

## Mesure de température par thermistances

*Ce document décrit l'utilisation des thermistances NTC & PTC (y compris platine) pour la mesure en température.*

*This document describes the use of NTC & PTC (platinum-type RTDs included) resistors for temperature measurements.*

Thomas Maeder, 3.9.2015

**Mots-clefs** : résistances / thermistances, CTP, CTN, platine, mesure de température  
*resistors / thermistors, PTC, NTC, RTD, platinum, temperature measurement*

### **Table des matières**

1. INTRODUCTION.....	2
2. THERMISTANCES PTC DE TYPE PLATINE (& NICKEL).....	3
3. THERMISTANCES PTC DE TYPE COUCHES EPAISSES.....	5
4. THERMISTANCES NTC (DISCRETES OU EN COUCHES EPAISSES) .....	6
5. MESURE ET COMPARAISON DES SONDES DE TEMPERATURE .....	8
6. REFERENCES.....	9
7. VERSIONS .....	9
8. ANNEXES .....	10

# 1. Introduction

Différents composants peuvent être utilisés pour mesurer la température [1][2]. Parmi les plus simples :

- **Thermocouples** – tension par effet thermoélectrique, entre deux matériaux différents à travers une différence de température.
- **Thermistances<sup>1</sup> PTC de mesure<sup>2</sup>**
  - PTC : *positive temperature coefficient* – CTP – coefficient en température positif.
  - Les PTC les plus courantes sont les éléments à base de platine (Pt100, Pt500, Pt1000, ...), qui offrent une bonne précision absolue et une bonne stabilité en température ( $\geq 500^{\circ}\text{C}$  possibles). Alternativement au platine, des PTC métalliques au nickel ont une meilleure sensibilité, sont moins chères, mais utilisables sur une plage de température plus réduite [3].
  - Des PTC sérigraphiables en couches épaisses sont également disponibles, pour la mesure et la compensation en température de circuits. Elles sont très linéaires, et montrent une stabilité en température jusqu'à  $400^{\circ}\text{C}$  environ [4].
- **Thermistances<sup>1</sup> NTC de mesure<sup>3</sup>**
  - NTC : *negative temperature coefficient*, CTN – coefficient en température négatif.
  - Les résistances NTC sont normalement réalisées à partir d'oxydes céramiques [5], et sont disponibles essentiellement dans les mêmes formats que les résistances ordinaires, p.ex. [6].
  - Comme pour les PTC, des compositions en couches épaisses sont également disponibles, mais légèrement moins courantes que les PTC.

On trouve souvent les thermistances de mesure sous diverses autres appellations :

- Sonde (de température) résistive
- Thermomètre résistif
- Thermomètre à résistance<sup>4</sup>
- Pour les thermistances platine :
  - Thermomètre à résistance de platine<sup>5</sup>
  - Sonde résistive au platine
- RTD<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup> Thermistance = résistance variant nominale en fonction de la température (quelle que soit la dépendance, dans la mesure où elle est voulue).

<sup>2</sup> Il y a en fait deux types de PTC ; un à peu près linéaire, utilisé pour la mesure et dont il est question ici, et un montrant une augmentation abrupte de la résistance à une certaine température, utilisé pour la protection contre les surchauffes ; on peut les séparer par leur fonction, "PTC de mesure" vs. "PTC de protection".

<sup>3</sup> Comme les PTC, les NTC peuvent être séparées en NTC de mesure et de protection ; ces dernières servent à limiter les pointes de courant lors de l'enclenchement de circuits (p.ex. démarrage de moteurs, charge de condensateurs), et ont une caractéristique grosso modo semblable, mais moins précise, que celle de mesure.

<sup>4</sup> EN : *resistance thermometer* ; DE : *Widerstandsthermometer*.

<sup>5</sup> On les trouve aussi sous la dénomination "*Platinum RTD*", ou "*PRT*" (*Platinum resistive thermometer*).

<sup>6</sup> RTD = *resistive temperature detector* – détecteur de température résistif.

## 2. Thermistances PTC de type platine (& nickel)

Les résistances de type platine ont l'avantage d'une très bonne reproductibilité (donnée essentiellement par la pureté du Pt utilisé et l'absence de contraintes) et une bonne précision absolue. Elles sont "presque" linéaires entre 0 et 100°C. D'autres thermistances métalliques similaires sont disponibles, p.ex. au nickel, qui présente une meilleure sensibilité et un prix nettement inférieur, mais une plage de température d'utilisation plus réduite.

### Ajustement quadratique standard

Les tables ITS-90 / DIN 60751 données en annexe en fin de ce document (chapitre 6) [7] donnent la résistance standard  $R$  d'une thermistance en platine en fonction de la température  $T$ , pour une résistance nominale  $R_0 = 100.00 \Omega$  à la température de référence  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ .

