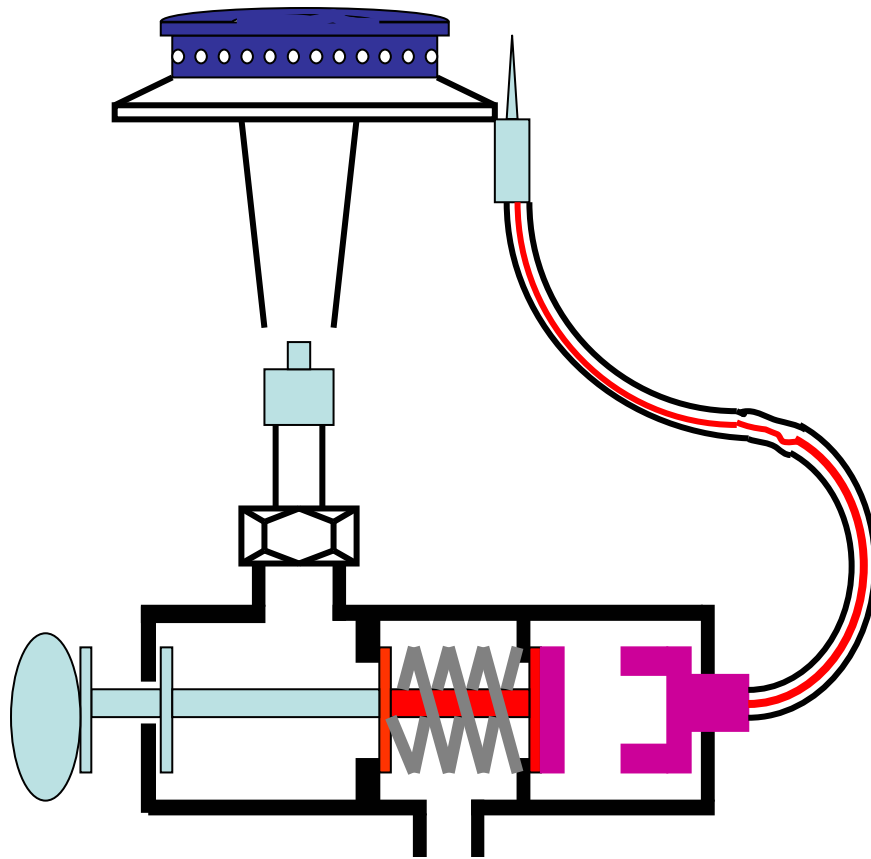


# **THERMOCOUPLES**

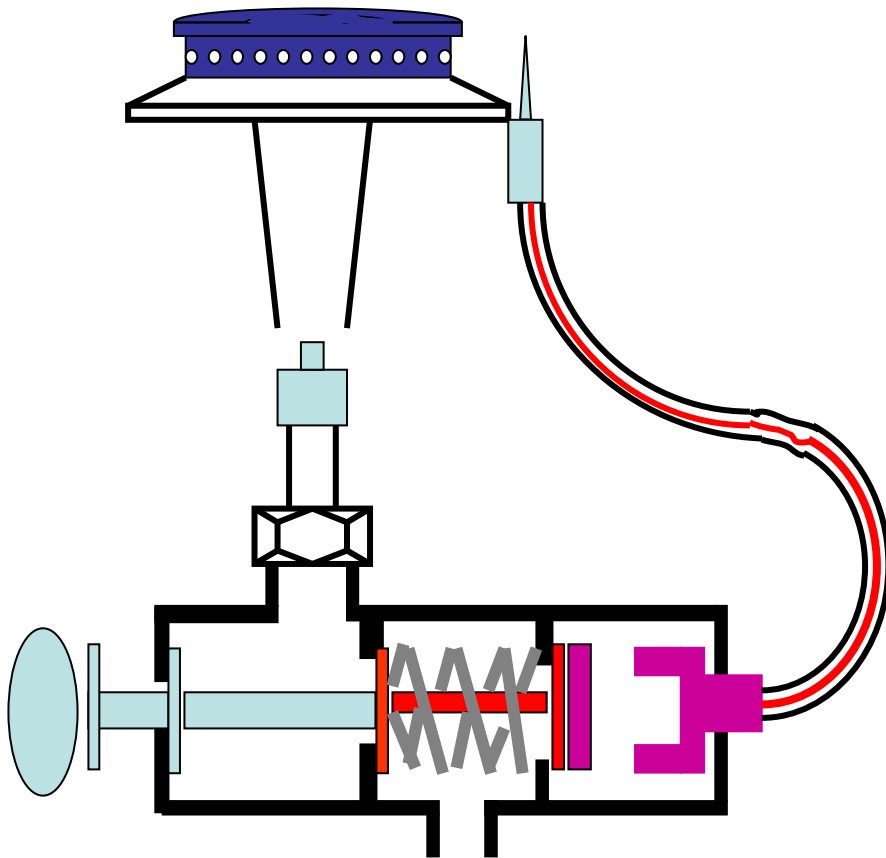
# Le thermocouple



Le thermocouple est un organe de **SECURITE ABSOLUE** qui s'adapte à un brûleur gaz.

Son rôle est de s'assurer de la présence réelle de la flamme et de **FERMER AUTOMATIQUEMENT** le robinet du brûleur dans le cas où la flamme s'éteint, et pour quelle que raison que ce soit (courant d'air, débordement importants, etc.).

