

# Courant grille et mesure du **VIDE**

## Importance du problème

Du degré de vide d'un tube radio, dépendent la stabilité de son fonctionnement et la possibilité de l'utiliser pour des applications particulières.

Le courant grille peut être dû, en effet, aux molécules gazeuses qui restent à l'intérieur d'une ampoule insuffisamment vidée. Utilisé par exemple pour l'amplification des faibles courants photo-électriques, un tube radio est couplé directement avec la résistance de charge de la cellule dont la valeur peut atteindre 60 MΩ. En supposant même une liaison par capacité, la résistance de fuite doit être au moins de l'ordre de grandeur de la résistance de charge. Or, avec un courant grille d'un dixième de microampère, si, pour une résistance de fuite courante de 0,5 MΩ on a une chute de tension de 0,05 V, on a déjà 1 volt pour une résistance de 10 MΩ.

Le même problème se pose pour les voltmètres à lampes, amplificateurs de mesure, etc...

Généralement, pour essayer un tube, on se contente de vérifier ses caractéristiques

(dû aux électrons captés par celle-ci) commence entre -1 et +0,5 V et augmente avec la tension positive appliquée. Outre de ce dernier paramètre, il dépend de la température de la cathode et de la construction du tube. La courbe représentative est donnée par la figure 1.

Cela est valable pour un vide particulièrement poussé. Si l'on relève sur un montage expérimental (fig. 2) la caractéristique grille complète d'un tube courant on trouve effectivement à partir d'une tension -U, dont la valeur dépend de la tension plaque, une courbe semblable à celle indiquée sur la figure 1. Toutefois, en augmentant la tension négative de la grille, on trouve un courant inverse qui passe par un maximum.

Quelle est la cause de ce courant inverse ?

La cathode C émet des électrons qui sont captés par l'anode A portée par rapport à la cathode à un certain potentiel positif U. Il en résulte dans le circuit plaque un courant  $i_a$ . Avant d'atteindre l'anode, les électrons traversent les mailles de la grille. Si celle-ci est insuffisamment négative ou positive, un certain nombre vont être captés et nous aurons dans le circuit grille un courant électronique  $i_g$ . Si nous intercalons dans le circuit grille une résistance R nous aurons aux bornes de celle-ci une chute de tension  $U_g = Ri_g$  qui va rendre la grille négative.

Cela est exact s'il n'y a pas de molécules gazeuses à l'intérieur de l'ampoule, c'est-à-dire si le vide est particulièrement poussé. Or, ce n'est jamais le cas et il reste toujours à l'intérieur de l'ampoule quel-

ques traces gazeuses. Les électrons dans leur parcours peuvent rencontrer dans ce cas ces molécules, lesquelles se ionisent et les ions positifs sont attirés par l'électrode la plus négative : la grille (fig. 3).

« Le courant ionique  $I_g$  doit être proportionnel à la masse gazeuse contenue dans le tube et au courant électronique  $i_a$  qui provoque l'ionisation, fait qui a été confirmé par l'expérience. De plus, il dépend de la tension ionisante  $U_a$  et du parcours l des électrons. » (H. Barkhausen, « Les tubes à vide », t. I, p. 9).

En réalité, le phénomène est plus complexe. Les ions positifs en frappant les fils de la grille provoquent également une émission secondaire de la grille, dont le courant se confond avec le courant ionique. Ces électrons, en outre, participent, quoique à un degré bien plus faible que le courant anodique, à l'ionisation des résidus gazeux. L'équilibre de fonctionnement est atteint dès que le potentiel de la grille se stabilise, soit par une chute de tension aux bornes de la résistance de fuite, soit par la charge de la capacité d'entrée dans le cas d'un tube électromètre ayant la grille « en l'air ».

Le courant inverse de grille est fonction du courant anodique, mais aussi directement et indirectement du potentiel grille. Il passe par un maximum et s'annule pour un potentiel grille pour lequel le courant électronique de grille commence à devenir prépondérant.

Le courant grille peut être dû également à d'autres causes que nous avons étudiées et qui feront l'objet d'un autre article.

