

# COMPTE RENDU DE MONTAGE

---

## MP 05 : Mesure de température

---

Yann MONCEAUX et Cédric BLAIZE



### Table des matières

Introduction	1
1 Thermomètre à gaz de SF <sub>6</sub>	1
2 Point triple de l'azote	3
3 Effet Seebeck : Thermocouple	3
4 Caméra thermique	5
Conclusion	5
Questions	6
Remarques	6

# Introduction

La plupart des grandeurs physiques dépendent de la température, quand on étudie un système il est donc vital de connaître la température de travail, ne serait-ce que pour comparer les résultats à des valeurs tabulées.

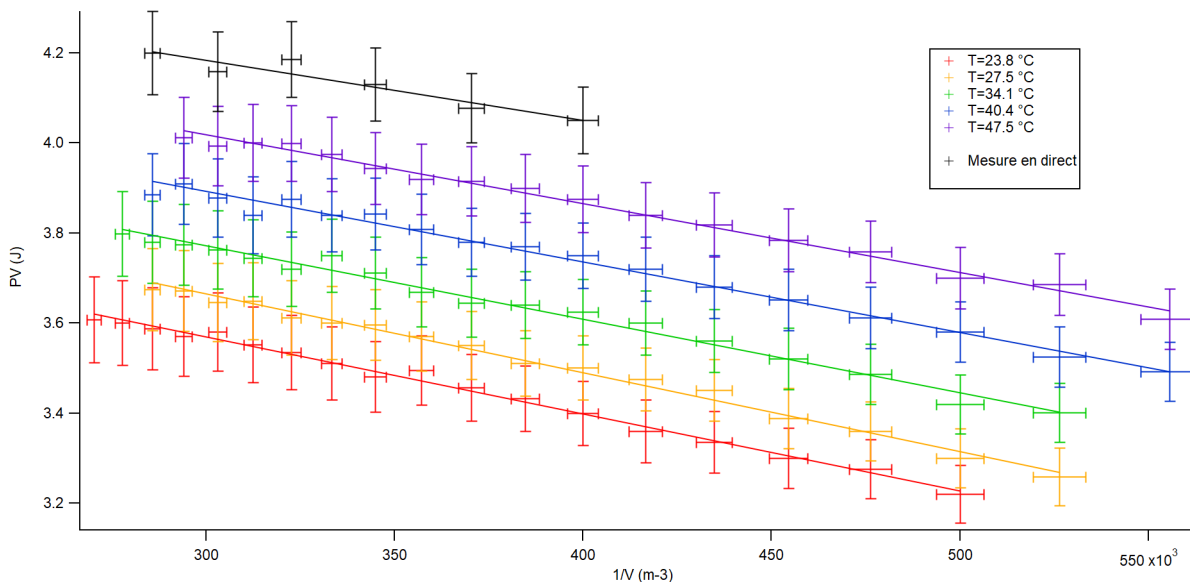
## 1 Thermomètre à gaz de SF6

Le développement du Viriel pour un gaz, au premier ordre en  $\frac{1}{V}$  donne