# Le thermocouple



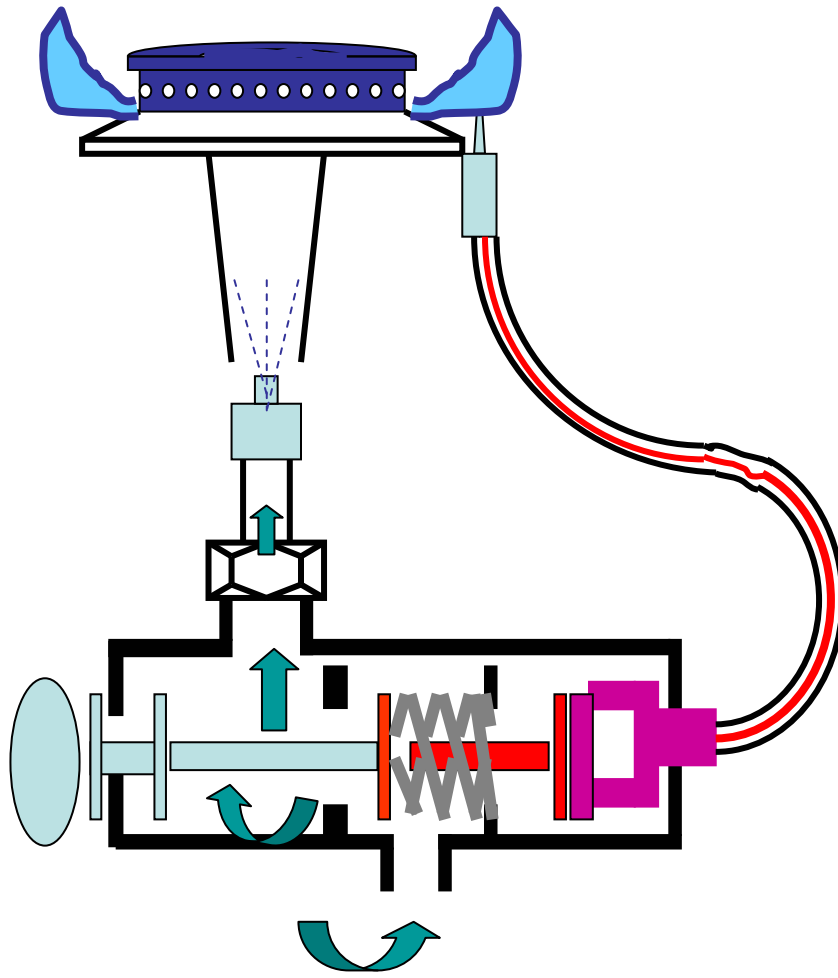
Si la flamme s'éteint par un courant d'air par exemple:

Le sensor n'est plus chauffé, il ne produit plus le mini courant nécessaire à maintenir le clapet . Le ressort ferme alors le clapet et le gaz ne peut plus passer.

Le robinet est **FERME**

La **SECURITE TOTALE** est assuré.

# Le thermocouple



Lorsque l'on appuie sur la manette pour ouvrir le robinet, le gaz peut passer et le brûleur s'allume.

Après un maintien de 3 secondes de la manette appuyée, on peut relâcher.

Ce temps est nécessaire au sensor pour s'assurer de la présence de la flamme, et produire un mini courant qui permet à l'électro-aimant du robinet de le coller, donc de le maintenir ouvert.

Le brûleur fonctionne **SOUS CONTRÔLE DU THERMOCOUPLE.**

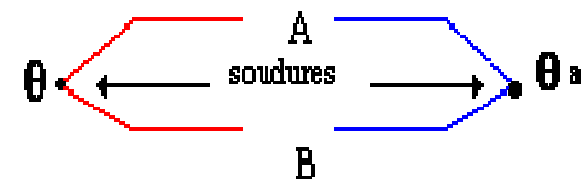
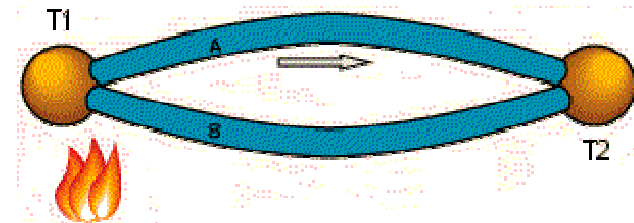
# L'effet thermoélectrique.

## Effet SEEBECK ou effet thermoélectrique.

Considérons un circuit fermé, appelé "thermocouple" formé de 2 conducteurs métalliques (A) et (B), soudés à leurs extrémités. Si nous portons l'une des soudures (ou jonctions) à une température  $q$ , l'autre étant maintenue à une température différente  $q'$ , on peut observer le passage d'un courant électrique, en l'absence de tout générateur électrique.

\* On attribue ce courant à l'apparition d'une f.e.m. thermoélectrique qui dépend des températures  $q$  et  $q'$  et de la nature des deux conducteurs A et B.

Le thermocouple défini ci contre est caractérisé par : son domaine d'utilisation sa "sensibilité"(ou "limite de résolution" ou "seuil de mobilité" ou "mobilité") en  $mV/^\circ C$ , c'est-à-dire la f.e.m. créée par une différence de température :  $(q' - q) = 1^\circ C$ .