Cette dépendance en température des résistances en Pt peut être approximée par la relation:

$$R = R_0 \cdot (1 + A \cdot \Delta T + B \cdot \Delta T^2), \text{ où : } \Delta T = T - T_0 \quad (1)$$

$A$  et  $B$  sont les paramètres de l'ajustement quadratique. Noter que l'écriture de (1) proposée ici est équivalente, mais nettement plus rigoureuse que celle où  $T$ ,  $A$  et  $B$  sont exprimés en  $^\circ\text{C}$ ,  $^\circ\text{C}^{-1}$  et  $^\circ\text{C}^{-2}$  ! De plus, elle est indépendante du choix d'unité pour  $T$  (ici,  $^\circ\text{C}$  et K sont les deux possibles, car les différences de température sont identiques pour les deux échelles) et permet d'autres températures de référence (en ajustant les coefficients en conséquence).

- Pour le Pt,  $A = +3.9083 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  et  $B = -5.775 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$  [1].
- Pour le Ni (voir aussi chapitre 6), l'ajustement "standard" a plus de coefficients, mais on peut l'approximer par  $A \approx +5.44 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  et  $B \approx +7.44 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$ , pour une erreur de  $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$  en dessous de  $150^\circ\text{C}$ .

Inversement (toujours de manière rigoureuse), on peut obtenir  $T$  à partir de la mesure de  $R$  :

$$T = T_0 + \frac{\sqrt{A^2 + 4B \cdot r - A}}{2B}, \text{ où : } r = \frac{R}{R_0} - 1 \quad (2)$$



Si, pour quasiment toutes les autres thermistances, la température de référence standard est  $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$ , les thermistances de type platine sont données par rapport à  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ ...

### Erreurs de l'ajustement standard

De la Figure 1, on voit que cet ajustement est valable sur la plage de température allant de 0 à  $850^\circ\text{C}$ , avec une erreur inférieure à 0.02 K. En revanche, la validité à basse température est limitée à env.  $-50^\circ\text{C}$ . En dessous, l'erreur de l'ajustement devient fortement négative, mais reste limitée à -0.2 K en dessous de  $-100^\circ\text{C}$ , -0.9 K en dessous de  $-150^\circ\text{C}$  et finit à -2.4 K à  $-200^\circ\text{C}$ . Pour toutes choses pratiques, on peut donc utiliser l'ajustement standard dans tous les cas où l'on ne doit pas descendre très nettement en dessous de  $-100^\circ\text{C}$  avec de grandes exigences de précision.

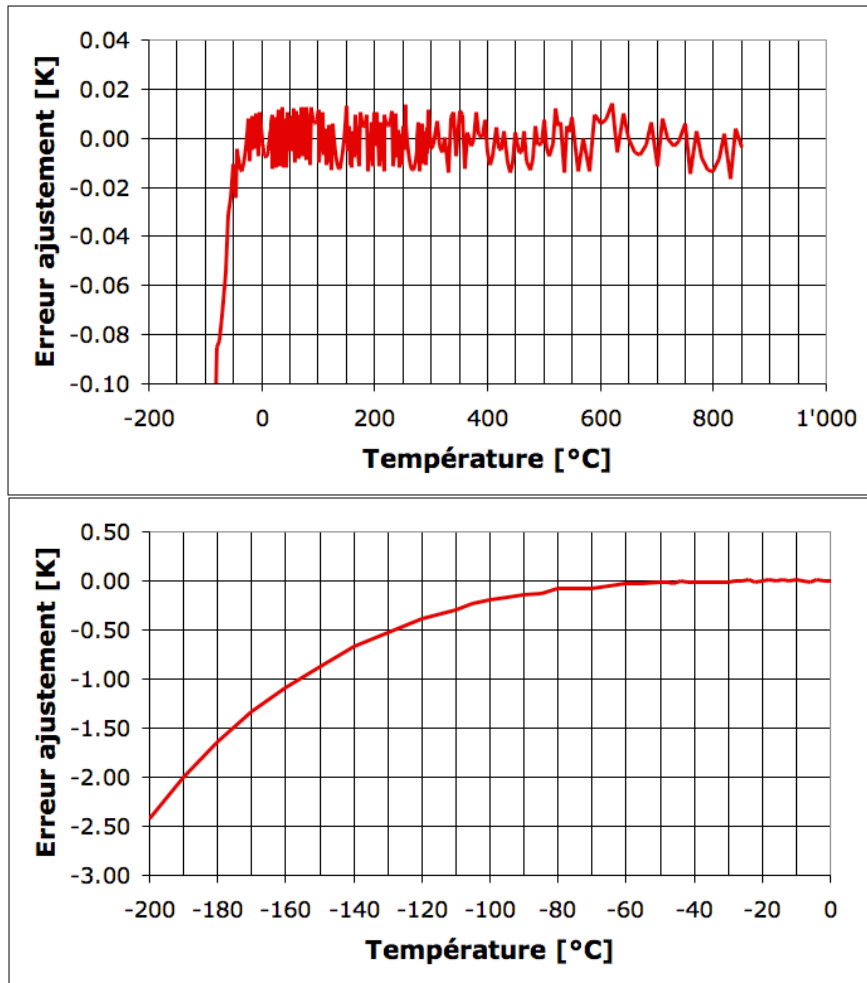


Figure 1. Erreur de l'ajustement standard en fonction de la température.