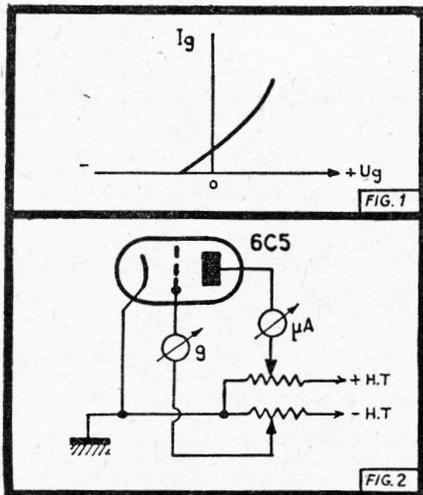


Fig. 1. — Courbe du courant grille  
Fig. 2. — Montage de mesure.

statiques, voire dynamiques, en supposant à priori que le vide est parfait. Malheureusement tel n'est pas toujours le cas.

## Le vide et le courant grille

L'enseignement classique de radioélectricité considère généralement l'expression analytique du courant grille donnée par

$$i_g = I_0 E^{-\frac{eU}{KT}}$$

Suivant que le potentiel de contact est plus ou moins élevé, le courant grille

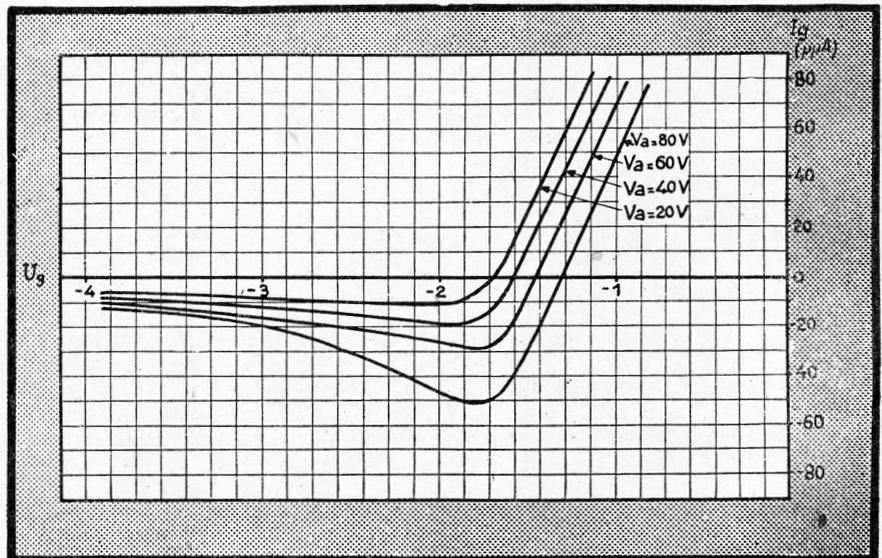


Fig. 3. — Courbe de  $I_g$  en fonction de  $U_g$ , avec  $U_a$  comme paramètre, pour un 955

## Contrôle du vide dans la fabrication

Assurer un vide suffisant d'un tube radio constitue le but primordial d'une fabrication. Dans un article très documenté sur le vide (voir T.L.R. n° 107, p. 189), notre confrère H. Piraux a indiqué les méthodes employées généralement pour la mesure du vide. Parmi ces méthodes, l'indication par le courant ionique de grille donne la possibilité d'utiliser le phénomène, que l'on cherche à éviter, pour mesurer son ordre de grandeur (ionization gauge). Nous en donnons des indications plus détaillées en examinant les méthodes de mesure.

Il existe, en plus, une méthode simple à mettre en œuvre même dans un laboratoire sans équipement spécial. Cette méthode s'apparente à l'analyseur de gaz Cambridge.

Une sonde résistante est placée dans l'enceinte dont on veut mesurer le degré de vide; une sonde identique est à la pression ambiante. Les sondes sont chauffées sous une faible tension. Le montage

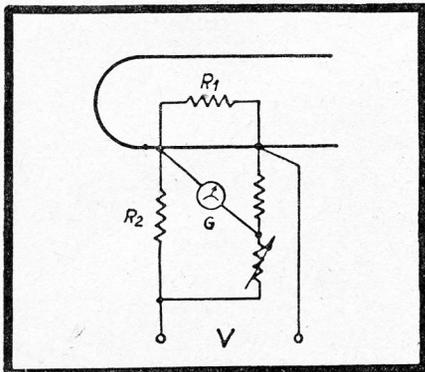


Fig. 4. — Sonde de mesure, à pont de Wheatstone.

est complété par deux résistances d'équilibrage, le tout formant un classique pont de Wheatstone (fig. 4).