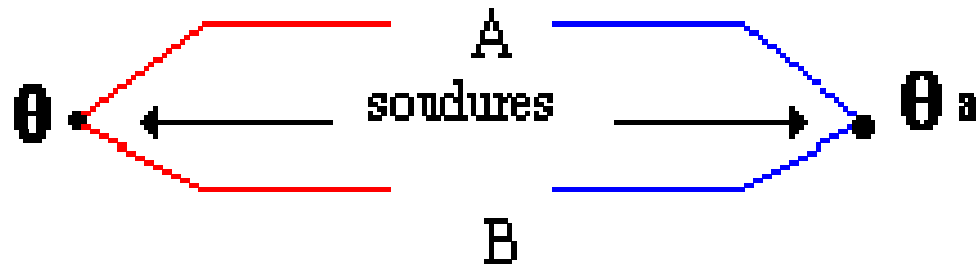
# L'effet thermoélectrique.

\* Enfin dans la nomenclature adoptée pour la f.e.m. thermoélectrique  $e$ , on adopte la convention suivante :

si  $q$  est la soudure "chaude",  $q'$  la soudure "froide" ( $q' < q$ ),  $e$  est positive lorsque le courant produit par le thermocouple circule de A vers B, à la soudure froide.

- il s'ensuit :

$$e(q, q'; A/B) = -e(q', q; A/B) = -e(q, q'; B/A) = e(q', q; B/A)$$



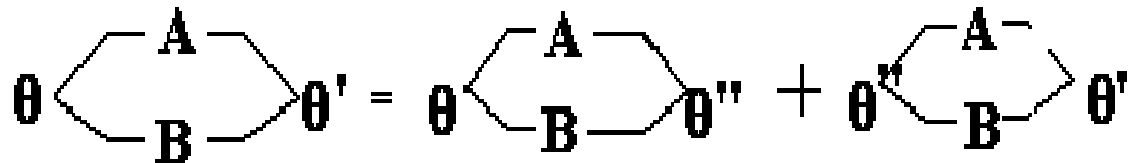
Dans la pratique, il est rare que les circuits thermoélectriques soient simplement constitués de 2 conducteurs uniques et que, d'autre part, il n'existe pas des jonctions à des températures ( $q''$ ) différentes de  $q$  et  $q'$  ; le fait, par exemple, d'intercaler dans le circuit un appareil de mesure réalise l'un et/ou l'autre des deux cas mentionnés ci-dessus.

Les lois suivantes permettent de résoudre de tels problèmes.

# Loi des températures intermédiaires

Considérons un thermocouple A/B et des températures  $q, q', q''$ .

On montre que :  $e(q, q') = e(q, q'') + e(q'', q)$



De la relation ci-dessus, on retire :  $e(q, q') = e(q, q'') - e(q', q'')$

\* Il s'ensuit que, prenant par exemple comme référence  $q'' = 0^\circ\text{C}$ , on peut exprimer la f.e.m. thermoélectrique  $e$  comme la simple différence entre deux valeurs d'une même fonction :

$E_q = e(q, 0)$ , dépendant de la seule température  $q$ , pour le couple A/B.

# Loi des températures intermédiaires

\* Si la fonction  $E_q$  est connue à partir des tables, alors :

$$e(q,q') = e(q,0) - e(q',0) = E_q - E_{q'}$$

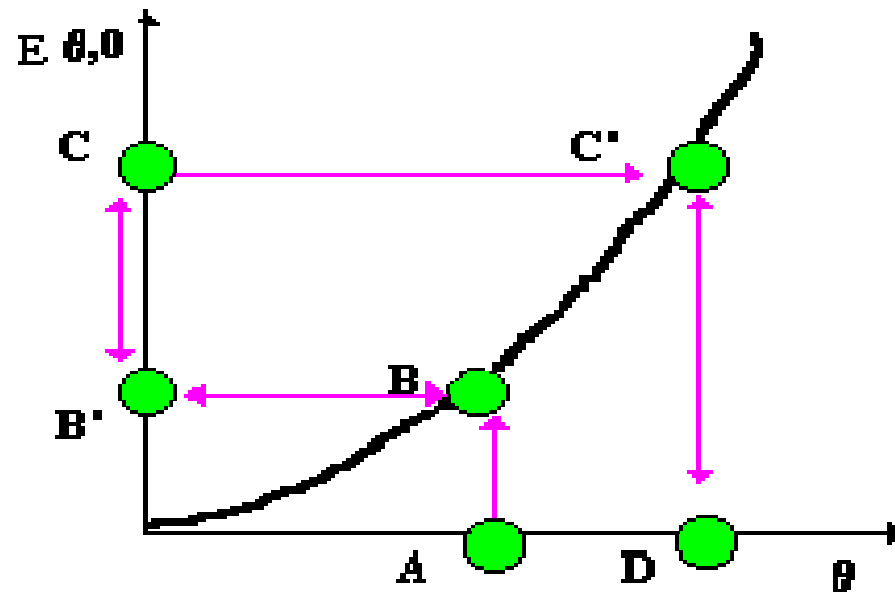
\* Détermination expérimentale de  $q$  à partir des tables de  $E_q$  .