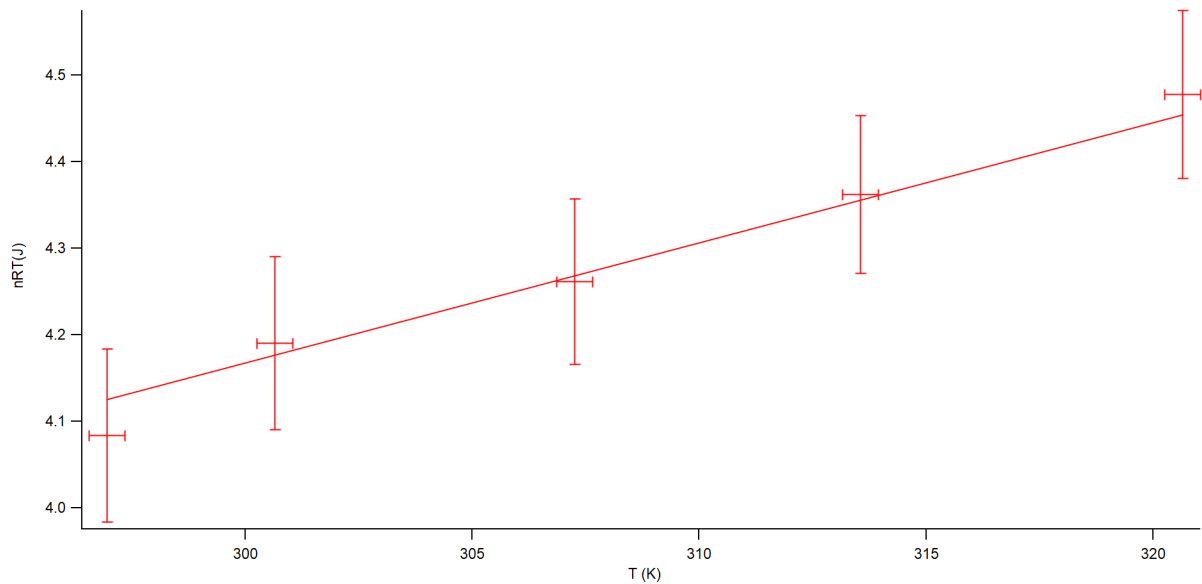
$$PV = nRT\left(1 + \frac{B(t)}{V} + \dots\right)$$

donc si on trace  $PV$  en fonction de  $\frac{1}{V}$  à  $T$  fixée, l'ordonnée à l'origine est  $nRT$ , ce qui permet de remonter à la température.

On utilise ici l'appareil pour le tracé des isothermes de SF6 relié à un bain thermostaté qui fixe la température de travail. J'ai réalisé une série de mesures en direct, et ajouté la courbe sur le même graphe que celles prises en préparation. (Pour les incertitudes, j'ai pris une incertitude d'une demi graduation pour  $P$ , donc 0.25 bar et de même pour  $V$  donc 0.025 mL).



Pour remonter à la valeur de la température il faut connaître  $n$ . Cependant cette valeur n'est pas donnée. J'ai décidé d'utiliser les isothermes réalisées en préparation pour déterminer  $n$  : on a relevé la température à l'aide d'un thermocouple, et on représente l'ordonnée à l'origine des isothermes en fonction de cette température. L'incertitude donnée pour le thermocouple est de 0.4°C. Ne pas oublier de fixer l'ordonnée à l'origine nulle dans l'ajustement pour avoir des valeurs cohérentes !



La pente est de  $nR$ , donc on déduit  $n = 1.67 \pm 0.02 \text{ mmol}$

Le thermomètre devrait être maintenant fonctionnel, on va vérifier en comparant la température indiquée par le thermocouple lors de la série de mesure, et celle qu'on détermine avec le thermomètre à gaz de SF<sub>6</sub>.

On obtient :

$$T_{\text{mesure}} = 57 \pm 4^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{thermocouple}} = 55.4 \pm 0.4^\circ\text{C}$$

Le système fonctionne bien correctement en tant que thermomètre !

On peut caractériser sa sensibilité : la pente de la quantité à laquelle on a accès en fonction de la température. Plus cette pente est élevée, plus le thermomètre est sensible, i.e plus on pourra différencier facilement des températures proches. Ici on a accès à  $nRT$ , la sensibilité du système est donc simplement  $nR$ . La sensibilité de ce thermomètre est  $s = 0.0139 \pm 0.0002 \text{ J/K}$

On n'a pas vraiment de valeurs théoriques à laquelle comparer cette sensibilité, on peut toutefois remarquer qu'elle est proportionnelle à la quantité de matière, donc plus cette dernière sera importante et plus le thermomètre sera sensible.

On peut remarquer à ce moment qu'on aurait pu s'affranchir de la valeur de  $n$  : en faisant des rapports des ordonnées à l'origine, cela revient à faire des rapports de température. Pour connaître la température absolue il faut alors avoir une valeur de référence.