### Compensation des basses températures

Pour résoudre le problème des basses températures, l'ajustement standard comporte, pour  $T < 0^\circ\text{C}$ , un terme additionnel :

$$R = R_0 \cdot [1 + A \cdot \Delta T + B \cdot \Delta T^2 + C \cdot (T - 100^\circ\text{C}) \cdot \Delta T^3] \quad (3)$$

La valeur du coefficient correspondant est  $C = -4.183 \cdot 10^{-12} \text{ }^\circ\text{C}^{-4}$ . Cependant, cette technique rend malaisée la conversion de la résistance mesurée en température. On obtient cependant de bons résultats en corrigeant directement  $r = R / R_0 - 1$  pour obtenir  $r'$ , qu'on utilise ensuite dans la relation (2).

$$r' = r \quad (\text{si } R \geq R_{min}) \quad (4)$$

$$r' = r \cdot \left[ 1 - \left( \frac{R_{min} - R}{R_{base}} \right)^3 \right] \quad (\text{si } R \leq R_{min})$$

Avec  $R_{min} = 113 \text{ } \Omega$  et  $R_{base} = 408 \text{ } \Omega$ , on obtient un excellent ajustement, comme le montre la Figure 2 : l'erreur est inférieure à  $\pm 0.02 \text{ K}$  sur toute la plage de température allant de  $-200$  à  $+850^\circ\text{C}$  !

## Notes additionnelles

- On pourrait se demander pourquoi on n'écrit pas directement un développement polynomial pour  $T$  en fonction de  $r$ . La raison est que cette méthode ne marche pas aussi bien ; même avec un développement d'ordre 4, on obtient un ajustement légèrement plus mauvais que (2) pour un ajustement sur toute la gamme de température. Cependant, cette méthode est possible si on applique un ajustement différent pour  $T < 0^\circ\text{C}$  [8].
- Il faut compter avec une certaine dégradation de la thermistance et donc de sa précision si on utilise des éléments Pt en couches sur céramique en dessous d'env.  $-70^\circ\text{C}$ .
- Une manière simple d'écrire (4) sans conditions, appropriée pour l'utilisation dans un tableur, est donnée par la relation (4bis). On peut également combiner (2) et (4bis) pour calculer directement  $T$  à partir de  $R$ , ce qui donne la relation (5) :

$$r' = r \cdot \left[ 1 - \max\left(\frac{R_{min} - R}{R_{base}}; 0\right)^3 \right] \quad (4bis)$$

$$T = T_0 + \frac{\sqrt{A^2 + 4B \cdot \left(\frac{R}{R_0} - 1\right) \cdot \left[ 1 - \max\left(\frac{R_{min} - R}{R_{base}}; 0\right)^3 \right]} - A}{2B} \quad (5)$$

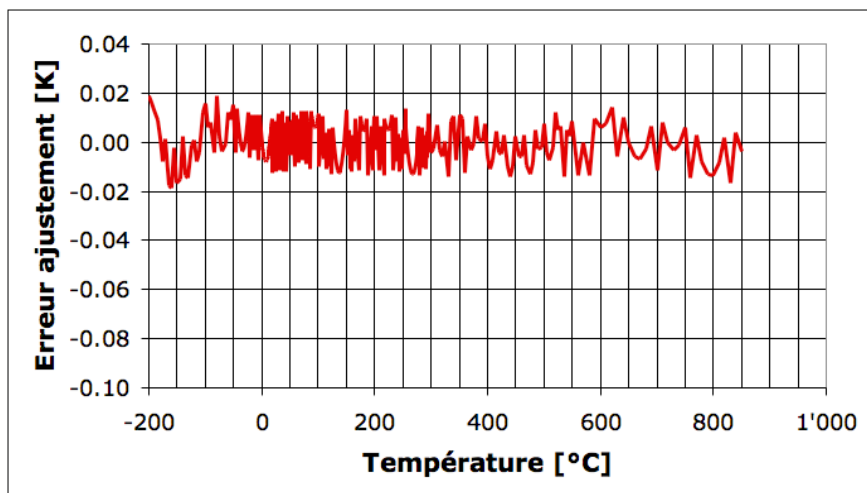


Figure 2. Erreur avec compensation de  $r$  à basses températures.

## 3. Thermistances PTC de type couches épaisses

Ces résistances sont en principe très linéaires. Dans la plupart des cas, on peut se contenter des relations (6) et (7) pour décrire la dépendance de la résistance de la PTC,  $R_{PTC}$ , en fonction de la température  $T$ , ou pour calculer la température à partir de la valeur mesurée de la résistance.

$$R_{PTC} = R_{PTC_{ref}} \cdot [1 + TCR_{PTC} \cdot \Delta T], \text{ où } \Delta T = T - T_{ref} \quad (6)$$

$$T = T_{ref} + \frac{r}{TCR_{PTC}}, \text{ où } r = \frac{R_{PTC}}{R_{PTC_{ref}}} - 1 \quad (7)$$

Les deux paramètres de la résistance sont sa valeur à la température de référence  $R_{PTC,ref}$ , et son coefficient en température<sup>7</sup>  $TCR_{PTC}$ . Contrairement au cas du Pt, la température de référence  $T_{ref}$  est normalement 25°C. Au cas un ajustement quadratique serait nécessaire, se reporter à la partie précédente (2).