Le courant qui traverse les deux sondes détermine leur échauffement. Leur résistance varie. Le rayonnement étant différent pour chaque sonde, les variations des résistances ne sont pas identiques. Il y a déséquilibre du pont, et un appareil de mesure placé dans une diagonale dévie. La lecture peut être faite soit directement soit par la méthode de zéro. La jauge de Pirani (micromanomètre à fil chaud) dérive de ce principe.

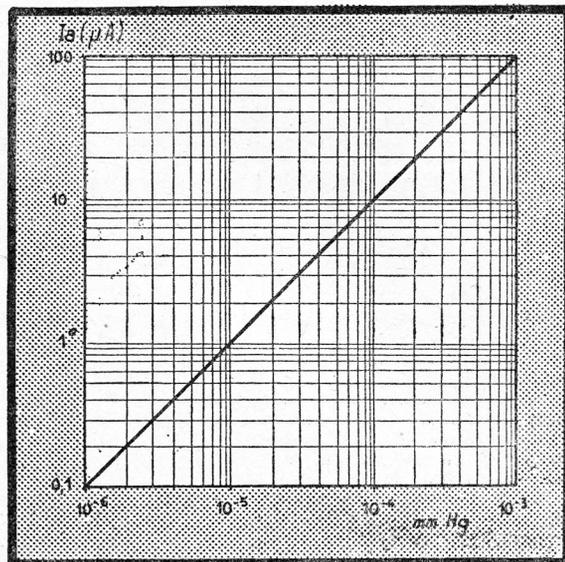
### Méthode d'appréciation

L'examen des courbes caractéristiques permet déjà de se rendre compte du degré de vide. Le courant anodique croît plus rapidement que ne le laisse prévoir le calcul. En effet, s'il subsiste dans l'ampoule des traces gazeuses, l'ionisation par choc des molécules neutres augmente le nombre d'électrons atteignant la plaque du tube.

Le courant étant généralement instable, il suffit de relever, sur un laps de temps plus ou moins long, la variation du courant anodique, les autres paramètres étant invariables.

Cette méthode convient particulièrement aux tubes de sortie. On tient ainsi également compte de l'élévation de la température en fonctionnement.

Fig. 5. — Courbe d'étalonnage d'une jauge ionique. Cette courbe est celle de la jauge 507 de la National Research Corporation. On a porté le courant anodique en fonction de la pression en mm Hg. La sensibilité de cette jauge (pente de la courbe) est de 100 microampères pour une pression de 1/1.000 mm Hg.



Si l'on utilise un dispositif de compensation dans le circuit de l'anode, l'indicateur de variation du courant sera un milliampèremètre 0-1 mA. Un tel examen réserve généralement des surprises désagréables en ce qui concerne la stabilité des caractéristiques des tubes de sortie.

Enfin, l'examen de la caractéristique grille, en révélant l'existence d'un courant ionique, indique un vide plus ou moins poussé.

Un tel examen ne permet pas d'obtenir des indications quantitatives, quoiqu'il rende possible une détermination empirique de normes.

### Méthodes de mesure

**Facteur de vide (Barkhausen).** — La mesure du courant ionique de grille permet de définir un « facteur de vide » qui est le rapport de ce courant au courant anodique qui détermine l'ionisation des molécules gazeuses :

$$V = \frac{i_g}{i_a}$$

Ce rapport est une mesure directe du vide.

Pour les tubes amplificateurs à faible puissance, le montage indiqué précédemment (fig. 2) permet de mesurer les deux variables. La tension négative de grille est de l'ordre de 1 à 2 V, qui correspond généralement au courant grille ionique maximum. La tension d'anode sera réglée également pour avoir un courant anodique suffisant.

Pour les tubes émetteurs et de puissance on appliquera de préférence la tension négative sur l'anode et une tension positive sur la grille. Au point de vue physique, le processus est identique, mais il permet d'éviter des surcharges et donne des résultats plus précis.

Les jauges à ionisation sont basées sur ce principe. Dans la jauge type 507 de la National Research Corporation, on applique sur la grille +150 V et sur l'anode -20 V. La grille est en fil de tungstène et l'anode en nickel. Le filament est en tungstène pour éviter la détérioration dans le cas des pressions élevées.

Supposons que le facteur de vide soit

$$V = 0,001$$

Cela veut dire qu'un électron sur mille émis par la cathode ou le filament ren-

contre une molécule gazeuse. Le libre parcours moyen de l'électron à la pression déterminée est 1.000 fois plus grand que la distance entre l'anode et la cathode. A la pression atmosphérique et pour la température ambiante de +15° C, il est de 10<sup>-5</sup> cm environ et il augmente proportionnellement à la diminution de la pression.