## 2 Point triple de l'azote

Un point triple est idéal comme référence de température car il existe à une pression unique et une température unique. On va repérer ici celui de l'azote. On utilise le vase Dewar transparent pour point triple de l'azote. Le système consiste en un vase Dewar qui contient de l'azote liquide. Ce vase est relié à une pompe qui permet de diminuer la pression. On relève la pression à l'aide d'un manomètre et la température à l'aide d'un thermocouple. Quand on active la pompe, l'azote rejoint d'abord un équilibre diphasique liquide-vapeur, puis suis cette courbe dans le diagramme de phase jusqu'à passer par le point triple. On repère ce dernier par l'apparition de glace dans le vase.

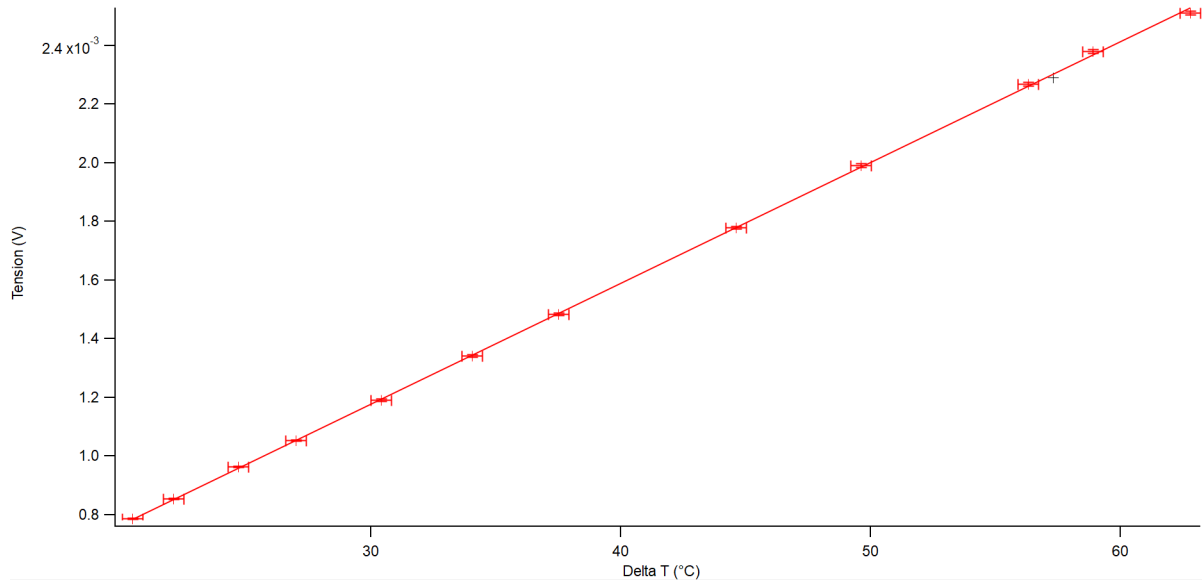
On obtient :  $\begin{cases} P_{exp} = 127 \pm 1 \text{ mbar} \\ T_{exp} = -209.0 \pm 0.4^\circ\text{C} \end{cases}$

Les valeurs tabulées sont :  $\begin{cases} P_{tab} = 125.3 \text{ mbar} \\ T_{tab} = -210.1^\circ\text{C} \end{cases}$

Pour les incertitudes, j'avais voulu réaliser un traitement statistique mais on obtient à peu près toujours les mêmes valeurs. J'ai donc estimé à 1mbar l'incertitude sur la pression car elle évolue assez rapidement lors du passage du point triple. En revanche la température varie assez lentement, j'ai donc pris comme incertitude simplement celle donnée par le matériel. On tombe toujours sur une température plus faible, ce qui semble indiquer une erreur systématique mais le thermocouple était fixé au vase donc on n'a pas pu le changer pour tester. Le thermocouple est dit de type T, penser à utiliser un lecteur thermocouple adapté (il existe un lecteur qui peut lire plusieurs thermocouples, mais il faut régler le bon mode dessus)