On connaît la température de soudure froide (référence)  $q'$  ----> (point A)  
; d'où  $E_{q'}$  sur l'abaque tracée à partir des tables ----> (points B et B')

On mesure  $e(q,q')$

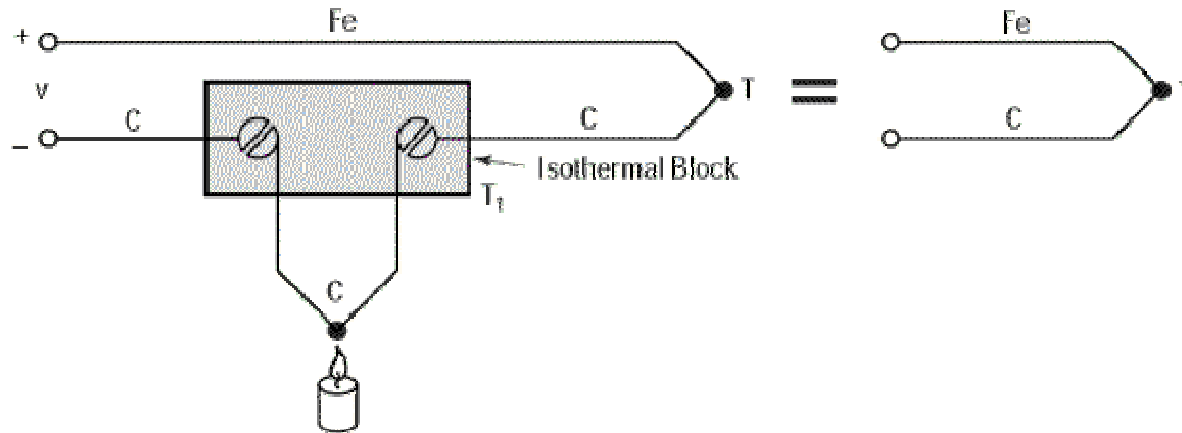
On calcule  $e(q,0)$  ----> (point C)

On en déduit  $q$  ---> (points C', D)



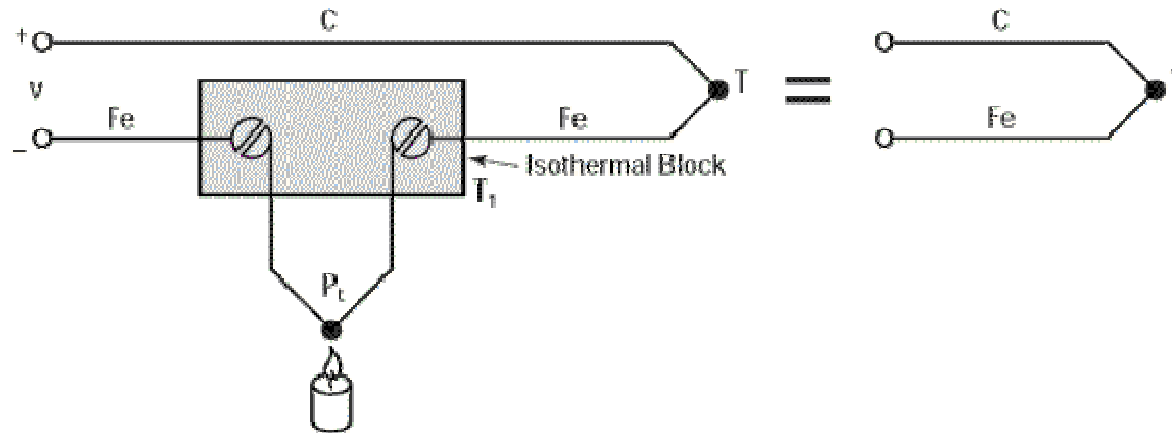


# LOI SUR LES TEMPERATURES INTERNES



**Quelle que soit la température appliquée sur un des fils de mesure du thermocouple, la tension  $V$  ne sera pas modifiée. Dans le circuit ci-dessus, la tension  $V$  est celle d'un thermocouple Fer/Constantan à la température  $T_1$ .**

# LOI DU METAL INSERE

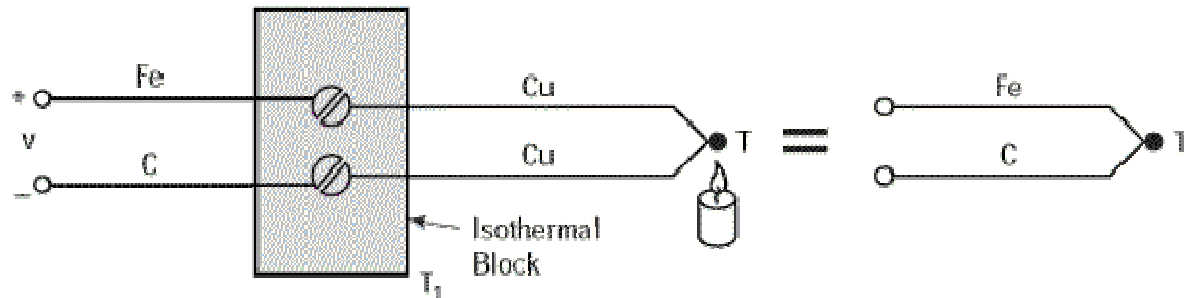
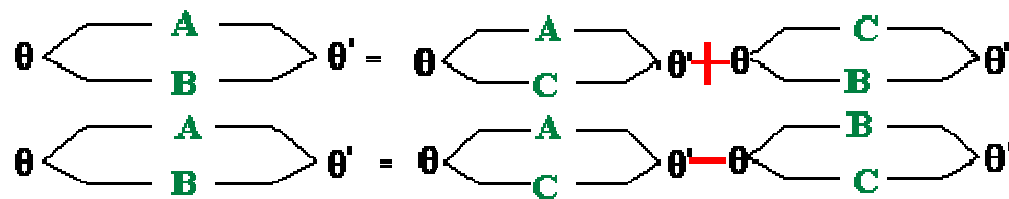