Les valeurs de  $TCR_{PTC}$  vont typiquement de 2'000 à 4'000 ppm/K environ, suivant la valeur de la résistance<sup>8</sup>, les basses valeurs de résistance tendant à donner les plus hautes valeurs de  $TCR$ .

#### 4. Thermistances NTC (discrètes ou en couches épaisses)

La dépendance en température d'une résistance NTC, contrairement à celle d'une PTC, n'est pas linéaire ; elle peut être bien approximée par la relation (8) de Steinhart-Hart [2], qui permet d'obtenir la température  $T$  à partir de la valeur  $R$  de la résistance, les coefficients  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  étant des paramètres spécifiques à celle-ci.

$$\frac{1}{T} = a + b \cdot \ln R_{NTC} + c \cdot (\ln R_{NTC})^2 + d \cdot (\ln R_{NTC})^3 \quad (8)$$

Cette forme n'est pas très rigoureuse, notamment vis-à-vis des unités (coefficients ;  $\ln R$  !), et la valeur "normale" (à température ambiante) de la résistance n'est pas évidente. La forme adaptée (9), plus rigoureuse et plus claire, est préférable :

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{ref}} + \frac{1}{B} \cdot r + \frac{1}{C} \cdot r^2 + \frac{1}{D} \cdot r^3, \text{ où } r = \ln\left(\frac{R_{NTC}}{R_{NTC,ref}}\right) \quad (9)$$

Ici, on a explicitement la valeur de référence  $R_{ref}$  à la température de référence  $T_{ref}$ , usuellement 25°C = 298.15 K. La dépendance en température est maintenant donnée par les coefficients B, C et D, qui ont également l'unité physique d'une température.



Les températures ( $T$ ,  $T_{ref}$ ,  $B$ ,  $C$  et  $D$ ) dans ces équations sont bien entendu absolues, donc en K !

Très souvent,  $C$  est négligeable. On laisse aussi souvent tomber  $D$  si l'on ne cherche pas une excellente précision ; c'est souvent le cas pour les résistances NTC, où l'on cherche une bonne sensibilité, mais où les exigences en précision absolue sont modestes. Dans ce cas, on peut simplifier (9), pour donner l'équation bien connue (10). Plus le coefficient  $B$  est élevé<sup>9</sup>, plus la sensibilité en température est bonne. Tendanciellement, on obtient des valeurs de  $B$  plus élevées pour des valeurs élevées de  $R_{NTC,ref}$ .

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{ref}} + \frac{1}{B} \cdot \ln\left(\frac{R}{R_{ref}}\right), \text{ où } R = R_{ref} \cdot \exp\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_{ref}}\right) \quad (10)$$

<sup>7</sup>  $TCR$  = *temperature coefficient of resistance*, coefficient en température de la résistance, CTR.

<sup>8</sup> [ppm] = part par million ; donc, [ppm/K] = [ $10^{-6}$  K<sup>-1</sup>].

<sup>9</sup> Le coefficient  $B$  est souvent aussi noté  $\beta$  (bêta).

Le Tableau 1 donne les paramètres de quelques exemples de résistances NTC commercialement disponibles [6], et la dépendance en température de ces exemples est illustrée à la Figure 3.

$R_{réf}$ (valeur en notation courte <sup>10</sup> / valeur à 25°C)		$B$ [K]
100R	100 Ω	3'200
1k	1 kΩ	3'730
10k	10 kΩ	4'300
100k	100 kΩ	4'600
470k	470 kΩ	5'000

Tableau 1. Exemples de résistances – paramètres [6].