## 3 Effet Seebeck : Thermocouple

Dans tout ce qui a été fait on a utilisé des thermocouples pour mesurer la température. Ils fonctionnent par effet Seebeck, une différence de potentiel apparaît à la jonction de deux matériaux soumis à une différence de température. Le thermocouple de démonstration utilisé est un chromel-alumel (deux alliages). Ce système permet d'avoir accès à des différences de température. On plonge une des jonctions dans un bain eau-glace pour fixer une référence, celle de l'équilibre diphasique liquide-solide de l'eau à pression atmosphérique, de  $0^\circ\text{C}$ . Cette référence est bien sûr moins précise que le point triple, car dépendante de la pression. On plonge l'autre jonction dans un bécher rempli d'eau chaude. En préparation on a pris plusieurs mesures en laissant le bécher refroidir. Remarque correcteur : Penser à agiter le bécher d'eau glacée car il peut ne pas être uniformément à  $0^\circ\text{C}$ . L'eau à  $4^\circ\text{C}$  est plus dense et tombe au fond du bécher

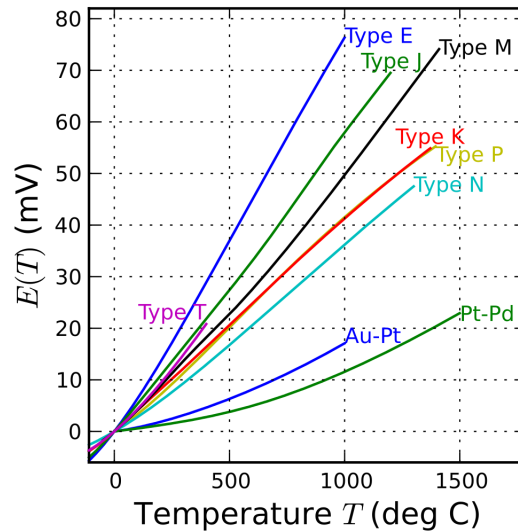


La sensibilité de ce thermocouple est :

$$s_{exp} = 41.1 \pm 0.2 \mu V/K$$

La valeur tabulée est de  $s_{tab} = 41 \mu V/K$  On retrouve bien la valeur tabulée.

Si pour le thermomètre à gaz de SF<sub>6</sub> on a utilisé un thermocouple dit de type K, ou chromel-alumel, comme celui étudié ici, on a utilisé un type T pour le point triple de l'azote.



Les différences type de thermocouples auront des sensibilité, mais aussi des gammes différentes. Un thermocouple de type T est utilisé pour le point triple de l'azote car la température de ce point triple est hors de la gamme de température atteinte par les

thermocouples de type K. Ceux de type K sont généralement très utilisés car peu chers, et présentent une gamme de température honorable.