**Quel que soit le métal inséré dans un des fils de mesure du thermocouple e  
Quelle que soit la température de ce métal, la tension V ne sera pas modifié.  
Dans le circuit fermé ci-dessus, la tension V celle d'un thermocouple  
Fer/Constantan à la température T1**

**Pour que les lois empiriques soient applicables, il est impératif que les deux  
jonctions du métal inséré dans le circuit du thermocouple originel soient à la  
même température.**

# Loi des métaux intermédiaires

Considérons un thermocouple (A, B) et intercalons un métal C :



Le conducteur C intercalé **ne provoque aucune modification** si les deux jonctions à A sont à la même température. (notée " q " ci-dessus). **Ce conducteur C peut être, tout simplement, l'appareil de mesure, à une température uniforme ambiante q<sub>a</sub>.**

# Lois des métaux successifs

Considérons des conducteurs A,B,C, différents, permettant de constituer des thermocouples A/B, B/C, A/C. On montre que :

$$\theta \begin{array}{c} \text{A} \\ \text{B} \end{array} \theta' = \theta \begin{array}{c} \text{A} \\ \text{B} \end{array} \theta'' + \theta'' \begin{array}{c} \text{A} \\ \text{B} \end{array} \theta'$$

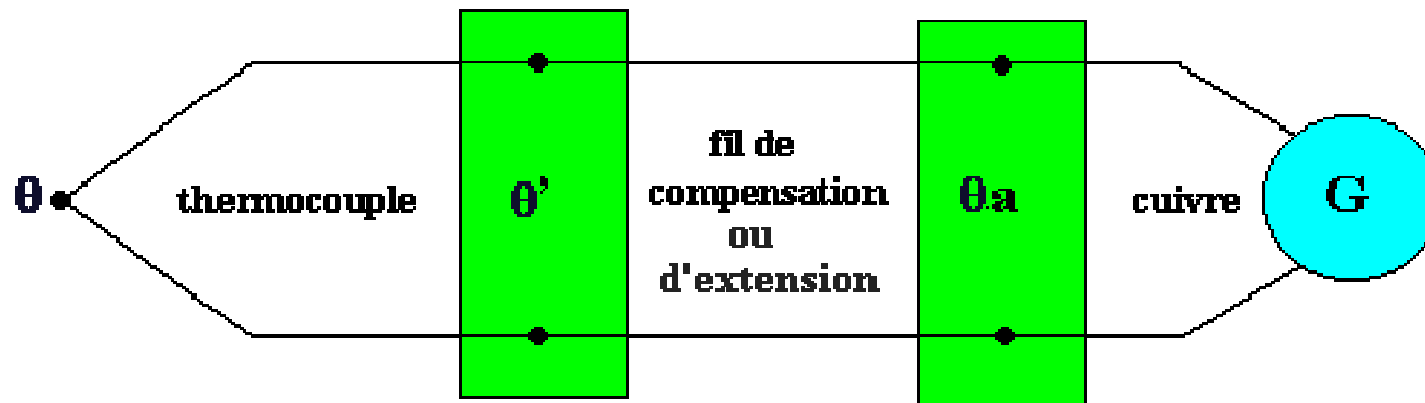
Il ensuit que l'on pourra considérer  $e(A/B)$  comme la différence de deux f.e.m. relatives à des thermocouples constitués de A et B couplés avec le même conducteur C considéré comme référence (on utilise le platine).

# Câbles de compensation

Le thermocouple est coûteux ; il est donc exclus que sa longueur excède quelques mètres.

