Chapitre 3

Capteurs de température

3.1 Introduction

La thermométrie est aujourd'hui indispensable à l'ensemble des secteurs d'activités. Pour les mesures de température les plus courantes, une échelle de température facilement applicable a été mise au point, sous la dénomination *"Echelle Internationale de Température" (I.T.S 90 - International Température Scale).* Cet échelle couvre une plage de température allant de: -259,34 °C à + 1064,43 °C. Sa définition est attribuée à un nombre de phénomènes de température à points fixes tels que:

- le point triple de l'eau (température d'équilibre eau- glace-vapeur),
- le point d'ébullition,
- le point de glace de certains matériaux.

Il existe deux catégories principales de capteur de température couramment utilisés dans l'industrie:

- *La thermométrie par sonde à résistance,*
- *La thermométrie par Thermocouple.*

Ces deux types d'applications répondent aux besoins sur une échelle allant de - 250 °C à + 3000 °C pour les thermocouples, et de - 200 °C à + 800 °C pour les sondes à résistance. Ce sont le choix et la précision de la mesure qui déterminent le type de capteur à utiliser.

3.2 Les échelles de température

Echelle de kelvin : échelle thermodynamique ou absolue. L'unité est le kelvin (k) ; elle résulte de la fixation à 273,16 de la valeur de la température du point triple de l'eau (température d'équilibre eau- glace-vapeur).

Echelle de Rankin : l'unité est le degré Rankin (°R), qui est égal à 9/5 de Kelvin ; la température du point triple de l'eau a donc 491,69.

A partir des échelles absolues (K,°R) peuvent être définies par simple décalage des valeurs, de nouvelles échelles qui ne sont pas absolues mais qui conservent une unité de même que celle de l'échelle absolue d'origine.

Echelle Celsius : elle déduite de l'échelle absolue de kelvin et son unité, le degré Celsius (°C), est égale à un kelvin :

$T(°C) = T(K) - 273{,}15$

Echelle Fahrenheit : elle s'obtient par décalage des valeurs de l'échelle absolue de Rankin, son unité, le degré Fahrenheit (°F).

$T(°F) = T(°R) - 459{,}67$.

Conversion entre échelles de Celsius et de Fahrenheit:

$$T(°C) = \left(T(°F) - 32\right)\frac{5}{9}$$

$$T(°F) = \frac{9}{5}T(°C) + 32$$

3.3 Thermométrie par résistance

3.3.1 Sensibilité thermique

D'une façon générale la valeur d'une résistance dépend de sa température T .

$R(T) = R_0 F(T - T_0)$

R_0 étant la résistance à T_0 et la fonction F une caractéristique du matériau, égale à 1 pour $T = T_0$

à $T = T_0 \Rightarrow R(T_0) = R_0 = R_0 F(0)$, ce qui implique $F(0) = 1$.

Exemple : pour les matériaux $R(T) = R_0\left(1 + AT + BT^2 + CT^3\right)$, tel que :

T en °C et $T_0 = 0°C$

Thermistances, mélanges d'oxydes semi-conducteurs:

$$R(T) = R_0 \exp\left[B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right]$$

T la température absolue

La détermination de R permet de déduire la température T .

Pour des petites variations ΔT de température autour d'une valeur T, la variation de température peut être linéairsée

$$R(T + \Delta T) = R(T)\left(1 + \alpha_R \cdot \Delta T\right) = R(T) + \alpha_R \cdot R(T) \cdot \Delta T$$

Où $$\alpha_R = \frac{1}{R(T)} \cdot \frac{dR}{dT}$$

α_R est le coefficient de température de la résistance R ou la sensibilité thermique à la température T, $\alpha_R = f(T)$.

