Mesure simple des températures de 4 à 300 °K

J.M. Donnini, J.P. Danoy, P. Pesteil

► To cite this version:

J.M. Donnini, J.P. Danoy, P. Pesteil. Mesure simple des températures de 4 à 300 °K. Revue de Physique Appliquée, 1966, 1 (4), pp.262-266. 10.1051/rphysap:0196600104026200 . jpa-00242731

HAL Id: jpa-00242731

<https://hal.science/jpa-00242731>

Submitted on 1 Jan 1966

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MESURE SIMPLE DES TEMPÉRATURES DE 4 A 300 °K

Par J. M. DONNINI, J. P. DANOY et P. PESTEIL,
Laboratoire de Physique P. C. B. 1 ; Faculté des Sciences de Marseille.

Résumé. — Nous proposons quelques thermomètres permettant de mesurer les températures dans l'intervalle 4 — 300 °K.

Abstract. — We suggest here some thermometers for temperatures between 4 and 300 °K.

I. Introduction. — Il existe de nombreux thermomètres pour la mesure des températures comprises entre 4 et 300 °K. (Au-dessous de 4 °K la mesure de tension de vapeur saturante de l'hélium fournit une indication immédiate de la température.) Les appareils que nous proposons ici n'ont aucun caractère de nouveauté mais ils sont relativement simples, et peuvent être construits facilement même dans des laboratoires peu au fait des basses températures. Ils permettent d'éviter l'emploi de thermomètres plus onéreux (thermocouples, résistances métalliques) qui nécessitent un appareillage spécialement destiné à leur fabrication (jonction des thermocouples) ou dont la réalisation complète au laboratoire est difficile.

Nous n'utiliserons ici que des matériaux commerciaux courants et faciles à assembler. Enfin, avec les appareils que nous décrivons on peut atteindre la précision du degré, ce qui est souvent suffisant.

II. Thermomètres à gaz. — Les thermomètres à gaz dont nous parlons sont de type dit « à bulbe », le gaz utilisé étant de l'hélium. Un bulbe de volume V_B est réuni à un manomètre de volume V_M par l'intermédiaire d'un capillaire de faible conductivité thermique (en maillechort ou en acier inoxydable par exemple), l'ensemble étant rempli d'hélium.

1° THERMOMÈTRE A VOLUME CONSTANT. — Le volume du manomètre utilisé (Mano Vacuum ; — 0,98 à 10 Bars) ne dépend pas de la pression. Le thermomètre a donc, aux dilatations thermiques près, un volume constant.

Si l'on utilise l'équation d'état de l'hélium sous la forme :

$$pV = n[RT + B(T)p]. \quad (1)$$

$B(T)$: premier terme du coefficient du viriel de l'hélium (*fig. 1*), on aboutit à l'équation d'étalonnage :

$$T = \frac{\alpha T_0 p}{\beta T_0 - p} - \frac{Bp}{R}.$$

T_0 : température ambiante (c'est-à-dire température du manomètre).

FIG. 1. — Le premier coefficient du viriel de l'hélium d'après Keesom.

Un calcul de petites variations montre que l'on peut prendre une température moyenne d'utilisation $T_0 = 293$ °K.

L'étalonnage se ramène donc à la détermination de α et de β au moyen de deux points fixes. Sans autre correction, on a pu vérifier la validité de la formule d'étalonnage jusqu'à 130 °K environ avec la précision du degré. La courbe tracée (*fig. 2*) montre que la sensibilité décroît vers les températures élevées.

2° THERMOMÈTRE A VOLUME VARIABLE. — Le manomètre employé est du type tombac à lame d'acier (Blondelle, de — 760 mm Hg à 10 kgf/cm²), son volume varie avec la pression. La loi de variation du volume en fonction de la pression n'étant pas connue, un étalonnage point par point est nécessaire. On peut l'effectuer par comparaison avec le thermomètre à volume constant puis utiliser une méthode de points de fusion de corps purs. La courbe d'étalonnage (*fig. 3*) a une allure particulière ; on peut dire qu'elle est formée de deux segments de droites (la sensibilité est plus faible pour les températures élevées).

