

Mesure des basses pressions : construction d'une jauge de PIRANI

Olympiades de Physique 1992-1993

par Christiane COUSANDIER, Alexandre CLAUSS, Julie HERZFELD,
Coralie NEINER, Moussa ZAGHDOUD
Lycée de Bischheim, Allée Blaise Pascal - B.P.55 - 67800 BISCHHEIM
et Roland COUSANDIER
I.P.C.M.S. - Groupe Surfaces Interfaces
4, rue Blaise Pascal - 67070 Strasbourg Cedex

Dans le cadre des premières Olympiades de Physique notre équipe construit un diffracteur d'électrons sous vide secondaire classique. L'essentiel de la réalisation se fait à partir de matériels disponibles à l'I.P.C.M.S. (Institut de Physique et de Chimie des Matériaux de Strasbourg) qui nous aide dans notre projet. Cependant, aucune jauge de vide primaire n'étant disponible, il a fallu la construire. Cette réalisation, avec un détecteur étant constitué par le filament d'une petite ampoule du commerce, ne coûte que quelques centaines de francs et rend les mêmes services que les jauges du commerce dix fois plus chères.

1. PRINCIPE DE L'APPAREIL

Un filament chauffé par effet Joule est placé dans l'enceinte à mesurer. Selon la pression résiduelle, le refroidissement du filament par convection est plus ou moins important, cela modifie sa température, donc sa résistivité. Si on alimente le filament avec une tension constante, la variation de pression p sera reliée à la variation du courant i qui le traverse :

$$p = f(i)$$

2. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

On part d'une ampoule du commerce dont les valeurs nominales sont 12 V et 170 mA. On brise l'enveloppe en verre avant de la

placer sous vide et on l'alimente avec une tension réduite de 1,25 V pour éviter de griller le filament à l'air. On obtient les résultats suivants :

– pression atmosphérique, air calme	81 mA
– pression atmosphérique, air agité	100 mA
– vide primaire, pompe à palettes (10^{-2} mb)	49 mA
– vide secondaire, pompe à diffusion d'huile, le filament est très légèrement rouge (10^{-4} mb)	42 mA

La résistivité du filament varie d'un facteur 2 entre la pression atmosphérique et le vide.

3. DOMAINE D'UTILISATION

On rappelle que les échanges thermiques du filament F avec son environnement sont de 3 sortes :

- rayonnement,
- conduction,
- convection.

Le rayonnement suivant la loi de Stefan - Boltzmann, l'énergie échangée avec l'enceinte E est de la forme :

$$W = \sigma (T_f^4 - T_e^4)$$

T_f : température du filament,

T_e : température de l'enceinte,

σ : la constante de Stefan - Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$) pour la puissance totale rayonnée du corps noir. La radiance énergétique du corps réel est en réalité inférieure à celle du corps noir.

Cet échange d'énergie ne dépend pas du vide.

La conduction se fait à travers les fils de connexion du filament au passage de courant vide-air.

La convection dépend de la pression résiduelle, c'est l'effet que nous mesurons. La variation de la convection est surtout importante quand le libre parcours moyen des molécules de gaz devient du même ordre que la dimension du filament [1]. Autrement dit, la

variation est négligeable pour du vide grossier au voisinage de la pression atmosphérique et il n'y a plus de convection dans un vide poussé.

La jauge est surtout utile sur 2 décades entre 1 et 10^{-2} mb, c'est le domaine de la pompe mécanique à palettes et celui où l'on peut démarrer une pompe à diffusion d'huile insérée entre l'enceinte et le groupe mécanique.

4. RÉALISATION PRATIQUE

Le montage d'essai (§ 2.) peut être amélioré. Il est, par exemple, plus élégant de couvrir toute l'échelle d'un milliampèremètre de 0 à 1 mA en ayant la faculté d'ajuster les 2 extrémités :

- 1 mA : pression atmosphérique,
- 0 mA : «vide secondaire» ; il n'y a plus de convection.

Pour introduire ces ajustements on se base sur les appareils existants qui utilisent un pont de Wheatstone :