Exercice :

à $T = 0°C$

Pour le Platine, on a $\alpha_R = 3{,}9\times10^{-3} / °C$

Pour thermistance, on a $\alpha_R = 5{,}2\times10^{-2} / °C$

Ainsi, si on mesure la température au voisinage de $0°C$ à l'aide d'un pont de Wheatstone dont l'une des bornes est constituée par la résistance thermométrique et les trois autres branches sont formées par des résistances fixes R_0.

$$V_x = \frac{E}{4}\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{E}{4}\cdot\frac{R_0\alpha_R\Delta T}{R_0} = \frac{E}{4}\alpha_R\Delta T.$$

Si $E = 2V$ et $\Delta T = 1°C$, alors

$V_x = \frac{2}{4}\times3{,}9\times10^{-3}\times1 \approx 1{,}9mV$ Pour le Palatine

$V_x = \frac{2}{4}\times5{,}2\times10^{-2}\times1 = 26mV$ Pour la thermistance.

La qualité de l'appareillage de mesure fixe une valeur minimale mesurable $(\Delta R / R_0)_{\min}$ ce qui donne pour $\Delta T_{\min}$

$$\Delta T_{\min} = \frac{1}{\alpha_R}\cdot\frac{\Delta R}{R_0}\Big|_{\min}.$$

Si $\frac{\Delta R}{R_0}\Big|_{\min} = 10^{-6}$ et pour des mesures autour de $0°C$

$\Delta T_{\min} = 2{,}6\times10^{-4}°C$ Pour le Platine

$\Delta T_{\min} = 2\times10^{-5}°C$ Pour la thermistance

3.3.2 Linéarisation

La méthode de linéarisation la plus simple consiste à associer au capteur, en série ou en parallèle une résistance fixe R_l dite de linéarisation dont la valeur est déterminée de façon qu'autour d'une température T_i choisie, la tension de mesure V_x ait une variation quasi linéaire en fonction de T.

La courbe $V_x(T)$ pour $T = T_i$ et elle se traduit par la condition :

$$\frac{d^2V_x}{dT^2}\Big|_{T=T_i} = 0 .$$

3.3.2.1 Linéarisation shunte de la résistance

Un dipôle de résistance $R(T)$, alimenté par une source de courant i, la tension de mesure $V_x = i \cdot R(T)$, la linéarisation de V_x implique la linéarisation de $R(T)$ autour de $T = T_i$ soit:

$$\frac{d^2R}{dT^2}\Big|_{T=T_i} = 0 .$$

Cette condition peut être satisfaite en constituant le dipôle par la mise en parallèle sur le capteur $R_c(T)$ d'une résistance fixe R_l :

$$R(T) = \frac{R_l \cdot R_c(T)}{R_l + R_c(T)}$$

$$\frac{dR}{dT} = \frac{R_l^2 R_c^{'}(T)}{\left(R_l + R_c(T)\right)^2}$$

$$\frac{d^2R}{dT^2} = R_l^2 \frac{\left(R_l + R_c(T)\right)\left[\left(R_l + R_c(T)\right)R_c^{''}(T) - 2R_c^{'2}(T)\right]}{\left(R_l + R_c(T)\right)^4} = 0$$

$$\left(R_l + R_c(T)\right)R_c^{''}(T = T_i) - 2R_c^{'2}(T = T_i) = 0$$

$$R_l = \frac{2R_c^{'2}(T_i)}{R_c^{''}(T_i)} - R_c(T_i) .$$

Dans le cas d'une résistance métallique où:

$$R_c(T) = R_{c_0}\left(1 + AT + BT^2\right),\ T \text{ en °C}$$

$R_c^{'}(T) = R_{c_0}(A + 2BT)$ et $R_c^{''}(T) = 2R_{c_0}B$, alors la valeur de résistance de linéarisation est donnée par :

$$R_l = \frac{2{R_{c_0}}^2 (A + 2BT_i)^2}{2R_{c_0} B} - R_c(T_i)$$

$$= \frac{R_{c_0} (A + 2BT_i)^2}{B} - R_c(T_i)$$

Si $T_i = 0°C$, $R_l = R_{c_0} \left(\frac{A^2}{B} - 1 \right)$.

