

MP05 : Mesure de température

Armel JOUAN, Géraud DUPUY

June 6, 2021

Introduction

Kelvin une des 7 unités de base du SI. Chez soi, quatre capteurs de grandeur : règle, balance, horloge et **un thermomètre**. On va voir dans ce montage comment réaliser une mesure de température (duh!).

Utiliser le bain thermostaté pour les manips 1, 2.1, et 2.2 simultanément.

1 Thermomètre à gaz de SF_6 [1], [2]

1.1 Principe

Matériel :

- module SF_6 avec manomètre, **bain thermostaté**, et boîte en plastique pour récupérer les fuites
- thermocouple de type K
- beaucoup de patience

Thermomètre à gaz : utilisé dans les labos de métrologie (avec une meilleure sensibilité sur la pression) pour étalonner d'autres capteurs de température.

1.2 Exploitation

- Etalonnage du capteur (tracé des courbes $PV = f(\frac{1}{V})$) avec mesure de l'ordonnée à l'origine nRT pour différentes températures (de 20 à 45°C par pas de 5°C typiquement, mesurées avec le thermocouple joint au système), pour à chaque une dizaine/quinzaine de valeurs de pression (entre 10 et 20 bars)
- Tracé de $nRT = f(T)$ pour obtenir la valeur de n et en déduire la sensibilité nR

- **Incertitude-type** $\sigma(T) = \frac{\sigma(nRT)}{nR}$ où $\sigma(nRT)$ est l'incertitude-type sur la valeur de l'ordonnée à l'origine.
- Mesure d'une température avec ce capteur (tracé d'une droite $PV = f(\frac{1}{V})$) pour une température arbitraire (prendre 5 points)
- Comparaison avec la température donnée par le thermocouple, conclure sur la justesse du capteur et sa précision.

1.3 Remarques

- Dire qu'en laboratoire, l'incertitude sur la mesure de P est bien moindre, et que de fait la résolution du capteur est bien meilleure, et en fait un bon candidat à l'étalonnage d'autres capteurs de température.
- Transition vers l'effet Seebeck : on a ici utilisé pour étalonner en température un thermocouple à effet Seebeck, capteur beaucoup plus "commun", dont on va détailler le fonctionnement. Normalement, l'étalonnage se fait plutôt dans le sens inverse.

2 Capteurs de température [1], [3]

2.1 Thermocouple à effet Seebeck [1], [3]

2.1.1 Principe

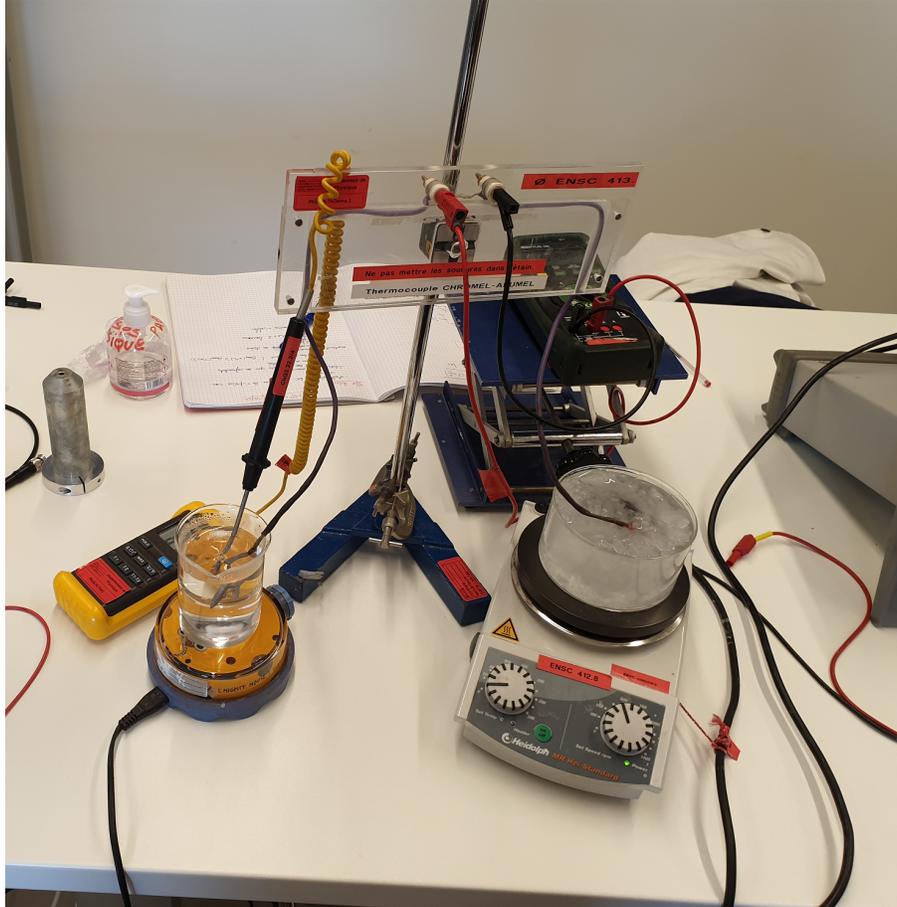
Matériel :