FIG. 2. — Courbe d'étalonnage du thermomètre à volume constant.

FIG. 3. — Courbe d'étalonnage du thermomètre à volume variable.

III. Thermomètres à résistance de carbone. — Pour repérer les températures on utilise dans ce cas les variations d'une résistance de carbone.

La résistance doit être choisie de telle sorte que sa valeur ne dépende que de la température et que les phénomènes soient bien reproductibles. On utilisera avec profit des résistances Allen Bradley (1/4 watt, 100 ohms à la température ordinaire). La résistance est montée à l'extrémité d'une sonde que l'on relie au montage permettant de faire les mesures ; ses dimensions sont réduites ($\varnothing = 2$ mm, $l = 6$ mm). Pour mesurer la résistance on utilise simplement la méthode du voltmètre et de l'ampèremètre. Le schéma du montage est représenté sur la figure 4.

FIG. 4. — Schéma du montage du thermomètre à résistance de carbone.

Afin que la résistance ne dissipe que très peu de puissance par effet Joule on est amené à utiliser des courants très faibles qu'un montage potentiométrique permet de fixer à la valeur de $10 \mu\text{A}$ et que l'on peut contrôler au moyen d'un microampèremètre METRIX 55 M de calibre $30 \mu\text{A}$.

La différence de potentiel aux bornes de la résistance est mesurée au moyen d'un millivoltmètre électronique PHILIPS PM 2430 ; on peut utiliser aussi un millivoltmètre enregistreur.

L'étalonnage peut être fait par comparaison avec le thermomètre à volume constant. La courbe d'étalonnage montre que la valeur de la résistance ne varie notablement que pour des températures inférieures à 20°K (fig. 5).

Par conséquent ce thermomètre n'est utilisable avec une bonne sensibilité que dans le domaine des températures inférieures à 20°K . Au-dessous de 10°K on peut facilement avoir la précision du dixième de degré.

Notons que pour les températures inférieures à 18°K on peut rechercher une équation d'étalonnage de la forme :

$$A/T = B + \text{Log } R + (C/\text{Log } R). \quad (2)$$

Sur la figure 6 nous avons porté

$$y = B + \text{Log } R + (C/\text{Log } R)$$

FIG. 5. — Courbe d'étalonnage d'une résistance de carbone Allen Bradley.

en ordonnée et $x = 1/T$ en abscisses. Pour une résistance donnée les constantes A , B , et C ont été déterminées au moyen de trois points de la courbe d'étalonnage.

FIG. 6. — La relation $F(T, R)$ pour une résistance Allen Bradley.

IV. Thermomètres à jonction p-n au germanium.

— On utilise le fait que la différence de potentiel aux bornes d'une jonction p-n au germanium parcourue par un courant constant et polarisée dans le sens direct, est une fonction de la température [3].

L'allure des variations de la différence de potentiel en fonction de la température est représentée sur la figure 7. Il apparaît que la puissance dissipée par la

FIG. 7. — Allure générale des variations de la différence de potentiel aux bornes d'une jonction p-n au germanium.

jonction est beaucoup plus importante que pour le thermomètre à résistance de carbone. Si l'on utilise une intensité de 0,5 mA pour 20 °K, $V = 0,7$ volt et $P = 350 \mu\text{W}$. Le montage de principe est représenté à la figure 8, on ne mesure pas directement la tension V aux bornes de la diode mais $v = V - RI$.

FIG. 8. — Montage de principe du thermomètre à jonction p-n.

Ce montage permet d'utiliser un voltmètre de sensibilité plus grande ; d'autre part un commutateur permet d'inverser la polarité du voltmètre et donc d'élargir le domaine des températures mesurables avec l'appareil.

R est un rhéostat à vis, on règle sa valeur de façon que la différence de potentiel mesurée par le

millivoltmètre ($V - RI$) soit voisine de la tension maximale mesurable. Lorsque T croît, V diminue jusqu'au moment où $V = RI$, on inverse alors la polarité du millivoltmètre et on peut ainsi mesurer des températures supérieures.

