

## Montage de physique n°5 : Mesure de température

Guillaume Simon - 29 janvier 2016

La température est l'une des grandeurs physiques dont la mesure est la plus fréquente, que ce soit dans notre vie quotidienne ou dans l'industrie et la recherche. Il apparaît donc nécessaire de définir une échelle de température ainsi que des moyens de mesure. Les manipulations suivantes vont introduire les principes des dispositifs mécanique, électrique et optique de référence permettant de mesurer la température sur différentes gammes.

### I. Thermomètre à gaz. Echelle de température absolue

A basse pression, les gaz peuvent être considérés comme parfaits. De ce fait, la pression d'un gaz enfermé dans un récipient indéformable fermé est proportionnelle à sa température ( $n$  et  $V$  constants). Nous pouvons donc établir l'échelle de température absolue en mesurant la pression d'un gaz dans certaines conditions précises.

Matériel :

- un ballon monocol et un bouchon (avec un trou)
- deux béchers (1 L chacun)
- un manomètre et un tuyau
- un thermomètre (thermistance)
- un système de chauffage électrique
- de l'eau distillée (glace pilée et liquide) et de la pierre ponce
- pinces, potence, noix de serrage, support élévateur

Protocole :

- boucher le ballon rempli d'air chaud et le relier au manomètre
- relever les pressions  $P_1$  et  $P_2$  de l'air lorsque le ballon est plongé dans un mélange eau + glace pilée et dans de l'eau distillée en ébullition (d'abord dans l'eau en ébullition et ensuite dans la glace pilée)

- afin de mesurer la température ambiante, relever aussi la pression  $P_3$  lorsque le ballon est en équilibre avec l'air ambiant



Thermomètre à gaz plongé dans le mélange eau + glace pilée

L'air est assimilé à un gaz parfait, donc  $PV = nRT$ .

Dans le mélange eau + glace pilée,  $P_1 = \frac{nR}{V}T_1$   
et dans l'eau distillée en ébullition,  $P_2 = \frac{nR}{V}T_2$ .

De plus,  $T_2 - T_1 = 100$  K. Par conséquent :

$$T_1 = \frac{100P_1}{P_2 - P_1}$$

Résultat des mesures :

$$P_1 = (830 \pm 10) \text{ hPa}$$

$$P_2 = (1180 \pm 10) \text{ hPa}$$

$$P_3 = (900 \pm 10) \text{ hPa}$$

Le calcul donne  $T_1 = (240 \pm 10)$  K et  $T_2 = (340 \pm 10)$  K.

L'incertitude relative sur la mesure de  $T_1$  par rapport à la valeur "de référence"  $T_{\text{réf}} = 273,15$  K est de 12 %.

En considérant les deux points expérimentaux  $(T_1, P_1)$  et  $(T_2, P_2)$ , nous obtenons la relation linéaire  $P = 3,5 \cdot T - 1,26$  et nous en déduisons  $T_3 = (293 \pm 3)$  K. La température de l'air ambiant au moment de la mesure de  $P_3$  était  $T_{\text{amb}} = (296,7 \pm 0,5)$  K (mesure avec la thermistance). L'incertitude relative sur la mesure de  $T_3$  par rapport à cette valeur vaut ainsi 1,2 %.

### Sources d'erreurs de mesure :

- équilibre thermodynamique pas tout à fait établi au moment du relevé de pression
- traces d'eau dans le ballon
- fuite d'air entre les différentes mesures (n n'est pas constante)
- erreur due au manomètre
- l'eau distillée n'est pas de l'eau pure
- tout l'air du ballon, du tuyau et de la cellule du manomètre n'est pas à la même température

### Améliorations possibles :

- afin d'évaluer l'erreur systématique sur la mesure de pression due au manomètre, mesurer la pression atmosphérique avec un manomètre étalonné et le manomètre de mesure (ou relever la valeur donnée par Météo France)
- la différence entre les températures de fusion et d'ébullition de l'eau ne vaut pas tout à fait 100 K selon la pression de l'air ambiant (cf Handbook)

## **II. Thermocouple**

La mesure de la fem E aux bornes d'un thermocouple dont les deux soudures sont portées à deux températures  $T_1$  et  $T_2$  permet de remonter à la différence entre ces deux températures. En maintenant l'une des deux soudures à une température constante et en étalonnant le thermocouple, nous pouvons mesurer la température avec celui-ci.

