,493 | 510 |
| 520 | 21,493 | 21,535 | 21,578 | 21,621 | 21,663 | 21,706 | 21,749 | 21,791 | 21,834 | 21,876 | 21,919 | 520 |
| 530 | 21,919 | 21,962 | 22,004 | 22,047 | 22,090 | 22,132 | 22,175 | 22,218 | 22,260 | 22,303 | 22,346 | 530 |
| 540 | 22,346 | 22,388 | 22,431 | 22,473 | 22,516 | 22,559 | 22,601 | 22,644 | 22,687 | 22,729 | 22,772 | 540 |
| 550 | 22,772 | 22,815 | 22,857 | 22,900 | 22,942 | 22,985 | 23,028 | 23,070 | 23,113 | 23,156 | 23,198 | 550 |
| 560 | 23,198 | 23,241 | 23,284 | 23,326 | 23,369 | 23,411 | 23,454 | 23,497 | 23,539 | 23,582 | 23,624 | 560 |
| 570 | 23,624 | 23,667 | 23,710 | 23,752 | 23,795 | 23,837 | 23,880 | 23,923 | 23,965 | 24,008 | 24,050 | 570 |
| 580 | 24,050 | 24,093 | 24,136 | 24,178 | 24,221 | 24,263 | 24,306 | 24,348 | 24,391 | 24,434 | 24,476 | 580 |
| 590 | 24,476 | 24,519 | 24,561 | 24,604 | 24,646 | 24,689 | 24,731 | 24,774 | 24,817 | 24,859 | 24,902 | 590 |
| 600 | 24,902 | 24,944 | 24,987 | 25,029 | 25,072 | 25,114 | 25,157 | 25,199 | 25,242 | 25,284 | 25,327 | 600 |
| 610 | 25,327 | 25,369 | 25,412 | 25,454 | 25,497 | 25,539 | 25,582 | 25,624 | 25,666 | 25,709 | 25,751 | 610 |
| 620 | 25,751 | 25,794 | 25,836 | 25,879 | 25,921 | 25,964 | 26,006 | 26,048 | 26,091 | 26,133 | 26,176 | 620 |
| 630 | 26,176 | 26,218 | 26,260 | 26,303 | 26,345 | 26,387 | 26,430 | 26,472 | 26,515 | 26,557 | 26,599 | 630 |
| 640 | 26,599 | 26,642 | 26,684 | 26,726 | 26,769 | 26,811 | 26,853 | 26,896 | 26,938 | 26,980 | 27,022 | 640 |
| 650 | 27,022 | 27,065 | 27,107 | 27,149 | 27,192 | 27,234 | 27,276 | 27,318 | 27,361 | 27,403 | 27,445 | 650 |
| 660 | 27,445 | 27,487 | 27,529 | 27,572 | 27,614 | 27,656 | 27,698 | 27,740 | 27,783 | 27,825 | 27,867 | 660 |
| 670 | 27,867 | 27,909 | 27,951 | 27,993 | 28,035 | 28,078 | 28,120 | 28,162 | 28,204 | 28,246 | 28,288 | 670 |
| 680 | 28,288 | 28,330 | 28,372 | 28,414 | 28,456 | 28,498 | 28,540 | 28,583 | 28,625 | 28,667 | 28,709 | 680 |
| 690 | 28,709 | 28,751 | 28,793 | 28,835 | 28,877 | 28,919 | 28,961 | 29,002 | 29,044 | 29,086 | 29,128 | 690 |
| 700 | 29,128 | 29,170 | 29,212 | 29,254 | 29,296 | 29,338 | 29,380 | 29,422 | 29,464 | 29,505 | 29,547 | 700 |
| 710 | 29,547 | 29,589 | 29,631 | 29,673 | 29,715 | 29,756 | 29,798 | 29,840 | 29,882 | 29,924 | 29,965 | 710 |
| 720 | 29,965 | 30,007 | 30,049 | 30,091 | 30,132 | 30,174 | 30,216 | 30,257 | 30,299 | 30,341 | 30,383 | 720 |
| 730 | 30,383 | 30,424 | 30,466 | 30,508 | 30,549 | 30,591 | 30,632 | 30,674 | 30,716 | 30,757 | 30,799 | 730 |
| 740 | 30,799 | 30,840 | 30,882 | 30,924 | 30,965 | 31,007 | 31,048 | 31,090 | 31,131 | 31,173 | 31,214 | 740 |
| 750 | 31,214 | 31,256 | 31,297 | 31,339 | 31,380 | 31,422 | 31,463 | 31,504 | 31,546 | 31,587 | 31,629 | 750 |