Si $B \pi 0$, la linéarité shunt est impossible ($R_l \pi 0$).

Exemple : cas du Nickel $A = 5{,}5 \times 10^{-3} / °C$ et $B = 6{,}7 \times 10^{-6} / °C$

La linéarisation est possible

$$R_l = R_{c_0} \left(\frac{(5{,}5)^2 \times 10^{-6}}{6{,}7 \times 10^{-6}} - 1 \right) = 3{,}5 \times R_{c_0} .$$

Cas du platine $A = 3{,}9 \times 10^{-3} / °C$ et $B = -5{,}8 \times 10^{-7} / °C$, la linéarisation est impossible .

Cas d'une thermistance

$$R_c(T) = R_{c_0} \exp\left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right], \; T \text{ en } K$$

$$R_c^{'}(T) = -\frac{B}{T^2} R_c(T) , \; R_c^{''}(T) = -\frac{B^2 + 2BT}{T^4} R_c(T)$$

$$R_l = R_c(T_i) \frac{B - 2T_i}{B + 2T_i} .$$

3.3.2.2 Linéarisation série de la résistance

On peut compenser la non-linéarité d'une résistance métallique par la non-linéarité opposée d'une autre résistance d'un métal convenablement choisi. Soit un capteur dont la résistance est :

$$R_c(T) = R_{c_0} \left(1 + A_c T + B_c T^2 \right) \; ; \; T \text{ en °C.}$$

On lui associe en série une résistance $R_s(T)$:

$$R_s(T) = R_{s_0} \left(1 + A_s T + B_s T^2 \right)$$

La résistance $R(T)$ ainsi constituée à pour valeur:

$$R(T) = R_c(T) + R_s(T) = R_{c_0} + R_{s_0} + \left(R_{c_0} A_c + R_{s_0} B_s \right) T + \left(R_{c_0} B_c + R_{s_0} B_s \right) T^2 ,$$

la résistance $R(T)$ est linéarisée à condition que:

$$R_{s_0} B_s = -R_{c_0} B_c .$$

Il possible de linéariser un capteur à résistance de platine en plaçant en série une résistance de Nikel.

3.3.2.3 Linéarisation du rapport potentiométrique

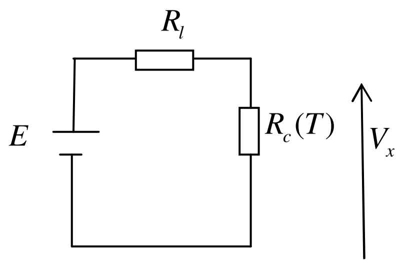

Figure 3.1

La variation de V_x est quasi linéaire autour d'une température T_i lorsque on a $\left.\frac{d^2V_x}{dT^2}\right|_{T=T_i} = 0$.

Par simulation avec le cas 5.3.2.1, on déduit la valeur de

$$R_1 = \frac{2R_c^{'2}(T_i)}{R_c^{''}(T_i)} - R_c(T_i) = R_l .$$

3.3.2.4 Linéarisation de la tension de mesure du pont de Wheatstone

La tension de mesure V_x étant:

$$V_x = E\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4}\right)$$

R_3 et R_4 étant fixe, la linéarisation de V_x se ramène à celle du rapport $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ qui obtenue, quand $R_2 = R_c(T)$ en donnant à R_1 la valeur R_l précédemment déterminée (3.3.2.3).

Le pont est équilibré à la température T_i autour de la quelle V_x est linéarisée en prenant $R_3 = R_l$ et $R_4 = R_c(T_i)$.

3.4 Thermométrie par thermocouple

3.4.1 Sensibilité thermique

Un thermocouple constitué de deux conducteurs A et B formant entre eux deux jonctions aux températures T_1 et T_2 délivre une f.é.m. $E_{A/B}^{T_2 T_1}$ qui dépend d'une part de la nature des conducteurs A et B et d'autre part des températures T_1 et T_2. En générale T_1 sert de température de référence $T_1 = T_{réf}$, T_2 est la température T_c qui attient le thermocouple lorsqu'il est placé dans le milieu étudié de température inconnue T_x ; la température T_c est fonction de

T_x et de l'ensemble des échanges thermiques possibles avec d'autres milieux (les parois, le milieu extérieur).