Matériel :

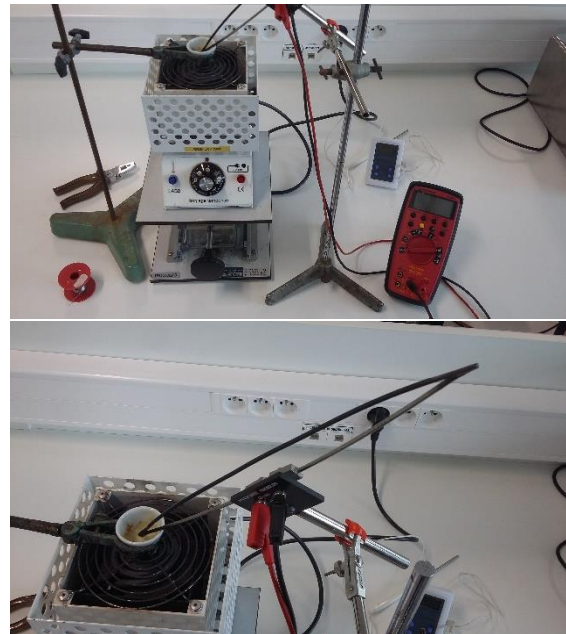
- un thermocouple (celui utilisé ici est de type J, fer - cuivre/nickel)
- un millivoltmètre et des fils
- un thermomètre (thermistance)
- un système de chauffage électrique
- un creuset et du fil de soudure (étain/plomb)
- un bain d'eau thermostaté
- pinces, potences, noix de serrage, support élévateur

Protocole :

- étalonner le thermocouple avec le bain d'eau thermostaté et la

thermistance et tracer la droite d'étalonnage  $E = a \cdot T + b$

- mesurer la fem aux bornes du thermocouple lorsque sa soudure chaude est au contact de l'alliage étain/plomb qui entre en fusion et sa soudure froide à l'air ambiant



Montage du thermocouple pour mesurer la température de l'eutectique étain/plomb

Etalonnage :

- plonger la soudure chaude du thermocouple et la sonde de la thermistance dans l'eau, la soudure froide est maintenue dans l'air ambiant (dont on mesure la température avec la thermistance avant de démarrer l'étalonnage)

- relever la fem E et la température T affichées sur le millivoltmètre et le boîtier de la thermistance

- tracer la courbe d'étalonnage et effectuer la régression linéaire (cf figure 1 en annexe)

- $\Delta T = \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  car la sonde ne mesure pas directement la température de la soudure, son temps de réponse n'est pas instantané et l'eau est en mouvement dans le bain (agitation)

- $\Delta E = \pm 0,2 \text{ mV}$  du fait des erreurs de lecture et de la précision du millivoltmètre

Mesure de la température de fusion de l'eutectique : - positionner la soudure chaude dans le creuset ainsi que des morceaux de l'alliage

- relever la température de l'air ambiant
- chauffer le creuset et relever la fem E lorsque l'alliage entre en fusion
- en déduire la température de fusion mesurée  $T_{mes}$  avec l'étalonnage

En préparation, j'ai obtenu  $E = (7 \pm 1)$  mV, soit une température de fusion  $T_{mes} = (165 \pm 20)$  °C, ce qui donne un écart relatif de 10 % par rapport à la valeur tabulée  $T_{tab} = 183$  °C (Handbook).

Lors de la présentation,  $E = (5 \pm 1)$  mV, soit  $T_{mes} = (120 \pm 20)$  °C et 34 % d'écart relatif.

Sources d'erreurs de mesure : - la soudure chaude n'est pas bien au contact de l'alliage lorsqu'il entre en fusion

- la soudure froide n'est pas tout à fait à la même température que lors de l'étalonnage (1 à 2 °C de différence) et sa température n'est pas constante lors du chauffage
- l'alliage utilisé n'a pas tout à fait la composition de l'eutectique, donc la fusion ne s'effectue pas à température constante, d'où une erreur d'évaluation de la fem

Améliorations possibles : - utiliser un thermocouple "déformable" afin de pouvoir introduire correctement la soudure froide dans un bécher contenant un mélange eau + glace pilée

- faire fondre l'alliage, introduire la soudure chaude et enregistrer les variations temporelles de la fem (une amplification peut être nécessaire) au cours du refroidissement et de la solidification de l'alliage afin d'être plus précis dans l'évaluation de la température de fusion de l'eutectique

- utiliser de l'étain pur ( $T_{fus} = 231,928$  °C)

### III. Pyromètre à disparition de filament

En réalisant l'égalité des luminances de deux ampoules à incandescence, dont l'une au moins est préalablement étalonnée (variations de la résistance du filament de tungstène selon sa température), nous pouvons mesurer la température du filament de la seconde.