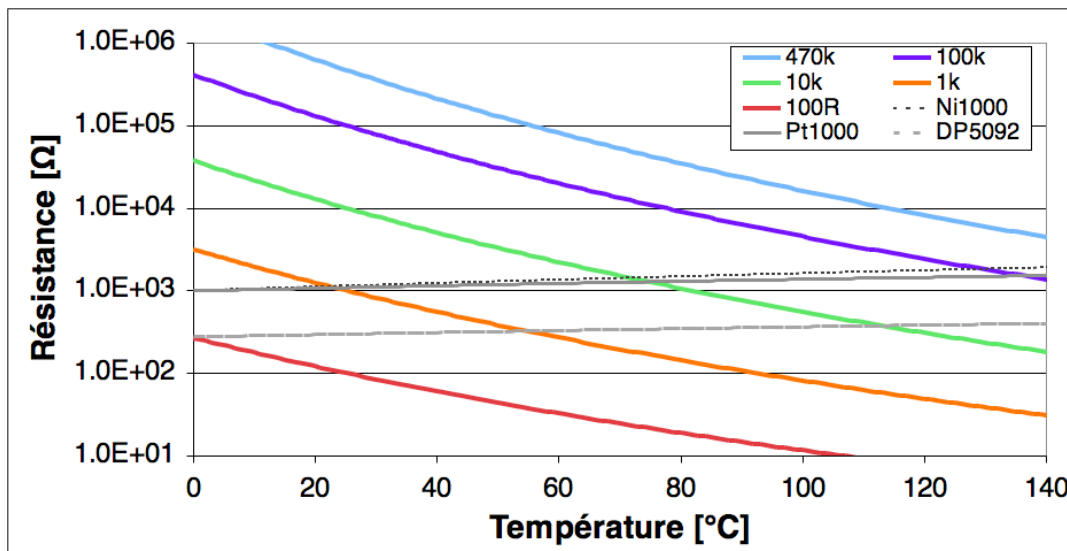


Figure 3. Résistance vs. température des exemples de thermistances NTC du Tableau 1, comparées à une thermistance PTC de type platine (Pt1000), une de nickel (Ni1000) et une autre en couches épaisses (composition DuPont 5092, "DP5092", propriétés typiques).

<sup>10</sup> Ce type de notation est courant dans les schémas électriques. "R" = 1Ω, "k" = 1 kΩ, "M" = 1 MΩ et "G" = 1 GΩ. Pour les fractions, on écrit par exemple "1k5" pour 1.5 kΩ, "4M7" pour 4.7 MΩ, et "0R22" pour 0.22 Ω.

## 5. Mesure et comparaison des sondes de température

Pour comparer les thermistances avec les thermocouples sur une même base, on peut prendre un circuit typique, c'est-à-dire la thermistance  $R_{th}$  en série avec une résistance fixe  $R_{fixe}$  servant d'étalon, montées en demi-pont (Figure 4)<sup>11</sup>. Pour maximiser la réponse, les résistances doivent être à peu près égales<sup>12</sup>.

Pour ce circuit, la valeur de la thermistance  $R_{th}$  peut être calculée comme suit ( $I =$  courant) :

$$R_{th} = \frac{U_s}{I} = R_{fixe} \cdot \frac{U_s}{(U_{alim} - U_s)} \quad (11)$$

Les sensibilités vers 25°C, pour une tension d'alimentation typique des demi-ponts résistifs  $U_{alim} = 5$  V, sont comparées au Tableau 2 ; les thermistances NTC sont de loin les éléments de mesure les plus sensibles, comme le montre aussi la comparaison (Figure 3) de leur dépendance en température par rapport à celle d'éléments de type PTC (Pt1000 & DP5092).

En revanche leurs propriétés sont très non linéaires, et la sensibilité décroît nettement à haute température. De plus, la dispersion d'élément à élément est nettement plus grande que celle sur les thermocouples et les résistances en platine ( $\pm 5\%$  ou  $\pm 10\%$  en valeur, plus la dispersion sur les coefficients en température). Les NTC sont donc plus adaptées si l'on veut une grande réponse à des températures modérées, avec une lecture possible sans électronique d'amplification compliquée.

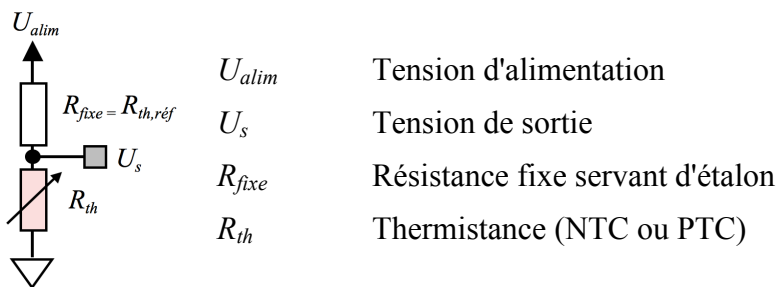


Figure 4. Demi-pont pour la mesure de la température.

	<b>Thermistance NTC 10 kΩ</b>	<b>Thermistance PTC Pt1000</b>	<b>Thermistance PTC DP5092</b>	<b>Thermocouple type K</b>
<b>Réponse [mV/K]</b>	-120	+8.8	+7.5	+0.04
$U_{alim}$ (demi- pont) [V]	5.00	5.00	5.00	-
<b>Référence</b>	[6]	[7]	[9]	[10]

Tableau 2. Exemples de résistances – paramètres.

<sup>11</sup> On peut aussi utiliser des sources de courant intégrées, donnant un signal directement proportionnel à la résistance et indépendant de la résistance des fils si l'on utilise une mesure à quatre fils.

<sup>12</sup> L'utilisation d'une source de tension plus élevée (si disponible sur le circuit) et d'une résistance en série nettement plus grande que celle de mesure permet quasiment d'obtenir les avantages d'une source de courant (signal plus linéaire et robuste vis-à-vis de la résistance des fils).