L'intérêt du thermocouple est délivré un signal, une f.é.m. dont la mesure nécessite pas la circulation d'un courant dans le capteur, il n'y a donc, contrairement au cas des résistances, aucune incertitude liée à l'auto-échauffement.

Cependant, et cela est un inconvénient du thermocouple, la mesure exige que la température $T_{réf}$ soit connue, toute incertitude sur $T_{réf}$ risqué d'entrainer une incertitude du même ordre sur T_c. La f.é.m. du thermocouple est sur de grands intervalles de température, une fonction non linéaire de T_c (voir figure 6.13 page 272).

Cette non linéarité entre f.é.m. du thermocouple et température T

Est mise en évidence par la forme polynomiale de l'équation qui les lie.

Pour chaque type de thermocouple, une norme définit :

D'une part, une table de valeurs de la f.é.m. $E = f(T)$,

D'autre part, une expression polynomial qui traduit algébriquement et en conformité avec la table la relation entre E et T.

Exemple :

Pour le couple platine-30%Rhodium/Platine-60% Rhodium, on a, entre 0 °C et 1820 °C, selon la Norme NF C 42-321 :

$$E = \sum_{i=0}^{i=8} a_i T^i \qquad E \text{ en } \mu\text{V}, \quad T \text{ en } {}^\circ\text{C}$$

$a_0 = 0$ $\quad a_1 = -2{,}4674601620 \cdot 10^{-1}$ $\quad a_2 = 5{,}9102111169 \cdot 10^{-3}$

$a_3 = -1{,}4307123430 \cdot 10^{-6}$ $\quad a_4 = 2{,}1509149750 \cdot 10^{-9}$

$a_5 = -3{,}1757800720 \cdot 10^{-12}$

$a_6 = 2{,}4010367459 \cdot 10^{-15}$ $\quad a_7 = -9{,}0928148159 \cdot 10^{-19}$ $\quad a_8 = 1{,}3299505137 \cdot 10^{-22}$

Les thermocouples sont utilisables selon leur type, depuis les très basses températures.

-270 °C pour le couple Cuivre/Or-cobalt jusqu'à des températures très élevées :

2700 °C pour le couple Tungstène-Rhénium 5% Tungstène-Rhénium 26 %.

La sensibilité thermique d'un couple S à une température T_c est définie par l'équation :

$$S(T_c) = \frac{dE_{A/B}^{T_c,0°C}}{dT_c}$$

Elle est fonction de la température et s'exprime en µV/°C (voir courbe 6.14 page 273).

Exemple :

Le couple Fer/Constantan, on a :

$S(0°C) = 52{,}9$ µV/°C et $S(700°C) = 63{,}8$ µV/°C

Pour le couple Pt-Rh(10%)/Pt, on a:

$S(0°C) = 6{,}4$ µV/°C et $S(1400°C) = 11{,}93$ µV/°C.

3.4.2 Effet thermoélectriques

3.4.2.1 Effet Peltier

A la jonction de deux conducteurs A et B différents mais à la même température T (figure 3.2), s'établit une différence de potentiel qui ne dépond que de la nature des conducteurs et de leur température :

$$V_M - V_N = P_{A/B}^T$$

C'est la f.é.m. ; de Peltier.

La loi de volta. Dans un circuit isotherme constitué de conducteurs différents la somme des f.é.m. de Peltier est nulle.