| 760 | 31,629 | 31,670 | 31,712 | 31,753 | 31,794 | 31,836 | 31,877 | 31,918 | 31,960 | 32,001 | 32,042 | 760 |
| 770 | 32,042 | 32,084 | 32,125 | 32,166 | 32,207 | 32,249 | 32,290 | 32,331 | 32,372 | 32,414 | 32,455 | 770 |
| 780 | 32,455 | 32,496 | 32,537 | 32,578 | 32,619 | 32,661 | 32,702 | 32,743 | 32,784 | 32,825 | 32,866 | 780 |
| 790 | 32,866 | 32,907 | 32,948 | 32,990 | 33,031 | 33,072 | 33,113 | 33,154 | 33,195 | 33,236 | 33,277 | 790 |
| 800 | 33,277 | 33,318 | 33,359 | 33,400 | 33,441 | 33,482 | 33,523 | 33,564 | 33,604 | 33,645 | 33,686 | 800 |
| 810 | 33,686 | 33,727 | 33,768 | 33,809 | 33,850 | 33,891 | 33,931 | 33,972 | 34,013 | 34,054 | 34,095 | 810 |
| 820 | 34,095 | 34,136 | 34,176 | 34,217 | 34,258 | 34,299 | 34,339 | 34,380 | 34,421 | 34,461 | 34,502 | 820 |
| 830 | 34,502 | 34,543 | 34,583 | 34,624 | 34,665 | 34,705 | 34,746 | 34,787 | 34,827 | 34,868 | 34,909 | 830 |
| 840 | 34,909 | 34,949 | 34,990 | 35,030 | 35,071 | 35,111 | 35,152 | 35,192 | 35,233 | 35,273 | 35,314 | 840 |

| Table des tensions de Thermocouple Type K (Chromel/Alumel) | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| Tension thermoélectrique en millivolts avec jonction de référence à 0°C | | | | | | | | | | | | |
| °C | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | °C |
| 850 | 35,314 | 35,354 | 35,395 | 35,435 | 35,476 | 35,516 | 35,557 | 35,597 | 35,637 | 35,678 | 35,718 | 850 |
| 860 | 35,718 | 35,758 | 35,799 | 35,839 | 35,880 | 35,920 | 35,960 | 36,000 | 36,041 | 36,081 | 36,121 | 860 |
| 870 | 36,121 | 36,162 | 36,202 | 36,242 | 36,282 | 36,323 | 36,363 | 36,403 | 36,443 | 36,483 | 36,524 | 870 |
| 880 | 36,524 | 36,564 | 36,604 | 36,644 | 36,684 | 36,724 | 36,764 | 36,804 | 36,844 | 36,885 | 36,925 | 880 |
| 890 | 36,925 | 36,965 | 37,005 | 37,045 | 37,085 | 37,125 | 37,165 | 37,205 | 37,245 | 37,285 | 37,325 | 890 |
| 900 | 37,325 | 37,365 | 37,405 | 37,445 | 37,484 | 37,524 | 37,564 | 37,604 | 37,644 | 37,684 | 37,724 | 900 |
| 910 | 37,724 | 37,764 | 37,803 | 37,843 | 37,883 | 37,923 | 37,963 | 38,002 | 38,042 | 38,082 | 38,122 | 910 |
| 920 | 38,122 | 38,162 | 38,201 | 38,241 | 38,281 | 38,320 | 38,360 | 38,400 | 38,439 | 38,479 | 38,519 | 920 |
| 930 | 38,519 | 38,558 | 38,598 | 38,638 | 38,677 | 38,717 | 38,756 | 38,796 | 38,836 | 38,875 | 38,915 | 930 |
| 940 | 38,915 | 38,954 | 38,994 | 39,033 | 39,073 | 39,112 | 39,152 | 39,191 | 39,231 | 39,270 | 39,310 | 940 |
| 950 | 39,310 | 39,349 | 39,388 | 39,428 | 39,467 | 39,507 | 39,546 | 39,585 | 39,627 | 39,664 | 39,703 | 950 |
| 960 | 39,703 | 39,743 | 39,782 | 39,821 | 39,861 | 39,900 | 39,939 | 39,979 | 40,018 | 40,057 | 40,096 | 960 |
| 970 | 40,096 | 40,136 | 40,175 | 40,214 | 40,253 | 40,292 | 40,332 | 40,371 | 40,410 | 40,449 | 40,488 | 970 |