Sur la figure 9 nous proposons un montage effectivement réalisé. Un contacteur à quatre positions $1P$, $2P$, $3P$, $4P$ permet de choisir divers types de fonctionnement.

FIG. 9. — Montage d'un thermomètre à jonction $p-n$ effectivement réalisé

1° Position $1P$: Un millivoltmètre METRIX (120M, calibre 500 mV, de résistance interne de 20 kΩ/V est utilisé pour mesurer les différences de potentiel. La jonction étant à la température de 20 °K on règle Rh_1 de façon que la différence de potentiel lue sur le millivoltmètre soit voisine de 500 mV (ce réglage est en principe définitif mais avant une série de mesures il est bon de vérifier un point de la courbe d'étalonnage).

Dans cette position du contacteur on peut mesurer les températures comprises entre 20 et 200 °K environ suivant la jonction utilisée.

2° Position $2P$: On ne fait qu'inverser la polarité du millivoltmètre précédemment utilisé, ce qui permet la mesure des températures supérieures à 200 °K.

3° Position $3P$: L'appareil de mesure est alors un millivoltmètre électronique PHILIPS PM 2430 utilisé sur la sensibilité 300 mV. On règle Rh_2 de façon que pour $T = 20$ °K la différence de potentiel mesurée soit voisine de 300 mV. Ici on ne se préoccupe pas de la polarité, le millivoltmètre enregistreur étant non polarisé.

4° Position $4P$: Une position supplémentaire $4P$ (non indiquée sur le schéma peut être prévue). Le fonctionnement est analogue à celui de la position $3P$, le rhéostat à vis de 220 ohms étant remplacé par un autre de 470 ohms ; on peut alors

utiliser le millivoltmètre électronique sur la sensibilité de 100 mV et avoir ainsi la précision du quart de degré. L'intervalle des températures mesurables est, dans ce cas, d'environ 100° (de 20 à 120 °K par exemple).

Les bornes a et b permettent de mesurer le terme RI et d'avoir si nécessaire la vraie valeur de la tension aux bornes de la jonction. La tension d'entrée est maintenue à la valeur de 3 volts.

Les jonctions utilisées sont soit celles de transistors OC 58, montés en diode, soit celles de diodes 1N 2326. Les transistors OC 58 ont des dimensions plus réduites ($\varnothing = 2$ mm, $l = 3$ mm), leurs caractéristiques différence de potentiel — température sont en outre plus linéaires.

L'étalonnage est fait en utilisant une méthode de points de fusion : on trace les courbes de fusion de corps purs en portant en ordonnées les indications du millivoltmètre et en abscisses les temps ; à chaque palier est associée une température connue.

Les courbes d'étalonnage sont très approximativement linéaires dans l'intervalle 20 — 300 °K.

V. Conclusion. — Les thermomètres à gaz présentent quelques inconvénients :

- inertie thermique,
- temps d'équilibre des pressions avant toute mesure,

FIG. 10. — A) Thermomètre à jonction $p-n$.
B) Thermomètre à résistance de carbone.

— volume du bulbe relativement important.

Leur avantage, surtout pour le thermomètre à volume constant, vient de la facilité de leur étalonnage. Les thermomètres électriques sont au contraire d'emploi plus commode (faible volume de l'élément sensible, possibilité de faire des mesures rapides).

La figure 10 montre l'aspect extérieur des montages réalisés. En conclusion, les thermomètres électriques (à résistance de carbone et à jonction p-n au germanium) peuvent constituer un équipement convenable pour faire des mesures courantes dans le domaine des températures de 4 à 300 °K.

Manuscrit reçu le 17 juin 1966.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] KEESOM (W. H.), *Helium*, Elsevier, Amsterdam, 1942.
- [2] ROSE (A. C.), *Low temperatures techniques*. *Innes*, 107, 108.
- [3] BARTON (L. E.), *Electronics*, 1962, **35**, n° 18, 38
-