Dans la chaîne constituée des métaux A, B, C, D (figure 3.4) on a donc

$$P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T + P_{D/A}^T = 0$$

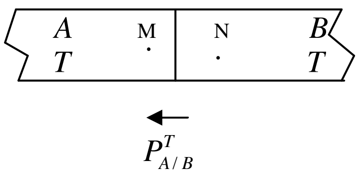

Figure 3.2

L'équation précédente peut encore s'écrire :

$$P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T = -P_{D/A}^T$$

$$P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T = P_{A/D}^T$$

Etant donné que :

$$P_{A/D}^T = -P_{D/A}^T$$

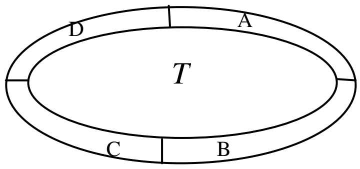

Figure 3.3:
thermocouple

Remarque : lorsque deux conducteurs A et D sont séparés par des conducteurs intermédiaires, l'ensemble étant isotherme, la différence de potentiel entre les conducteurs extrêmes A et D est la que si ces conducteurs étaient en contacte.

3.4.2.2 Effet Thomson

Entre deux points M et N à température différente, à l'intérieur d'un conducteur homogène A s'établit une f.é.m. ne dépendant que de la nature du conducteur et des températures T_M et T_N.

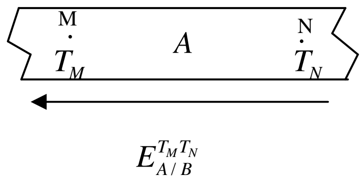

Figure 3.4

$$E_A^{T_M T_N} = \int_{T_N}^{T_M} h_A \, dT$$

c'est la f.é.m. de Thomson ; h_A coefficient de Thomson du conducteur A est une fonction de température.

Loi de Magnus : Si les extrémités d'un conducteur unique et homogène à la même température, la f.é.m. de Thomson est nulle.

3.4.2.3 Effet Seebeck

Soit un circuit fermé, constitué de deux conducteur A et B dont les jonctions sont aux températures

T_1 et T_2, il constitue un couple thermoélectrique. Ce couple est le signal d'une f.é.m. dite de Seebeck $E_{A/B}^{T_2 T_1}$ qui résulte des effets de Peltier et Thomson.

f.é.m. entre a et b : $e_{ab} = \int_{T_1}^{T2} h_A dT$; f.é.m. entre b et c : $e_{bc} = P_{A/B}^{T_2}$; f.é.m. entre c et d :

$e_{cd} = \int_{T_2}^{T1} h_B dT$;

f.é.m. entre d et a : $e_{da} = P_{B/A}^{T_1}$; la f.é.m. totale, somme des f.é.m. précédentes est la f.é.m. de Seebeck : $E_{A/B}^{T_2T_1} = P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{T_1} + \int_{T_1}^{T_2}(h_A - h_B)dT$;

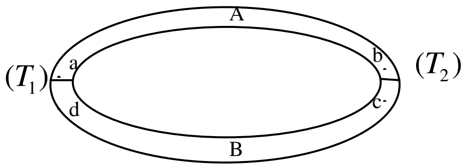

Figure 3.5

3.4.2.4 Loi des métaux successifs

On considère les deux couples que les conducteurs A et C forment respectivement avec un troisième conducteur B : les jonctions étant aux températures T_2 et T_1 les f.é.m. de Seebeck correspondantes ont pour expression :

$$E_{A/B}^{T_2T_1} = P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{T_1} + \int_{T_1}^{T_2}(h_A - h_B)dT$$

$$E_{C/B}^{T_2T_1} = P_{C/B}^{T_2} - P_{C/B}^{T_1} + \int_{T_1}^{T_2}(h_C - h_B)dT$$

On en déduit facilement la f.é.m. du couple constitué par les métaux A et C :

$$E_{A/C}^{T_2T_1} = E_{A/B}^{T_2T_1} - E_{C/B}^{T_2T_1}$$

Cette relation, dite loi des métaux successifs, permet de déduire la f.é.m. de Seebeck du couple A/C lorsque l'on connaît les f.é.m. de Seebeck que délivrent les couples constitués des conducteurs A d'une part, C d'autre part, associés à un troisième conducteur B.