| 980 | 40,488 | 40,527 | 40,566 | 40,605 | 40,645 | 40,684 | 40,723 | 40,762 | 40,801 | 40,840 | 40,879 | 980 |
| 990 | 40,879 | 40,918 | 40,957 | 40,996 | 41,035 | 41,074 | 41,113 | 41,152 | 41,191 | 41,230 | 41,269 | 990 |
| 1000 | 41,269 | 41,308 | 41,347 | 41,385 | 41,424 | 41,463 | 41,502 | 41,541 | 41,580 | 41,619 | 41,657 | 1000 |
| 1010 | 41,657 | 41,696 | 41,739 | 41,774 | 41,813 | 41,851 | 41,890 | 41,929 | 41,968 | 42,006 | 42,045 | 1010 |
| 1020 | 42,045 | 42,084 | 42,123 | 42,161 | 42,200 | 42,239 | 42,277 | 42,316 | 42,355 | 42,393 | 42,432 | 1020 |
| 1030 | 42,432 | 42,470 | 42,509 | 42,548 | 42,586 | 42,625 | 42,663 | 42,702 | 42,740 | 42,779 | 42,817 | 1030 |
| 1040 | 42,817 | 42,856 | 42,894 | 42,933 | 42,971 | 43,010 | 43,048 | 43,087 | 43,125 | 43,164 | 43,202 | 1040 |
| 1050 | 43,202 | 43,240 | 43,279 | 43,317 | 43,356 | 43,394 | 43,432 | 43,471 | 43,509 | 43,547 | 43,585 | 1050 |
| 1060 | 43,585 | 43,624 | 43,662 | 43,700 | 43,739 | 43,777 | 43,815 | 43,853 | 43,891 | 43,930 | 43,968 | 1060 |
| 1070 | 43,968 | 44,006 | 44,044 | 44,082 | 44,121 | 44,159 | 44,197 | 44,235 | 44,273 | 44,311 | 44,349 | 1070 |
| 1080 | 44,349 | 44,387 | 44,425 | 44,463 | 44,501 | 44,539 | 44,577 | 44,615 | 44,653 | 44,691 | 44,729 | 1080 |
| 1090 | 44,729 | 44,767 | 44,805 | 44,843 | 44,881 | 44,919 | 44,957 | 44,995 | 45,033 | 45,070 | 45,108 | 1090 |
| 1100 | 45,108 | 45,146 | 45,184 | 45,222 | 45,260 | 45,297 | 45,335 | 45,373 | 45,411 | 45,448 | 45,486 | 1100 |
| 1110 | 45,486 | 45,524 | 45,561 | 45,599 | 45,637 | 45,675 | 45,712 | 45,750 | 45,787 | 45,825 | 45,863 | 1110 |
| 1120 | 45,863 | 45,900 | 45,938 | 45,975 | 46,013 | 46,051 | 46,088 | 46,126 | 46,163 | 46,201 | 46,238 | 1120 |
| 1130 | 46,238 | 46,275 | 46,313 | 46,350 | 46,388 | 46,425 | 46,463 | 46,500 | 46,537 | 46,575 | 46,612 | 1130 |
| 1140 | 46,612 | 46,649 | 46,687 | 46,724 | 46,761 | 46,799 | 46,836 | 46,873 | 46,910 | 46,948 | 46,985 | 1140 |
| 1150 | 46,985 | 47,022 | 47,059 | 47,096 | 47,134 | 47,171 | 47,208 | 47,245 | 47,282 | 47,319 | 47,356 | 1150 |
| 1160 | 47,356 | 47,393 | 47,430 | 47,468 | 47,505 | 47,542 | 47,579 | 47,616 | 47,653 | 47,689 | 47,726 | 1160 |
| 1170 | 47,726 | 47,763 | 47,800 | 47,837 | 47,874 | 47,911 | 47,948 | 47,985 | 48,021 | 48,058 | 48,095 | 1170 |
| 1180 | 48,095 | 48,132 | 48,169 | 48,205 | 48,242 | 48,279 | 48,316 | 48,352 | 48,389 | 48,426 | 48,462 | 1180 |
| 1190 | 48,462 | 48,499 | 48,536 | 48,572 | 48,609 | 48,645 | 48,682 | 48,718 | 48,755 | 48,792 | 48,828 | 1190 |
| 1200 | 48,828 | 48,865 | 48,901 | 48,937 | 48,974 | 49,010 | 49,047 | 49,083 | 49,120 | 49,156 | 49,192 | 1200 |
| 1210 | 49,192 | 49,229 | 49,265 | 49,301 | 49,338 | 49,374 | 49,410 | 49,446 | 49,483 | 49,519 | 49,555 | 1210 |