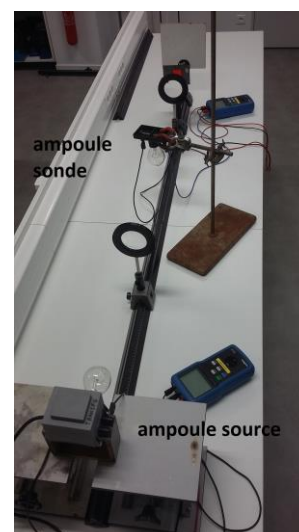
Matériel : - deux ampoules à incandescence

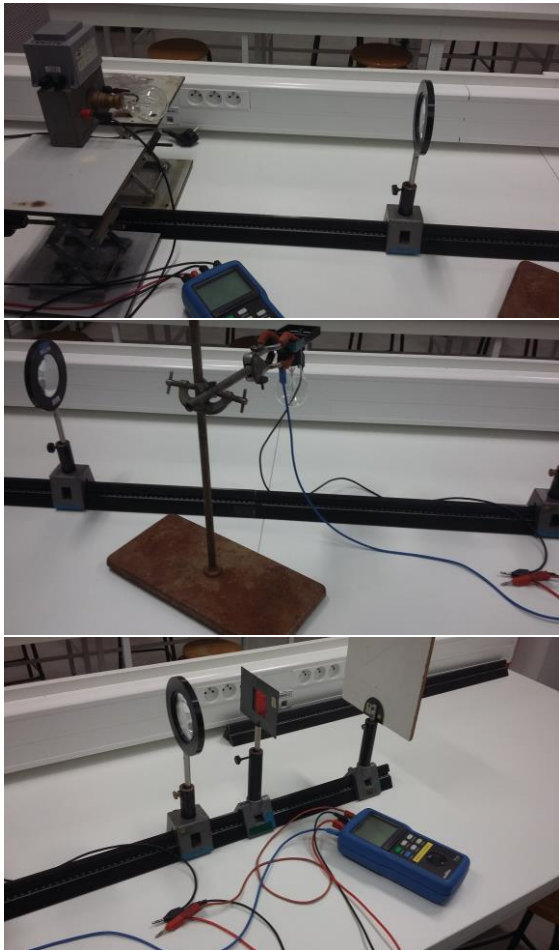
- deux alternostats
- deux wattmètres, un ohmètre et des fils
- une étuve
- un thermomètre (thermistance)
- deux lentilles convergentes
- un filtre rouge, un écran
- banc d'optique et supports
- pinces, potence, noix de serrage, supports élévateurs

Protocole : - étalonner les deux ampoules avec l'étuve et la thermistance et tracer la droite d'étalonnage  $R = a \cdot T + b$  pour chacune

- réaliser le montage 4f' du pyromètre (cf photos)

- mesurer la température de la source en réglant l'alimentation électrique de la sonde de manière à ce que les images sur l'écran des deux filaments aient le même "éclat" ; répéter la mesure pour différentes conditions d'alimentation de la source





Montage du pyromètre à disparition de filament

Étalonnage : - placer l'ampoule (reliée à l'ohmètre) et la sonde de la thermistance dans l'étuve

- relever la résistance R du filament en tungstène et la température T affichées sur l'ohmètre et le boîtier de la thermistance lors de la descente en température (les variations de température sont plus lentes donc les erreurs dues à l'inertie thermique de l'ampoule sont plus faibles que lors de la montée en température)

- tracer la courbe d'étalonnage et effectuer la régression linéaire (cf figures 2 et 3 en annexe)

-  $\Delta T = \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  car la sonde ne mesure pas directement la température du filament (inertie thermique du verre, du gaz et du

filament de l'ampoule) et son temps de réponse n'est pas instantané

-  $\Delta R = \pm 0,2 \text{ } \Omega$  du fait des erreurs de lecture et de la précision de l'ohmètre

Mesure de la température du filament de la source : - fixer l'alimentation électrique de la source

- faire varier les conditions d'alimentation de la sonde afin d'obtenir la même luminance des filaments, c'est-à-dire le même "éclat" des images des filaments sur l'écran

- relever la tension et l'intensité du courant d'alimentation de la sonde, en déduire la résistance R du filament puis sa température  $T_1$  avec l'étalonnage de la sonde ; cette température est aussi celle du filament de la source étant donné qu'il y a égalité des luminances

- comparer le résultat de cette mesure avec la température  $T_2$  déduite du relevé de la tension et de l'intensité du courant d'alimentation de la source et de l'étalonnage de celle-ci

La différence entre les températures mesurées  $T_1$  et  $T_2$  varie entre 900 et 1730  $^\circ\text{C}$  (cf figure 4). Les mesures sont donc très imprécises.