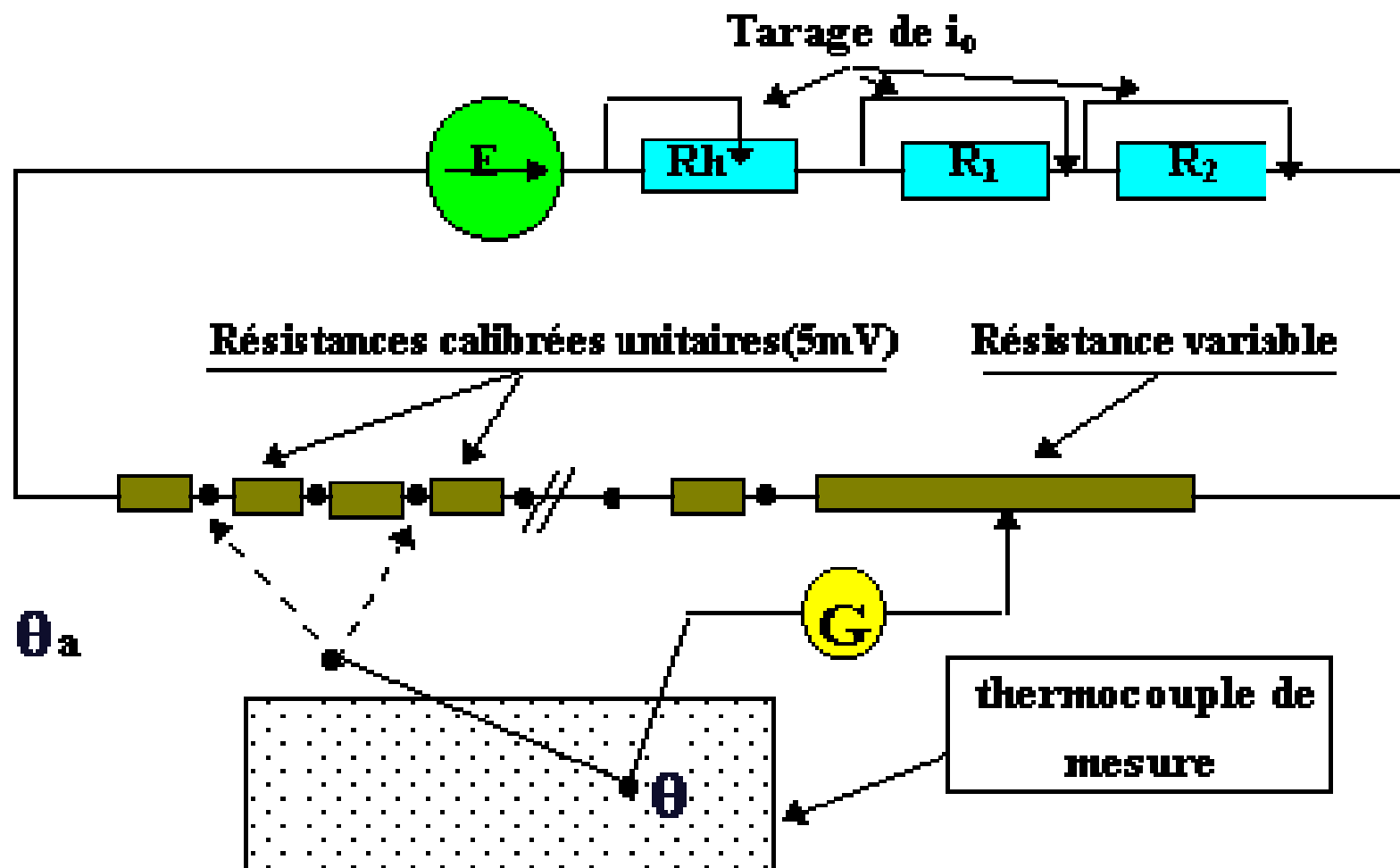
Si la distance entre le lieu de mesure et l'appareil de mesure est importante, alors, on utilise un câble de compensation (a,b) dont le coût au mètre est moindre.

On a alors le montage ci-dessous :



La nature et le sens de montage du câble de compensation sont bien définis pour un thermocouple donné.

# Schéma simplifié du potentiomètre MECl

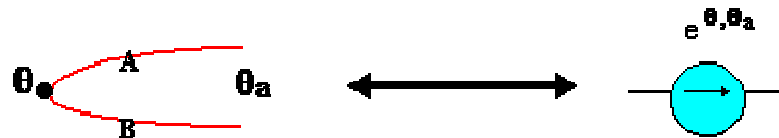


# Les Thermocouples.

Présentation pratique volontairement simplificatrice.

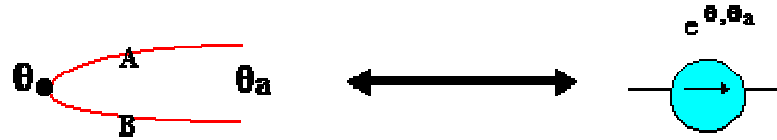
## Présentation du thermocouple

On appelle thermocouple, le système constitué de deux fils métalliques de natures différentes, soudés à l'une de leurs extrémités - appelée "soudure de mesure" ou souvent même "soudure" - et comportant à l'autre extrémité deux "bornes" de raccordement (ou "fils de raccordement"). Ces fils de raccordement sont à la même température ( $q_a$ ) qui est généralement la température ambiante ou celle des bornes de l'appareil de mesure



\* Lorsque  $q$  est différent de  $q_a$ , il apparaît entre les bornes de raccordement une f.e.m. qui dépend du couple métallique A/B et des températures  $q$  et  $q_a$ , sans être pour autant proportionnelle à  $(q - q_a)$ .

# Les Thermocouples.



La nature des fils A et B définit **la valeur et la polarité** de **e**.

Lorsque l'appareil de mesure de **e** est notablement éloigné de la soudure de mesure, on remplace une partie du thermocouple par un "câble de compensation", de coût moins élevé, mais qui fournit cependant, aux bornes de raccordement avec l'appareil de mesure, la même f.e.m. que le thermocouple lui même ; la seule condition est que la température de ses connexions avec le thermocouple soit comprise dans un intervalle déterminé, fixé par le constructeur.



# Détermination de la température

\* Les tables numériques de la littérature fournissent, pour tous les couples A/B, les f.e.m. délivrées lorsque la soudure est à la température  $q$  et les fils de raccordement **à la température de référence de  $0^{\circ}\text{C}$**  ( $q_a = 0^{\circ}\text{C}$ ), soit  $e(q, 0, A/B) = E_q$ . La tension  $e(q, q_a)$ , mesurée aux bornes d'un thermocouple par liaison directe avec l'appareil de mesure à la température ambiante  $q_a$ , ne peut être entrée directement dans les tables ; elle permet cependant le calcul de  $e(q, 0)$ , puis la détermination de la température  $q$  de la soudure, à l'aide de la table, à condition de réaliser la somme suivante :

$$e(q, 0) = e(q, q_a) + e(q_a, 0)$$

\* En pratique, il suffit donc de rajouter à la valeur  $e(q, q_a)$  mesurée expérimentalement, la tension  $e(q_a, 0)$  fournie par les tables à partir de la connaissance de la température  $q_a$  des fils de raccordement (température ambiante).