- Thermocouple de démo chromel-alumel
- Potence
- deux thermocouples de type K + un lecteur double voies
- Multimètre de haute précision
- Un bécber + un agitateur magnétique + de la glace
- papier d'aluminium
- support élévateur

On accroche le thermocouple de démo à une potence. On trempe une des jonctions dans un bécber rempli de glace puis complété d'eau, sous agitation pour garantir une homogénéité de la température proche de 0°C au niveau de la jonction. On trempe l'autre jonction dans le bain thermostaté. De chaque côté, on trempe également un thermocouple de type K pour avoir une lecture des deux températures T_1 et T_2 sur le

lecteur 2 voies.

On prend une série de points (typiquement entre 20 et 70°C, en chauffant avec le bain thermostaté) pour pouvoir tracer $\Delta V = f(\Delta T = T_2 - T_1)$ et en déduire la sensibilité.



2.1.2 Exploitation

- Présenter l'effet Seebeck
- En préparation, on trouve $s_{exp} = (40,9 \pm 0,5)\mu V/K$, ce qui corrobore bien la valeur tabulée $s_{tab} = 41\mu V/K$. L'ajustement linéaire **fonctionne très bien**.
- Calculer la sensibilité, l'**incertitude-type**, et éventuellement évaluer le temps de réponse du capteur (en imposant une brusque variation de température).

2.1.3 Remarques

- Parler de choix de capteur adapté à la mesure de température que l'on souhaite réaliser : différents alliages de thermocouples.

- Evoquer le fait qu'on se place sur une gamme de linéarité (aller chercher des données/ODG pour étayer le propos).
- Transition : Jusqu'à maintenant, on a effectué des mesures relatives de température (rapport d'ordonnées à l'origine pour le thermomètre à gaz, de tension pour le thermocouple). Il y a donc nécessité d'une référence de température.

2.2 Thermistance CTN [3]

2.2.1 Principe

Matériel :

- Thermistance CTN + boîtier de montage 4 fils (caisse "Thermo couple, boîtier 4 fils")
- Multimètre de précision

Tremper la thermistance dans le bain thermostaté (température donné par un thermocouple qui y trempe), raccorder au boîtier 4 fils et au multimètre.

La résistance d'une CTN varie comme ([3] p.342):

$$R = R_{\infty} e^{E_g/2k_B T}$$

On prend une série de points (en même temps que le thermocouple) pour pouvoir tracer $R = f(T)$. On peut si on veut faire une régression linéaire $\ln(R) = f(1/T)$.

2.2.2 Exploitation

- Présenter le principe de la thermistance (voir [3]) et du montage 4 fils.
- Prendre un point pour une valeur de température, et compléter l'ajustement linéaire pour en déduire E_g
- Calculer la sensibilité et l'incertitude-type du capteur (comme pour le thermocouple).

2.2.3 Remarques

- Parler de choix de capteur adapté à la mesure de température que l'on souhaite réaliser : différents alliages de thermocouples.
- Evoquer le fait qu'on se place sur une gamme de linéarité (aller chercher des données/ODG pour étayer le propos).
- Transition : Jusqu'à maintenant, on a effectué des mesures relatives de température (rapport d'ordonnées à l'origine pour le thermomètre à gaz, de tension pour le thermocouple). Il y a donc nécessité d'une référence de température.