3.4.2.5 Loi des températures successives

Lorsque la température T_1, considérée comme température de référence prend une nouvelle valeur $T_1^{'}$, la f.é.m. de Seebeck du couple A/B passe de la valeur $E_{A/B}^{T_2T_1}$ à la valeur $E_{A/B}^{T_2T_1^{'}}$:

$$E_{A/B}^{T_2T_1^{'}} = P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{T_1^{'}} + \int_{T_1^{'}}^{T_2} (h_A - h_B) dT$$

$$= P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} (h_A - h_B) dT - \left(P_{A/B}^{T_1^{'}} - P_{A/B}^{T_1} + \int_{T_1}^{T_1^{'}} (h_A - h_B) dT \right)$$

Soit
$$E_{A/B}^{T_2T_1} = E_{A/B}^{T_2T_1^{'}} + E_{A/B}^{T_1^{'}T_1}$$

3.4.2.6 lois des métaux intermédiaires

Quand on introduit dans le circuit comprenant le couple A/B un conducteur de nature différente, la f.é.m. dont le circuit est le siège n'est pas modifiée à condition que ce conducteur ait ses extrémités à même température. En effet, le conducteur C placé dans le circuit du thermocouple (figure 3.6) entre les points M et $M^{'}$ dont les températures sont identiques T_0 délivre une f.é.m. résultante nulle :

$$e = P_{B/C}^{T_0} + \int_{T_0}^{T0} h_C dT + P_{C/B}^{T_0} = 0$$

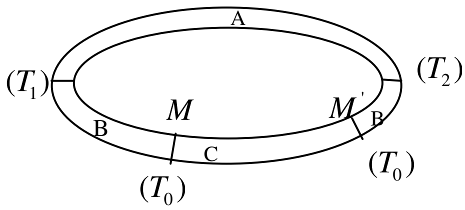

Figure 3.6

Cette conclusion demeure valable quel que soit le nombre de conducteurs introduits à condition que leurs extrémités soient deux à deux à même température.

3.4.3Dispositifs de mesure

3.4.3.1 Montage de mesure

Le montage généralement utilisé est le suivant (figure 3.7):

À condition que soient deux à deux à la même température :

- Les jonctions de référence du thermocouple (A/M_1 et B/M_1)

- Les jonctions des métaux intermédiaires faisant parties de l'ensemble de liaison et de la mesure (M_1/M_2 ; M_2/M_3),

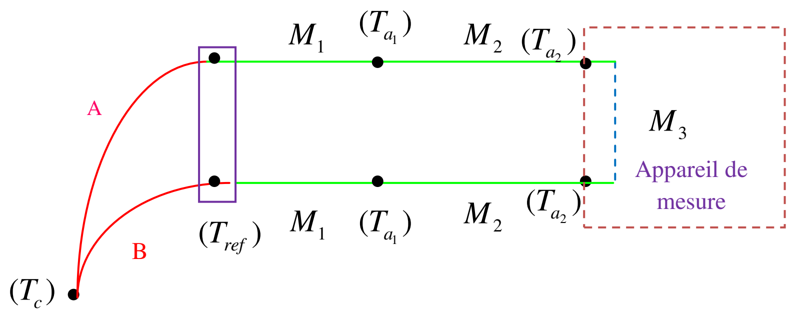

Figure 3.7 : Schéma de principe de la liaison d'un thermocouple à appareil de mesure

Le circuit n'est le siège que de la f.é.m. de Seebeck du thermocouple. En effet :

$$e = P_{A/B}^{T_c} + \int_{T_c}^{Tref} h_B dT + P_{B/M_1}^{T_{ref}} + \int_{T_{ref}}^{T_{a_1}} h_{M_1} dT + P_{M_1/M_2}^{T_{a_1}} + \int_{T_{a_1}}^{T_{a_2}} h_{M_2} dt + P_{M_2/M_3}^{T_{a_2}} + \int_{T_{a_2}}^{T_{a_2}} h_{M_3} dt$$

$$P_{M_3/M_2}^{Ta_2} + \int_{T_{a_2}}^{T_{a_1}} h_{M_2} dT + P_{M_2/M_1}^{T_{a_1}} + \int_{T_{a_1}}^{T_{ref}} h_{M_1} dT + P_{M_1/A}^{T_{ref}} + \int_{T_{ref}}^{T_c} h_A dt$$