Connaissant le libre parcours moyen à l'intérieur du tube, on peut donc déduire la pression

$$p = 760 \cdot 10^{-5} \frac{i_g}{i_a} \frac{1}{L} \text{ mm Hg}$$

L est la distance entre l'anode et la cathode. Cette méthode ne permet pas, toutefois, une très grande précision.

Barkhausen cite des mesures effectuées par Rukop et Hansser sur un tube ayant un facteur de vide de 0,001 pour une distance anode-cathode de 0,5 cm. La valeur trouvée est de 2,10<sup>-5</sup> mm Hg environ. Si l'on effectue le calcul on trouve :

$$p = 760 \times 10^{-5} \times 10^{-3} \times 2 = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ mm Hg.}$$

Cette imprécision peut être due à des causes multiples. Les électrons ne suivent pas forcément un trajet direct entre l'anode et la cathode. Il existe une certaine dispersion. En outre, il faudrait que l'isolement grille fût parfait, surtout par rapport à l'anode, car, dans le cas contraire, le courant de fuite de même ordre de grandeur et de même sens, pourrait faire croire à un mauvais vide.

On vérifie aisément l'isolement en supprimant le chauffage de la cathode. Tous les courants électroniques et ioniques disparaissent alors, sauf le courant de fuite.

On peut considérer comme techniquement acceptable un vide de l'ordre de 10<sup>-5</sup> mm Hg. Pour les tubes amplificateurs courants, pour un courant anodique de 8-10 mA sous 200 V et pour une polarisation de 2 V, le courant ionique doit être inférieur à 0,3 μA. Un tel courant correspond au facteur de vide de 4.10<sup>-5</sup> env. et à un vide de 0,8.10<sup>-5</sup> mm Hg.

La figure 5 donne la courbe d'étalonnage d'une jauge ionique. Sa sensibilité est de 100 μA pour 10<sup>-3</sup> mm Hg.

L'utilisation de cette méthode nécessite outre les galvanomètres très sensibles, des précautions particulières pour éviter l'amorçage des oscillations et les inductions parasites.

**Méthode Von Ardenne.** — La méthode Von Ardenne est généralement utilisée sur les lampemètres. Elle a été déjà décrite dans T.L.R. par E. Aisberg; aussi allons-nous la citer pour mémoire.

On compare le courant anodique (la grille étant reliée directement à la masse) avec le courant que l'on obtient en intercalant dans le circuit grille une résistance de fuite élevée de l'ordre de 5 MΩ.

La figure 6 représente la courbe caractéristique plaque d'un tube 6Q7 sans résistance de fuite de grille et avec une résistance de fuite de 5 MΩ. Il s'agit là d'un tube ayant un bon vide. Le courant anodique est peu différent dans le second cas jusqu'à la naissance d'un courant grille électronique (pour  $U = 0,75$  V environ).

La figure 7 correspond, par contre, à un tube ayant un vide insuffisant. Le courant anodique est plus élevé pour la même valeur de la polarisation, la pente de la courbe est plus grande.

Le courant grille détermine aux bornes de la résistance de fuite une chute de tension. Dans le cas d'un courant électronique, cette chute de tension rend la grille

plus négative, le courant anodique baisse; dans le cas d'un courant ionique, la chute de tension est positive par rapport à la masse, la polarisation diminue et le courant anodique augmente.

**Méthode de Sarbey.** — Sarbey mesure le courant grille par la charge ou la décharge d'un condensateur intercalé dans le circuit grille. La figure 8 indique les détails du montage. La grille est reliée à une armature d'un condensateur C parfaitement isolé, dont la seconde armature est reliée à la masse.

Un contact I permet d'appliquer sur la grille des potentiels variables  $U$ . Ces potentiels chargent également le condensateur C. Un milliampèremètre mA intercalé dans le circuit anodique mesure le courant anodique.

On commence par relever la caractéristique  $i_a = f(U_g)$ , le contact I étant fermé.

On note le courant anodique  $i_a$  correspondant à une tension  $U$  et on ouvre le contact I. On observe alors la variation du courant anodique. En supposant que la grille soit parfaitement isolée, s'il n'existe aucun courant grille, la charge aux bornes du condensateur C se conserve

et le courant anodique ne varie pas.

Supposons maintenant qu'il existe un certain courant ionique de grille dû à la présence de molécules gazeuses à l'intérieur de l'ampoule. Ce courant va diminuer la charge négative du condensateur et le courant anodique va croître.