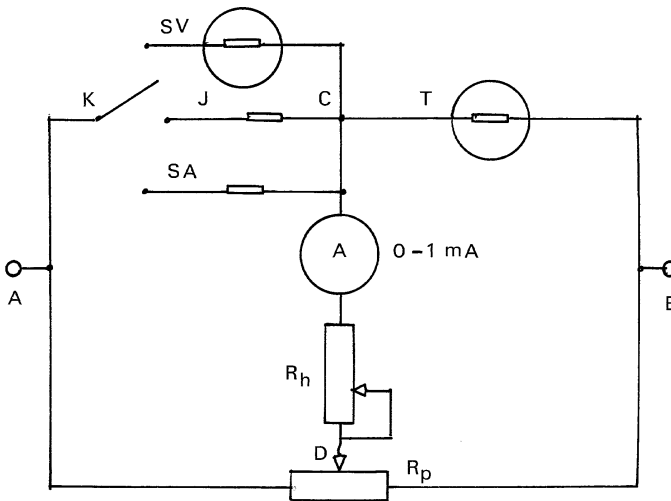


Figure 1

Dans une branche du pont on a placé en série la jauge J, ampoule cassée, et le témoin T, ampoule entière. On alimente alors le pont entre A et B avec une tension double $V_A - V_B = 2,5$ V.

Cette tension est obtenue à partir d'une alimentation classique ajustable utilisant le régulateur de tension intégré LM 317. Ce montage ne sera pas décrit ici.

L'autre branche du pont est constituée par un potentiomètre linéaire ordinaire R_p de 100 W. Cette valeur, facile à trouver, est du même ordre que la résistance des ampoules qui varie entre 15 et 30 W.

Entre C et D on a branché le milliampèremètre, la maximum de déviation est ajusté par le rhéostat R_h de 1 k Ω . Cette valeur permet de régler le débit de 1 mA pour une tension de déséquilibre $V_C - V_D$ qui reste en fait inférieure à 0,5 V.

Pour finir, entre A et C, on peut substituer à la jauge J, avec le commutateur K, une ampoule entière SV devant simuler le vide et une ampoule au verre cassé SA simulant l'atmosphère.

Il est évident que les quatre ampoules utilisées sont identiques.

5. OPÉRATIONS DE TARAGE

On règle d'abord l'alimentation à 2,5 V, ensuite on règle successivement et dans l'ordre le zéro et le maximum de déviation.

5.1. Zéro du milliampèremètre

On commute K sur SV et on ajuste le zéro avec R_p . La simulation du vide ainsi obtenue est approximative. Pour un zéro précis il faudra retoucher légèrement R_p avec la jauge J elle-même placée dans un bon vide, l'erreur est de l'ordre de 0,1 mA.

5.2. Déviation pleine échelle

On commute K sur SA et on règle maintenant R_h . Il faut reprendre ces réglages lors de la mise en marche du coffret de jauge. L'ajustement des bornes extrêmes sans l'intervention du groupe de pompage dans un premier temps constitue une aide appréciable pour l'expérimentateur.

6. ÉTALONNAGE

Une dernière étape consiste à étalonner l'ensemble de l'échelle du milliampèremètre. Ce résultat est obtenu par comparaison avec

la jauge absolue à compression de McLEOD (1874) qui utilise un piston liquide à mercure [1]. A défaut on peut utiliser la version élémentaire appelée tube de GAEDE ou une jauge PIRANI du commerce bien réglée !

Nous avons employé un vacuomètre simplifié de McLEOD qui opère par retournement de l'appareil et qui est fabriqué par EDWARDS ainsi qu'une jauge PIRANI du même constructeur*.

Il existe en fait une correspondance complexe entre la pression résiduelle et le courant de déséquilibre du pont de Wheatstone. Cette correspondance entre le courant lu sur le millampèremètre et la pression se rapproche d'une variation exponentielle dans le domaine utile de 1 à 10^{-2} mb :

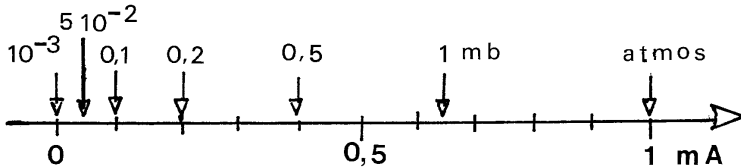


Figure 2

7. REMERCIEMENTS

Ce travail a pu être réalisé grâce à l'amical soutien du responsable du Groupe Surfaces Interfaces, M. J.-P. DEVILLE, Directeur de recherche au CNRS, qui a mis à notre disposition les moyens du Laboratoire. Nous avons bénéficié de la sympathie de toute l'équipe, et, en particulier, celle, agissante du personnel technique M. J. FAERBER pour le prêt d'une jauge Penning, MM. B. ALL-GAYER et B. MULLER pour leur précieux et indispensable concours lors de la réalisation du prototype. Nous remercions également M. C. SPEISSER, Maître de Conférences, pour le prêt d'une pompe à diffusion d'huile refroidie par air.

* EDWARDS S.A.
125, avenue Louis Roche - 92238 Gennevilliers Cedex.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bases de la technique du vide, calculs et tables, Documents techniques LEYBOLD S.A. (1990).