Soit
$$e = P_{A/B}^{T_c} - P_{A/B}^{T_{ref}} + \int_{T_c}^{T_{ref}} (h_B - h_A) dT = E_{A/B}^{T_c T_{ref}} .$$

3.4.3.2 Méthode de mesure

C'est la f.é.m. de Seebeck dont le thermocouple est le siège qui fournit l'information de température cherchée. Elle ne peut être connue avec précision que si l'on minimise la chute ohmique de tension due à la circulation d'un courant dans les éléments du thermocouple et les fils de liaison : leur résistance est en effet généralement mal connue car fonction de la température ambiante d'une part et de la température à mesurer d'autre part. Deux méthodes sont généralement employées :

- La mesure à l'aide d'un millivoltmètre qui permet de minimiser la chute ohmique si sa résistance interne est élevée,
- La méthode d'opposition qui autorise une meure rigoureuse puisque dans ce cas le courant traversant le thermocouple est annulé.

Meure avec millivoltmètre (figure 3.8):

Soient R_t, R_l et R_v respectivement résistances du thermocouple, résistance des fils de liaison et résistance interne du millivoltmètre.

$$V_x = E_{A/B}^{T_cT_{ref}} \cdot \frac{R_v}{R_t + R_l + R_v}$$

Soit $$E_{A/B}^{T_cT_{ref}} = V_x\left(1 + \frac{R_t + R_l}{R_v}\right)$$

Si $R_v \gg R_t + R_l$, alors,

$$E_{A/B}^{T_cT_{ref}} = V_x.$$

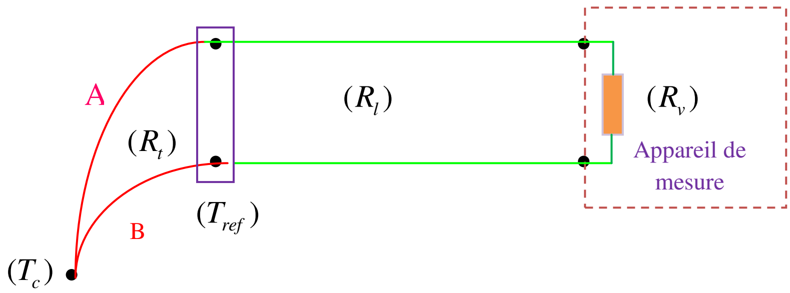

Figure 3.8 : Mesure au millivoltmètre de la f.é.m. d'un thermocouple

Méthode d'opposition:

Son principe est d'opposer à la f.é.m. du thermocouple une tension V égale et connaissable avec précision, prise aux bornes d'une résistance R parcourue par un courant I .

L'égalité de la f.é.m. $E_{A/B}^{T_cT_{ref}}$ et la tension V est constatée soit par un galvanomètre.

Montage de Lindeck

Le thermocouple en série avec le galvanomètre G est branché aux bornes d'une résistance R_e traverse par un courant I que l'on règle de façon à annuler le courant dans G :

$$E_{A/B}^{T_cT_{ref}} = R_e I$$

La valeur de I est connue soit à l'aide d'un milliampèremètre, méthode peu précise, soit par un tarage à l'aide d'une pile-étalon, dans ce but le galvanomètre commuté en 2, détecte, lorsqu'il est au zéro, l'égalité de la f.é.m. étalon E_e et de la tension V' aux bornes de la résistance variable R' parcourue par I :

$$E_e = R^{'} I$$

On en déduit:

$$E_{A/B}^{T_c T_{ref}} = \frac{R_e}{R^{'}} \cdot E_e$$

Montage de Bouty

Le courant I , réglé par le rhéostat, demeure fixe au cours de la mesure ; sa valeur est ajustée du tarage pour que la tension aux bornes de la résistance étalon $R_e^{'}$ soit égale à E_e :

$$E_e = R_e^{'} I$$

La mesure de $E_{A/B}^{T_c T_{ref}}$ s'effectue alors en lui opposant la tension aux bornes de la résistance variable de précision R_x :

$$E_{A/B}^{T_c T_{ref}} = R_x I$$

Dans ces conditions on :

$$E_{A/B}^{T_c T_{ref}} = \frac{R_x}{R_e^{'}} \cdot E_e \, .$$

3.4.4 Linéarisation

On dit qu'un capteur est linéaire si la f.é.m. délivrée par thermocouple proportionnelle à la température, ou variant linéairement avec elle.

3.4.5 câbles de compensation

Si le couple A/B était prolongé jusqu'à l'appareil de mesure on aurait :

$$V_x = E_{A/B}^{T_c 0°C} = P_{A/B}^{T_c} - P_{A/B}^{0°C} + \int_0^{T_c} (h_A - h_B) dT$$

Avec les câbles de compensation on a :

$$V_x^{'} = P_{Cu/A^{'}}^{0°C} + \int_0^{T_2} h_{A^{'}} dT + P_{A^{'}/A}^{T_2} + \int_{T_2}^{T_c} h_A dT + P_{A/B}^{T_c} + \int_{T_c}^{T_2} h_B dT + P_{B/B^{'}}^{T_2} + \int_{T_2}^{0°C} h_{B^{'}} dT + P_{B^{'}/Cu}^{0°C}$$

On a, les relations:

$$P_{B^{'}/Cu}^{0°C} + P_{Cu/A^{'}}^{0°C} = P_{B^{'}/A^{'}}^{0°C} = -P_{A^{'}/B^{'}}^{0°C}$$

$$P_{A'/A}^{T_2} + P_{B/B'}^{T_2} = P_{A'/B'}^{T_2} + P_{B'/A}^{T_2} + P_{B/B'}^{T_2} = P_{A'/B'}^{T_2} + P_{B/A}^{T_2}$$

Compte tenu ces relations on peut écrire V_x':

$$V_x' = P_{A/B}^{T_2} - P_{A'/B'}^{0°C} + \int_0^{T_2} (h_{A'} - h_{B'})dT + \int_{T_2}^{T_c} (h_A - h_B)dT + P_{A'/B'}^{T_2} - P_{A/B}^{T_2}$$

On constate qu'il y a égalité de V_x et V_x' à condition que:

$$P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{0°C} + \int_0^{T_2} (h_A - h_B)dT = P_{A'/B'}^{T_2} - P_{A'/B'}^{0°C} + \int_{0°C}^{T_2} (h_{A'} - h_{B'})dT$$

Soit $$E_{A/B}^{T_2 0°C} = E_{A'/B'}^{T_2 0°C}.$$

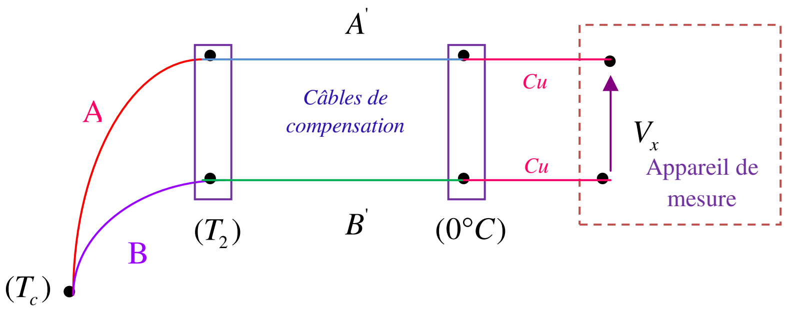

Figure 3.9 : Schéma de montage des câbles de compensation