## Résumé :

On mesure  $e(q, q_a)$  (soudure de mesure à  $q$ ,  $q_a$  température ambiante).

On note la température ambiante  $q_a$  .

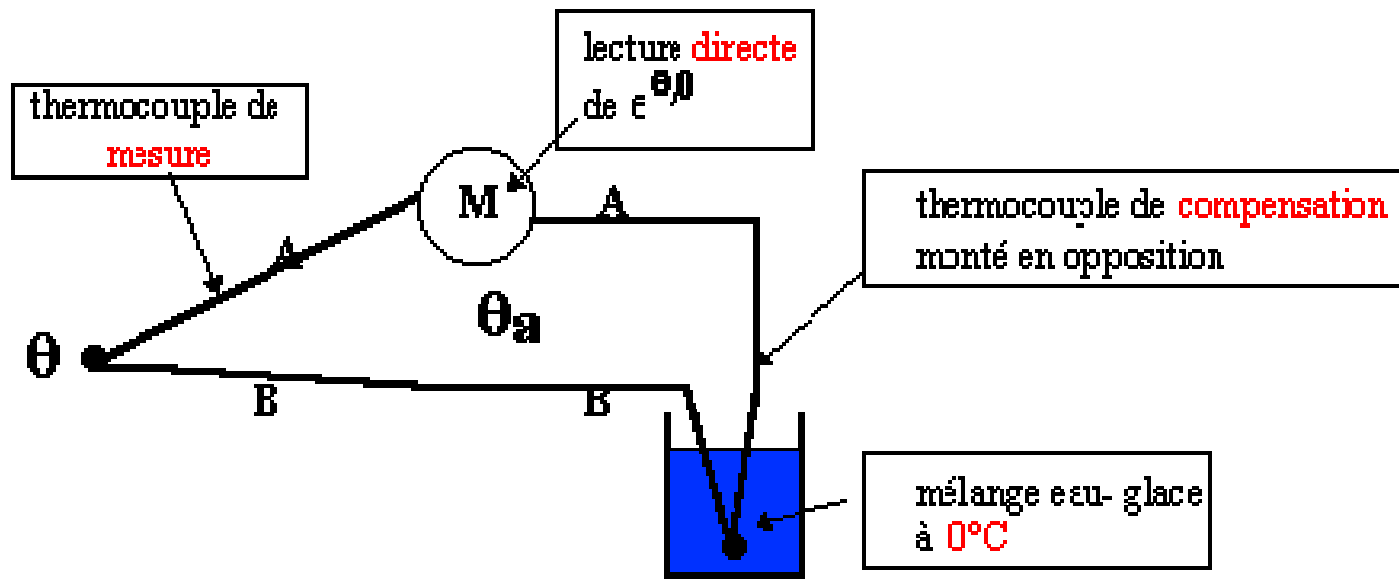
On recherche dans la table la valeur de  $e(q_a, 0)$ , que l'on ajoute à  $e(q, q_a)$  pour obtenir  $e(q, 0)$  .

On cherche dans la table numérique appropriée la valeur de  $q$  associée à celle de  $e(q, 0)$ .

- **"Compenser le thermocouple"** ou **"compenser la soudure froide"** consiste à ajouter une tension  $e(q_a, 0)$  à celle  $e(q, q_a)$  mesurée. Trois solutions sont adoptées pour réaliser cette somme :

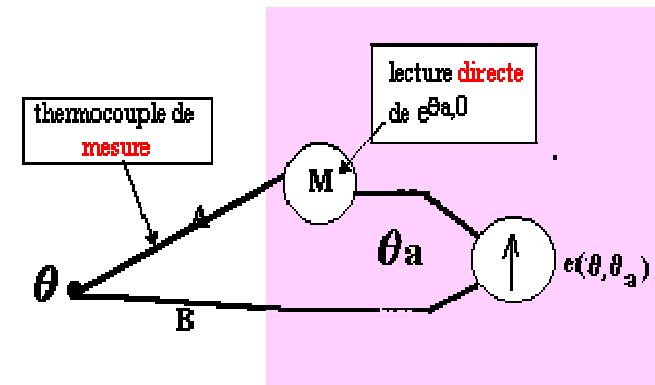
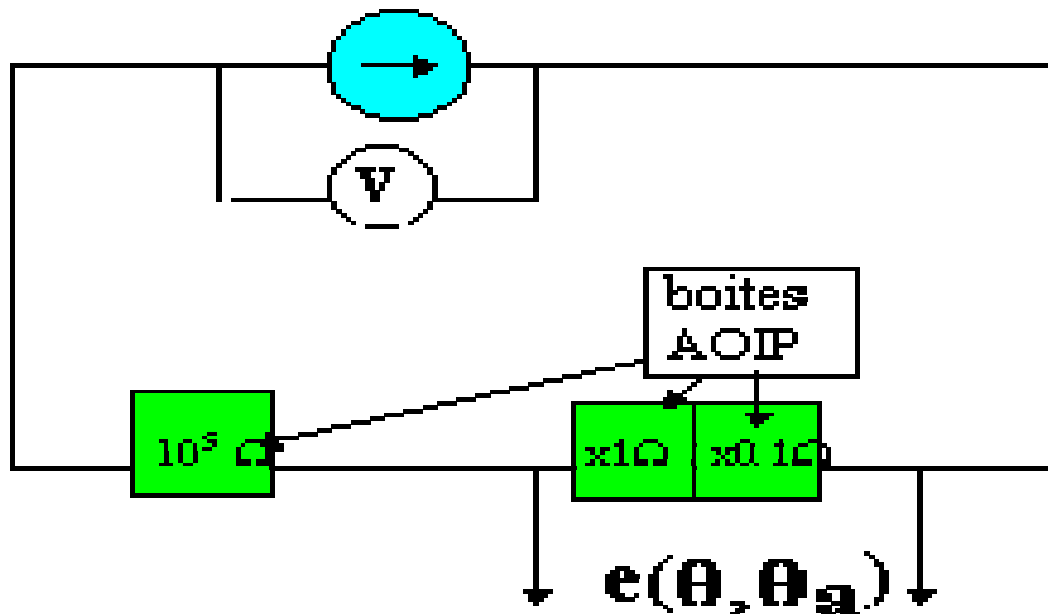
# Thermocouple de compensation