| 1220 | 49,555 | 49,591 | 49,627 | 49,663 | 49,700 | 49,736 | 49,772 | 49,808 | 49,844 | 49,880 | 49,916 | 1220 |
| 1230 | 49,916 | 49,952 | 49,988 | 50,024 | 50,060 | 50,096 | 50,132 | 50,168 | 50,204 | 50,240 | 50,276 | 1230 |
| 1240 | 50,276 | 50,311 | 50,347 | 50,383 | 50,419 | 50,455 | 50,491 | 50,526 | 50,562 | 50,598 | 50,633 | 1240 |
| 1250 | 50,633 | 50,669 | 50,705 | 50,741 | 50,776 | 50,812 | 50,847 | 50,883 | 50,919 | 50,954 | 50,990 | 1250 |
| 1260 | 50,990 | 51,025 | 51,061 | 51,096 | 51,132 | 51,167 | 51,203 | 51,238 | 51,274 | 51,309 | 51,344 | 1260 |
| 1270 | 51,344 | 51,380 | 51,415 | 51,450 | 51,486 | 51,521 | 51,556 | 51,592 | 51,627 | 51,662 | 51,697 | 1270 |
| 1280 | 51,697 | 51,733 | 51,768 | 51,803 | 51,838 | 51,873 | 51,908 | 51,943 | 51,979 | 52,014 | 52,049 | 1280 |
| 1290 | 52,049 | 52,084 | 52,119 | 52,154 | 52,189 | 52,224 | 52,259 | 52,294 | 52,329 | 52,364 | 52,398 | 1290 |
| 1300 | 52,398 | 52,433 | 52,468 | 52,503 | 52,538 | 52,573 | 52,608 | 52,642 | 52,677 | 52,712 | 52,747 | 1300 |
| 1310 | 52,747 | 52,781 | 52,816 | 52,851 | 52,886 | 52,920 | 52,955 | 52,989 | 53,024 | 53,059 | 53,093 | 1310 |
| 1320 | 53,093 | 53,128 | 53,162 | 53,197 | 53,232 | 53,266 | 53,301 | 53,335 | 53,370 | 53,404 | 53,439 | 1320 |
| 1330 | 53,439 | 53,473 | 53,507 | 53,542 | 53,576 | 53,611 | 53,645 | 53,679 | 53,714 | 53,748 | 53,782 | 1330 |
| 1340 | 53,782 | 53,817 | 53,851 | 53,885 | 53,920 | 53,954 | 53,988 | 54,022 | 54,057 | 54,091 | 54,125 | 1340 |
| 1350 | 54,125 | 54,159 | 54,193 | 54,228 | 54,262 | 54,296 | 54,330 | 54,364 | 54,398 | 54,432 | 54,466 | 1350 |
| 1360 | 54,466 | 54,501 | 54,535 | 54,569 | 54,603 | 54,637 | 54,671 | 54,705 | 54,739 | 54,773 | 54,807 | 1360 |
| 1370 | 54,807 | 54,841 | 54,875 | | | | | | | | | 1370 |

ⁱ Physicien français, Jean Charles Athanase Peltier est né à Ham (Somme) le 22 février 1785 et mort à Paris le 27 octobre 1845. Après avoir abandonné sa profession d'horloger à l'âge de trente ans, il se consacra à la recherche en physique; il est connu pour sa découverte en 1834 de l'effet Peltier: lorsqu'un courant électrique passe à une jonction connectant deux conducteurs, on observe une augmentation ou une baisse de température selon le sens du courant, la quantité de chaleur dégagée ou absorbée étant proportionnelle à l'intensité du courant. C'est, en quelque sorte, l'inverse de l'effet Seebeck. Le passage d'un courant peut donc absorber de la chaleur; on utilise cet effet dans certains petits réfrigérateurs ou pour le refroidissement de circuits électriques.

ⁱⁱ Thomas Johann Seebeck (1770-1831) est le premier à avoir mis en évidence les effets thermoélectriques (production de courants) qui se manifestent dans un circuit constitué de deux métaux dont les deux soudures se trouvent à des températures différentes.