## 6. Références

- [1] Ichinose-N Kobayashi-T, "Guide pratique des capteurs", Masson, Paris, 1990.
- [2] Cheatle-KR, "Fundamentals of Test Measurement Instrumentation", ISA - Instrumentation, Systems, and Automation Society, USA, 2006.
- [3] Vigneron-T, "Éléments sensibles à résistance métallique et thermomètres étalons", Les Techniques de l'Ingénieur, www.techniques-ingenieur.fr, R2525, 2007.
- [4] Dziedzic-A Golonka-LJ Kozlowski-K Licznarski-W Nitsch-K, "Thick-film resistive temperature sensors", Measurement Science and Technology Vol. 8, 78-85, 1997.
- [5] Lagrange-A, "Céramiques semiconducteurs", Les Techniques de l'Ingénieur, www.techniques-ingenieur.fr, E2080, 1997.
- [6] "NTC thermistors for temperature measurement - Leaded NTCs, lead spacing 5 mm - Series/Type B57164", Epcos AG (DE), 2006.
- [7] Échelle de température internationale ITS-90, norme DIN EN 60751, 1990.
- [8] King-G Fukushima-T, "RTD interfacing and linearization Using an ADuC8xx MicroConverter", Analog Devices, USA, AN-709 rev. 0, 2004.
- [9] Fiche technique "DuPont 5091D/5092D/5093D PTC thermistor composition", DuPont, USA, 2009.
- [10] Bedford-RE Bonnier-G Maas-H Pavese-F, "Techniques for approximating the international temperature scale of 1990", Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), Comité Consultatif de Thermométrie (CCT), 1997.

## 7. Versions

- 2006-01-09 Première version, sur thermistances platine uniquement
- 2010-09-22 Complété avec autres PTC, NTC, et comparaison avec thermocouples
- 2015-09-03 Mise à jour, avec petites notes complémentaires et corrections

## 8. Annexes

### Pt100 selon ITS-90 / DIN EN 60751

Unités :  $T$  [°C]  $\rightarrow$   $R$  [ $\Omega$ ] ; mettre à l'échelle pour Pt500, Pt1000, ...

T	0	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	±8	±9	±10	T
-200	18.52											-200
-190	22.83	22.40	21.97	21.54	21.11	20.68	20.25	19.82	19.38	18.95	18.52	-190
-180	27.10	26.67	26.24	25.82	25.39	24.97	24.54	24.11	23.68	23.25	22.83	-180
-170	31.34	30.91	30.49	30.07	29.64	29.22	28.80	28.37	27.95	27.52	27.10	-170
-160	35.54	35.12	34.70	34.28	33.86	33.44	33.02	32.60	32.18	31.76	31.34	-160
-150	39.72	39.31	38.89	38.47	38.05	37.64	37.22	36.80	36.38	35.96	35.54	-150
-140	43.88	43.46	43.05	42.63	42.22	41.80	41.39	40.97	40.56	40.14	39.72	-140
-130	48.00	47.59	47.18	46.77	46.36	45.94	45.53	45.12	44.70	44.29	43.88	-130
-120	52.11	51.70	51.29	50.88	50.47	50.06	49.65	49.24	48.83	48.42	48.00	-120
-110	56.19	55.79	55.38	54.97	54.56	54.15	53.75	53.34	52.93	52.52	52.11	-110
-100	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	56.19	-100
-90	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	60.26	-90
-80	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.92	65.51	65.11	64.70	64.30	-80
-70	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	68.33	-70
-60	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	72.33	-60
-50	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	76.33	-50
-40	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	80.31	-40
-30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	84.27	-30
-20	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	88.22	-20
-10	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55	92.16	-10
0	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	96.09	0
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	103.90	0
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	107.79	10
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	111.67	20
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	115.54	30
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	119.40	40
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	123.24	50
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	127.08	60
70	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	130.90	70
80	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	134.71	80
90	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	138.51	90
100	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	142.29	100
110	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	146.07	110
120	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	149.83	120
130	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	153.58	130
140	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	157.33	140
150	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	161.05	150

(Pt100 selon ITS-90 / DIN EN 60751, suite ; unités : T [°C] -> R [Ω])