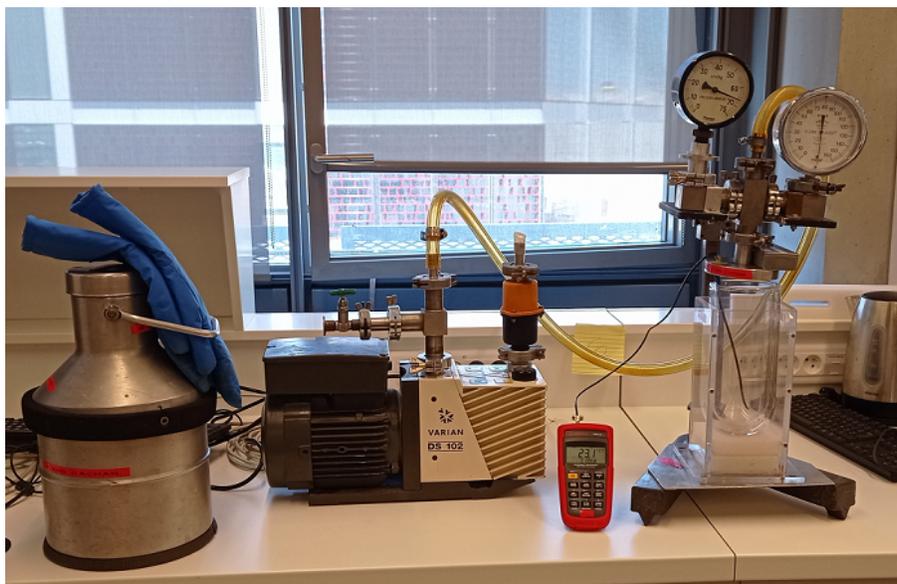
3 Point triple de l'azote [1]

3.1 Principe

Matériel :

- cuve en plexiglas avec tube de verre
- potence avec joint et manomètre pour sceller le tube
- pompe à vide
- lecteur de thermocouple de type T (modèle noir)
- azote liquide et gants !

On remplit le tube (placé dans la cuve en plexiglas) de moitié d'azote liquide (mettre des gants !) de telle sorte que lorsque l'ébullition s'arrête, le tube soit rempli au tiers d'azote liquide. On selle le système en veillant à bien placer le thermocouple (type T) dans l'azote, et le joint pour assurer l'herméticité. On raccorde le tout à la pompe, et on met le tube de sortie de la pompe à la fenêtre pour évacuer l'azote à l'extérieur de la salle. On lance alors la pompe et on mesure la pression et la température dès lors que l'on voit l'apparition de solide (on est alors au point triple !).



3.2 Exploitation

On mesure conjointement la température et la pression du point triple de l'azote.

$$P_{th} = (125,3)\text{mBar}$$

$$T_{th} = (-210,1)^{\circ}\text{C}$$

3.3 Remarques

- Si problème, couper la pompe puis ouvrir doucement la valve verte pour ramener le système à pression atmosphérique.

Bibliographie

[1] CR MP05 2020 Yann

[2] Physique expérimentale, De Boeck, p.370

[3] Physique expérimentale, EDP Sciences, Jolidon, p.339

Conclusion

On a vu comment élaborer un capteur de température à partir de mesures indirectes de celle-ci. On peut imaginer appliquer ce capteur à des mesures de température dans des cadres très variés. Ouverture vers d'autres cadres de mesure de température où d'autres méthodes doivent être mises en place : condensat d'atomes froids, étoile, amas de galaxie, etc.

4 Questions, Remarques

- Conversion bar-mmHg ?
- Correction liée au ménisque du mercure sur la mesure du volume ? Erreur systématique masquée par l'erreur aléatoire.
- Conséquence sur la pression d'un ménisque courbé ? Loi de Laplace, avec $\gamma_{Hg} \sim 0,4 - 0,5 J/m^2$. Influence négligeable (correction sur la pression très petite devant le bar)
- Attention à ne pas parler de capteur de température pour le SF_6 ! Par définition, un capteur est un dispositif qui associe une grandeur électrique de sortie à une grandeur physique d'entrée (cf MP04).
- Parler **d'incertitude type** et non pas de résolution.