Principales sources d'erreurs de mesure :

- le réglage de l'égalité des luminances se fait à l'œil et introduit donc une erreur importante sur  $T_2$

- l'extrapolation linéaire aux hautes températures de l'étalonnage des filaments est fautive (évolution en  $T^3$  de la résistance)

Améliorations possibles : - relever les valeurs de la résistivité et du facteur de dilatation du tungstène en fonction de la température (Handbook) pour déterminer la résistance du filament

- utiliser la seconde lentille comme un diaphragme d'ouverture

### Bibliographie :

- L. Quaranta, Dictionnaire de physique expérimentale (tome II, la thermodynamique), Pierron
- G. Asch, Les capteurs en instrumentation industrielle, Dunod

### Figures :

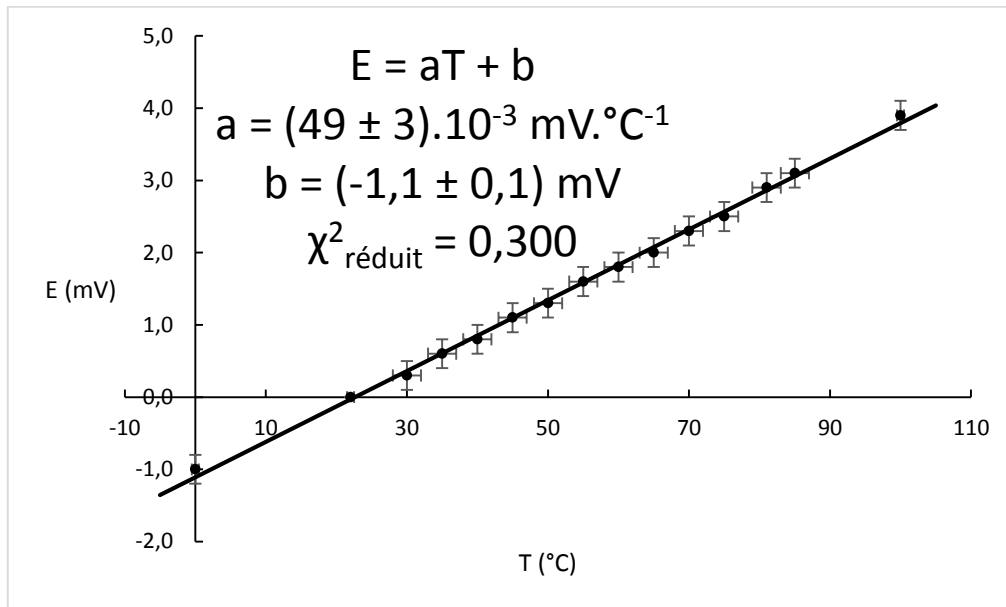


Figure 1 : étalonnage du thermocouple

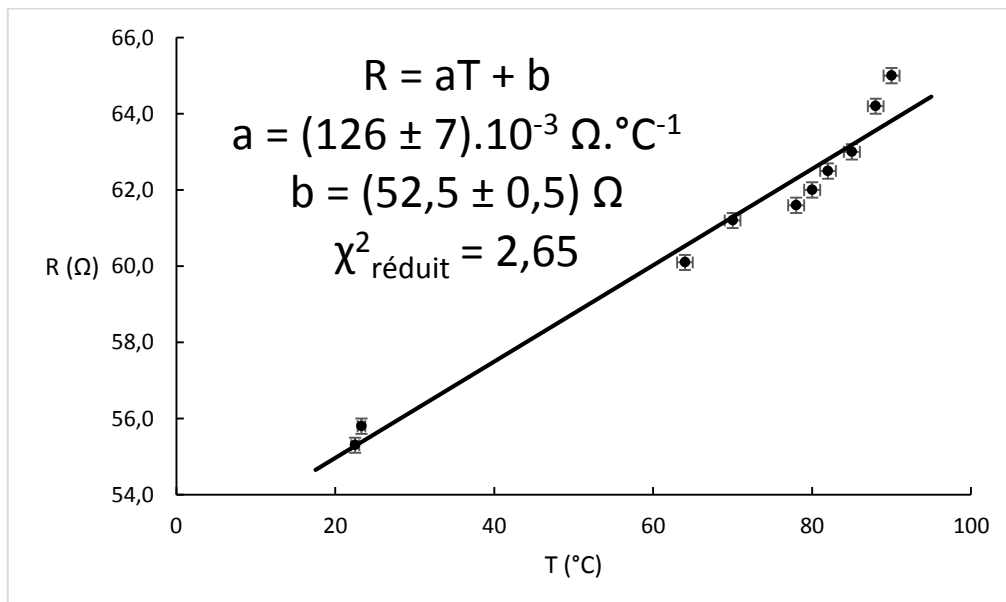


Figure 2 : étalonnage de l'ampoule sonde

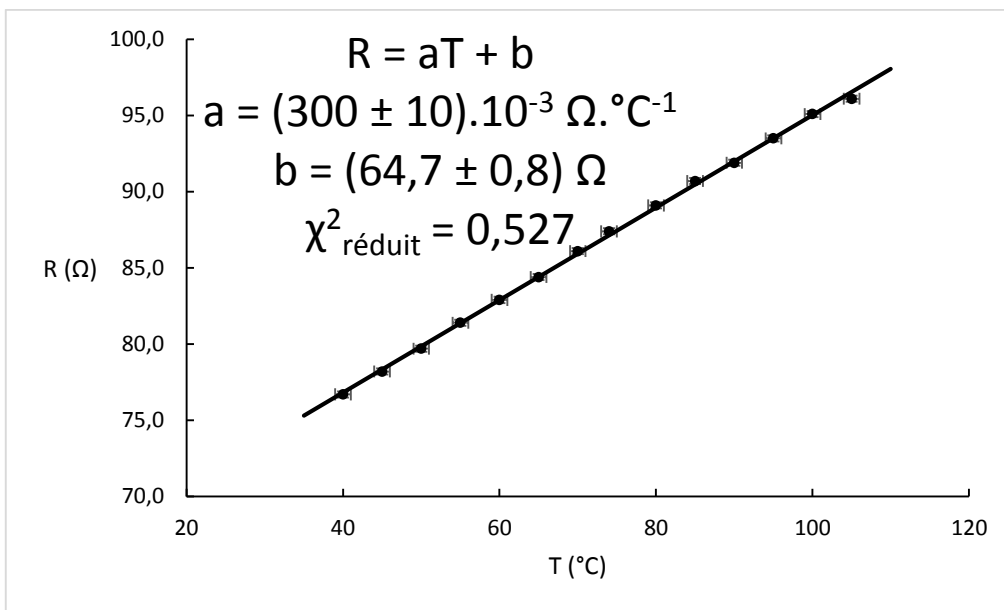


Figure 3 : étalonnage de l'ampoule source

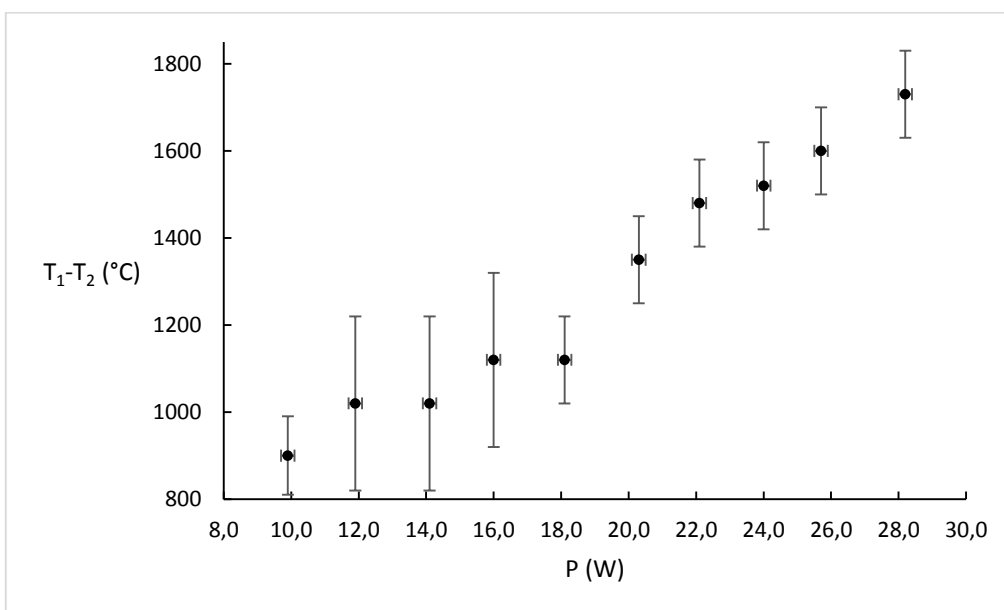


Figure 4 : évolution de la différence de températures mesurées  $T_1 - T_2$  selon la puissance électrique fournie à la source