<b>T</b>	<b>0</b>	<b>±1</b>	<b>±2</b>	<b>±3</b>	<b>±4</b>	<b>±5</b>	<b>±6</b>	<b>±7</b>	<b>±8</b>	<b>±9</b>	<b>±10</b>	<b>T</b>
<b>150</b>	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	161.05	<b>150</b>
<b>160</b>	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40	164.77	<b>160</b>
<b>170</b>	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	168.48	<b>170</b>
<b>180</b>	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	172.17	<b>180</b>
<b>190</b>	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49	175.86	<b>190</b>
<b>200</b>	175.86	176.22	176.59	176.96	177.33	177.69	178.06	178.43	178.79	179.16	179.53	<b>200</b>
<b>210</b>	179.53	179.89	180.26	180.63	180.99	181.36	181.72	182.09	182.46	182.82	183.19	<b>210</b>
<b>220</b>	183.19	183.55	183.92	184.28	184.65	185.01	185.38	185.74	186.11	186.47	186.84	<b>220</b>
<b>230</b>	186.84	187.20	187.56	187.93	188.29	188.66	189.02	189.38	189.75	190.11	190.47	<b>230</b>
<b>240</b>	190.47	190.84	191.20	191.56	191.92	192.29	192.65	193.01	193.37	193.74	194.10	<b>240</b>
<b>250</b>	194.10	194.46	194.82	195.18	195.55	195.91	196.27	196.63	196.99	197.35	197.71	<b>250</b>
<b>260</b>	197.71	198.07	198.43	198.79	199.15	199.51	199.87	200.23	200.59	200.95	201.31	<b>260</b>
<b>270</b>	201.31	201.67	202.03	202.39	202.75	203.11	203.47	203.83	204.19	204.55	204.90	<b>270</b>
<b>280</b>	204.90	205.26	205.62	205.98	206.34	206.70	207.05	207.41	207.77	208.13	208.48	<b>280</b>
<b>290</b>	208.48	208.84	209.20	209.56	209.91	210.27	210.63	210.98	211.34	211.70	212.05	<b>290</b>
<b>300</b>	212.05	212.41	212.76	213.12	213.48	213.83	214.19	214.54	214.90	215.25	215.61	<b>300</b>
<b>310</b>	215.61	215.96	216.32	216.67	217.03	217.38	217.74	218.09	218.44	218.80	219.15	<b>310</b>
<b>320</b>	219.15	219.51	219.86	220.21	220.57	220.92	221.27	221.63	221.98	222.33	222.68	<b>320</b>
<b>330</b>	222.68	223.04	223.39	223.74	224.09	224.45	224.80	225.15	225.50	225.85	226.21	<b>330</b>
<b>340</b>	226.21	226.56	226.91	227.26	227.61	227.96	228.31	228.66	229.02	229.37	229.72	<b>340</b>
<b>350</b>	229.72	230.07	230.42	230.77	231.12	231.47	231.82	232.17	232.52	232.87	233.21	<b>350</b>
<b>360</b>	233.21	233.56	233.91	234.26	234.61	234.96	235.31	235.66	236.00	236.35	236.70	<b>360</b>
<b>370</b>	236.70	237.05	237.40	237.74	238.09	238.44	238.79	239.13	239.48	239.83	240.18	<b>370</b>
<b>380</b>	240.18	240.52	240.87	241.22	241.56	241.91	242.26	242.60	242.95	243.29	243.64	<b>380</b>
<b>390</b>	243.64	243.99	244.33	244.68	245.02	245.37	245.71	246.06	246.40	246.75	247.09	<b>390</b>
<b>400</b>	247.09	247.44	247.78	248.13	248.47	248.81	249.16	249.50	249.85	250.19	250.53	<b>400</b>
<b>410</b>	250.53	250.88	251.22	251.56	251.91	252.25	252.59	252.93	253.28	253.62	253.96	<b>410</b>
<b>420</b>	253.96	254.30	254.65	254.99	255.33	255.67	256.01	256.35	256.70	257.04	257.38	<b>420</b>
<b>430</b>	257.38	257.72	258.06	258.40	258.74	259.08	259.42	259.76	260.10	260.44	260.78	<b>430</b>
<b>440</b>	260.78	261.12	261.46	261.80	262.14	262.48	262.82	263.16	263.50	263.84	264.18	<b>440</b>
<b>450</b>	264.18	264.52	264.86	265.20	265.53	265.87	266.21	266.55	266.89	267.22	267.56	<b>450</b>
<b>460</b>	267.56	267.90	268.24	268.57	268.91	269.25	269.59	269.92	270.26	270.60	270.93	<b>460</b>
<b>470</b>	270.93	271.27	271.61	271.94	272.28	272.61	272.95	273.29	273.62	273.96	274.29	<b>470</b>
<b>480</b>	274.29	274.63	274.96	275.30	275.63	275.97	276.30	276.64	276.97	277.31	277.64	<b>480</b>
<b>490</b>	277.64	277.98	278.31	278.64	278.98	279.31	279.64	279.98	280.31	280.64	280.98	<b>490</b>
<b>500</b>	280.98	281.31	281.64	281.98	282.31	282.64	282.97	283.31	283.64	283.97	284.30	<b>500</b>

(Pt100 selon ITS-90 / DIN EN 60751, suite ; unités : T [°C] -> R [Ω])