On place dans le circuit du thermocouple de mesure, un autre thermocouple de même nature que le premier, dont la soudure de mesure est à  $0^{\circ}\text{C}$  dans un mélange eau/glace. Ce dernier délivre une tension  $e(0, q_a)$  opposée à celle qu'il faut rajouter à  $e(q_a, 0)$ . Il suffit donc de le placer **en opposition** avec le thermocouple de mesure. On lit alors directement  $e(q, 0)$  sur l'appareil de mesure de  $e$  (d'où  $q$  avec la table numérique).



# Compensation électrique

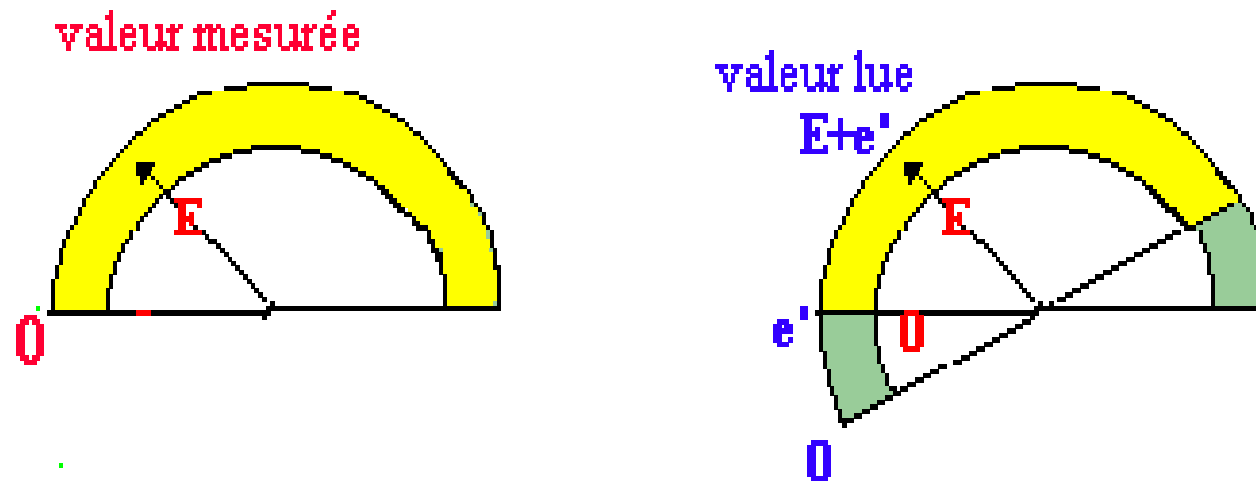
On réalise électriquement la tension à compenser. Il faut alors prendre garde de bien la mettre en série avec  $e(q, q_a)$ . La tension de compensation peut être mise en œuvre dans le circuit simple ci-dessous :



NB : la tension électrique  $e(q_a, 0)$  est générée de façon automatique dans les montages dits "à compensation automatique" qui fournissent donc directement  $e(q, 0)$ , quelle que soit  $q_a$ . La température  $q_a$  varie cependant dans un intervalle généralement assez restreint.

# Compensation par décalage d'échelle

Si la mesure de  $e$  est réalisée sur une échelle, ajouter  $e(qa,0)$  revient à "déplacer" ou "décaler" l'échelle de lecture. Ainsi, pour une position de l'aiguille correspondant à une tension mesurée égale à  $E$ , on lit  $E + e'$ ,  $e'$  étant le décalage d'échelle réalisé. Il suffit alors de prendre  $e' = e(qa,0)$ .



Décalage d'échelle

# SENSIBILITE DU MOYEN DE MESURE

Type de Thermocouple	Coefficient de Seebeck à 25 °C ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )	Sensibilité pour 0.1 °C ( $\mu\text{V}$ )
E	61	6.1
J	52	5.2
K	40	4.0
R	6	0.6
S	6	0.6
T	41	4.1

**Pour un thermocouple très utilisé type K, le voltmètre doit avoir une précision de  $4 \mu\text{V}$  pour détecter une variation de  $0,1^\circ\text{C}$ .**

**Ce qui veut dire que le voltmètre doit avoir une résolution d'au moins  $0,4 \mu\text{V}$  (10 fois plus faible que la précision demandée) pour pouvoir garantir avec justesse et récurrence, la précision nécessaire.**

**C'est encore plus nécessaire pour les voltmètres utilisés avec les thermocouples de type R ou S qui, pour détecter une variation de  $0,1^\circ\text{C}$ , doit avoir une résolution d'au moins  $0,06 \mu\text{V}$**