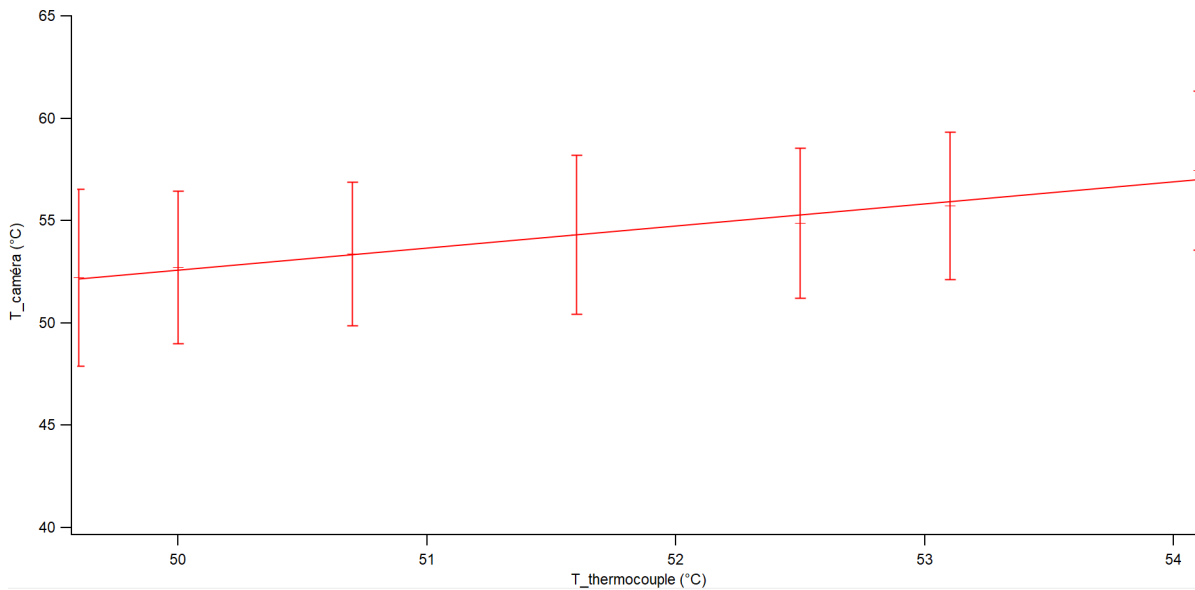
## 4 Caméra thermique

(Je n'ai pas eu le temps de traiter cette partie lors de la présentation)

La caméra utilise la loi de Stefan-Boltzmann sur la puissance, en prenant en compte l'émissivité du fait qu'on n'étudie pas des corps noirs, ainsi que la réflexion. Le logiciel d'exploitation considère que la puissance reçue par la caméra est :  $R = \epsilon \sigma T_{obj}^4 + (1 - \epsilon) \sigma T_{amb}^4$

En lui fournissant  $\epsilon$  et  $T_{amb}$  il donne la valeur de la température.

En utilisant la plaque centrale, d'émissivité 0.95 on a tracé la température donnée par le logiciel en fonction de la température d'un thermocouple qui mesurait l'intensité de la plaque :



Les problèmes de la caméra thermique : Seule l'émissivité tabulée de la plaque centrale est correcte, les autres ne le sont plus et permettent difficilement de remonter à des valeurs. Sur la plaque centrale la température varie pas mal. On peut remarquer que si on peut bien tracer une droite, il y a une ordonnée à l'origine non nulle. Peut-être aurait-il fallu relever sur le logiciel la température à côté du thermocouple, au lieu de moyenne sur l'ensemble de la plaque.

## Conclusion

(Je considère que la caméra thermique n'a pas été traitée)

On aura vu au cours de ce montage différentes façons de mesurer la température. On peut remarquer qu'on s'est placé dans des cas où on peut avoir contact avec le milieu dont on veut connaître la température, ainsi qu'à des températures relativement faibles. Si on voulait mesurer la température des étoiles, il faut procéder par rayonnement, ce qui

est peut être fait avec des systèmes comme la caméra thermique, qu'il serait intéressant d'étudier.

## Questions

- **Précaution pour le thermomètre SF6 si le volume est trop faible ?**  
Il faut éviter la transition de phase, car l'équation de Van der Waals ne sera plus valable
- **Comment fonctionne un manomètre ?**  
Dans le cas du capteur pour le point triple, capsule à membrane flexible dont les déformations sont enregistrées pour en déduire la pression
- **Thermomètre primaire ?**  
Mesure de T à partir d'une loi physique, pas besoin d'un autre thermomètre pour l'étalonner
- **Pourquoi tout l'azote n'est pas aspiré par la pompe ?**  
Il s'évapore en continu (on le voit bouillir)
- **Le manomètre dans le système à SF6 mesure la pression du liquide, est-ce la même que dans le gaz ?**  
Oui par équilibre mécanique, éventuelle correction faible par des forces supplémentaires comme la tension superficielle
- **Est-ce que le système ne contient que du SF6 pur ?**  
Non, il contient nécessairement du mercure également

## Remarques

- Attention à bien comprendre l'effet Seebeck !
- Les valeurs pour le point triple et la sensibilité du thermocouples sont tabulées, pas théoriques !
- Pour le plan, le thermomètre à gaz et l'enchaînement avec le point triple se font bien. La présentation des thermocouples n'est pas la plus intéressante, peut-être remplacer par une sonde de platine.
- Il serait intéressant de présenter un temps de réponse, pas seulement la sensibilité. Cependant pas possible sur les manip présentées, d'où l'intérêt de retirer Seebeck.
- Se poser la question de la linéarité ou non.
- Question de la finesse d'un capteur