<b>T</b>	<b>0</b>	<b>±1</b>	<b>±2</b>	<b>±3</b>	<b>±4</b>	<b>±5</b>	<b>±6</b>	<b>±7</b>	<b>±8</b>	<b>±9</b>	<b>±10</b>	<b>T</b>
<b>500</b>	280.98	281.31	281.64	281.98	282.31	282.64	282.97	283.31	283.64	283.97	284.30	<b>500</b>
<b>510</b>	284.30	284.63	284.97	285.30	285.63	285.96	286.29	286.62	286.95	287.29	287.62	<b>510</b>
<b>520</b>	287.62	287.95	288.28	288.61	288.94	289.27	289.60	289.93	290.26	290.59	290.92	<b>520</b>
<b>530</b>	290.92	291.25	291.58	291.91	292.24	292.56	292.89	293.22	293.55	293.88	294.21	<b>530</b>
<b>540</b>	294.21	294.54	294.86	295.19	295.52	295.85	296.18	296.50	296.83	297.16	297.49	<b>540</b>
<b>550</b>	297.49	297.81	298.14	298.47	298.80	299.12	299.45	299.78	300.10	300.43	300.75	<b>550</b>
<b>560</b>	300.75	301.08	301.41	301.73	302.06	302.38	302.71	303.03	303.36	303.69	304.01	<b>560</b>
<b>570</b>	304.01	304.34	304.66	304.98	305.31	305.63	305.96	306.28	306.61	306.93	307.25	<b>570</b>
<b>580</b>	307.25	307.58	307.90	308.23	308.55	308.87	309.20	309.52	309.84	310.16	310.49	<b>580</b>
<b>590</b>	310.49	310.81	311.13	311.45	311.78	312.10	312.42	312.74	313.06	313.39	313.71	<b>590</b>
<b>600</b>	313.71	314.03	314.35	314.67	314.99	315.31	315.64	315.96	316.28	316.60	316.92	<b>600</b>
<b>610</b>	316.92	317.24	317.56	317.88	318.20	318.52	318.84	319.16	319.48	319.80	320.12	<b>610</b>
<b>620</b>	320.12	320.43	320.75	321.07	321.39	321.71	322.03	322.35	322.67	322.98	323.30	<b>620</b>
<b>630</b>	323.30	323.62	323.94	324.26	324.57	324.89	325.21	325.53	325.84	326.16	326.48	<b>630</b>
<b>640</b>	326.48	326.79	327.11	327.43	327.74	328.06	328.38	328.69	329.01	329.32	329.64	<b>640</b>
<b>650</b>	329.64	329.96	330.27	330.59	330.90	331.22	331.53	331.85	332.16	332.48	332.79	<b>650</b>
<b>660</b>	332.79	333.11	333.42	333.74	334.05	334.36	334.68	334.99	335.31	335.62	335.93	<b>660</b>
<b>670</b>	335.93	336.25	336.56	336.87	337.18	337.50	337.81	338.12	338.44	338.75	339.06	<b>670</b>
<b>680</b>	339.06	339.37	339.69	340.00	340.31	340.62	340.93	341.24	341.56	341.87	342.18	<b>680</b>
<b>690</b>	342.18	342.49	342.80	343.11	343.42	343.73	344.04	344.35	344.66	344.97	345.28	<b>690</b>
<b>700</b>	345.28	345.59	345.90	346.21	346.52	346.83	347.14	347.45	347.76	348.07	348.38	<b>700</b>
<b>710</b>	348.38	348.69	348.99	349.30	349.61	349.92	350.23	350.54	350.84	351.15	351.46	<b>710</b>
<b>720</b>	351.46	351.77	352.08	352.38	352.69	353.00	353.30	353.61	353.92	354.22	354.53	<b>720</b>
<b>730</b>	354.53	354.84	355.14	355.45	355.76	356.06	356.37	356.67	356.98	357.28	357.59	<b>730</b>
<b>740</b>	357.59	357.90	358.20	358.51	358.81	359.12	359.42	359.72	360.03	360.33	360.64	<b>740</b>
<b>750</b>	360.64	360.94	361.25	361.55	361.85	362.16	362.46	362.76	363.07	363.37	363.67	<b>750</b>
<b>760</b>	363.67	363.98	364.28	364.58	364.89	365.19	365.49	365.79	366.10	366.40	366.70	<b>760</b>
<b>770</b>	366.70	367.00	367.30	367.60	367.91	368.21	368.51	368.81	369.11	369.41	369.71	<b>770</b>
<b>780</b>	369.71	370.01	370.31	370.61	370.91	371.21	371.51	371.81	372.11	372.41	372.71	<b>780</b>
<b>790</b>	372.71	373.01	373.31	373.61	373.91	374.21	374.51	374.81	375.11	375.41	375.70	<b>790</b>
<b>800</b>	375.70	376.00	376.30	376.60	376.90	377.19	377.49	377.79	378.09	378.39	378.68	<b>800</b>
<b>810</b>	378.68	378.98	379.28	379.57	379.87	380.17	380.46	380.76	381.06	381.35	398.65	<b>810</b>
<b>820</b>	381.65	381.95	382.24	382.54	382.83	383.13	383.42	383.72	384.01	384.31	384.60	<b>820</b>
<b>830</b>	384.60	384.90	385.19	385.49	385.78	386.08	386.37	386.67	386.96	387.25	387.55	<b>830</b>
<b>840</b>	387.55	387.84	388.14	388.43	388.72	389.02	389.31	389.60	389.90	390.19	390.48	<b>840</b>
<b>850</b>	390.48											<b>850</b>

## Ni1000 selon DIN 43760 / EN 60751

Température  $T \rightarrow$  Résistance  $R$

$T$ [°C]	$R$ [ $\Omega$ ]
-50	743
-40	791
-30	842
-25	867
-20	893
-15	919
-10	946
-5	973
0	1'000
+5	1'028
+10	1'056
+15	1'084
+20	1'112
+25	1'141

$T$ [°C]	$R$ [ $\Omega$ ]
30	1'171
35	1'200
40	1'230
45	1'260
50	1'291
55	1'322
60	1'353
65	1'385
70	1'417
75	1'450
80	1'483
90	1'549
100	1'618
120	1'760