Si le condensateur a été chargé positivement, la grille va capter par contre les électrons qui vont décharger le condensateur. La tension positive de la grille va diminuer et le courant anodique diminue.

Si l'on observe la variation du courant anodique pour un temps très bref, on a la variation de la tension aux bornes du condensateur que l'on déduit de la caractéristique :

$$i_a = f(U_g)$$

Soit  $U_{g1}$  la tension appliquée et  $U_{g2}$  la tension au bout du temps  $dt$ . Or :

$$dQ = i \cdot dt$$

le courant est égal à la variation de la charge pendant le temps  $dt$ .

Si le temps  $dt$  est suffisamment court, la charge ou la décharge d'un condensateur peuvent être considérées comme étant proportionnelles en temps et on peut écrire :

$$i_a = \frac{dQ}{dt} = \frac{C(U_{g1} - U_{g2})}{dt}$$

En effet,  $Q = UC$ .

$U_{g1}$  et  $U_{g2}$  sont déduits de la caractéristique. Il suffit de lire le temps  $dt$  sur un chronomètre pour calculer  $i_a$ .

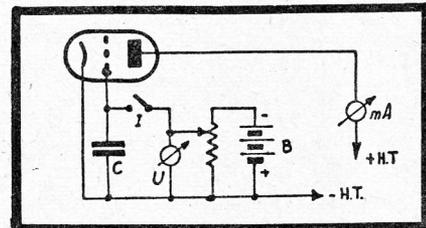


Fig. 8. — Méthode Sarbey.

Pour pouvoir prendre  $dt$  de l'ordre de 2 à 5 secondes, il faut que le temps de décharge ou de charge soit beaucoup plus long, ce qu'on obtient en prenant C élevé, de l'ordre de  $0,01 \mu F$ .

Cette méthode permet de définir le point correspondant au courant grille nul. Il suffit pour cela d'attendre que le courant grille charge le condensateur C pour un équilibre entre le courant ionique et électronique. En effet, la charge du condensateur en variant la polarisation de la grille, modifie le courant anodique qui détermine l'ionisation.

Au bout d'un temps  $t$  le courant anodique ne varie plus. En se rapportant à la courbe  $i_a = f(U_g)$ , on trouve le potentiel grille correspondant. Cette méthode nous a permis de déterminer le point de fonctionnement optimum des lampes électromètres.

## Conclusion

Nous avons essayé dans cette étude de définir le rapport existant entre le courant grille d'un tube et le vide régnant dans l'ampoule de celui-ci. Malheureusement, le courant grille peut être dû également à d'autres causes : émission thermique, photoélectrique par la lumière ou les rayons X provenant de l'anode sans parler du courant de fuite déjà cité.

Il y aura donc lieu de revenir sur ce phénomène, ce que nous nous proposons de faire dans une prochaine étude.

U. ZELBSTEIN.

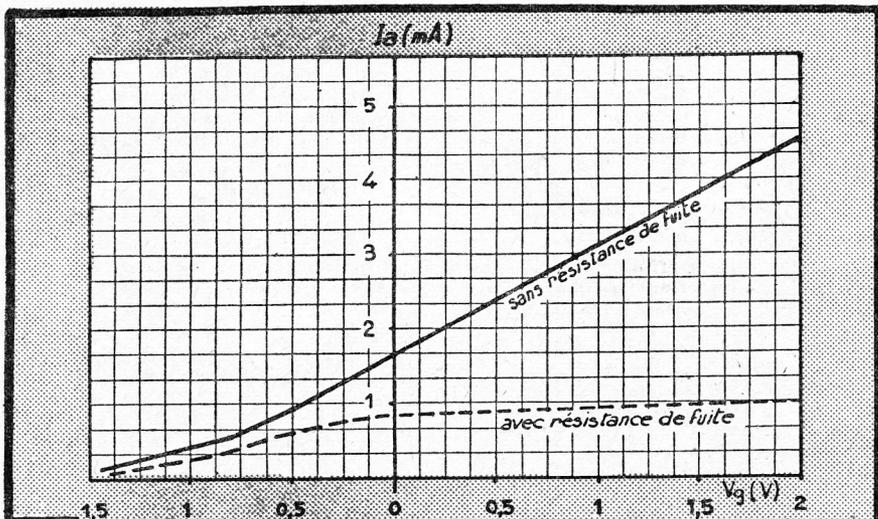


FIG. 6

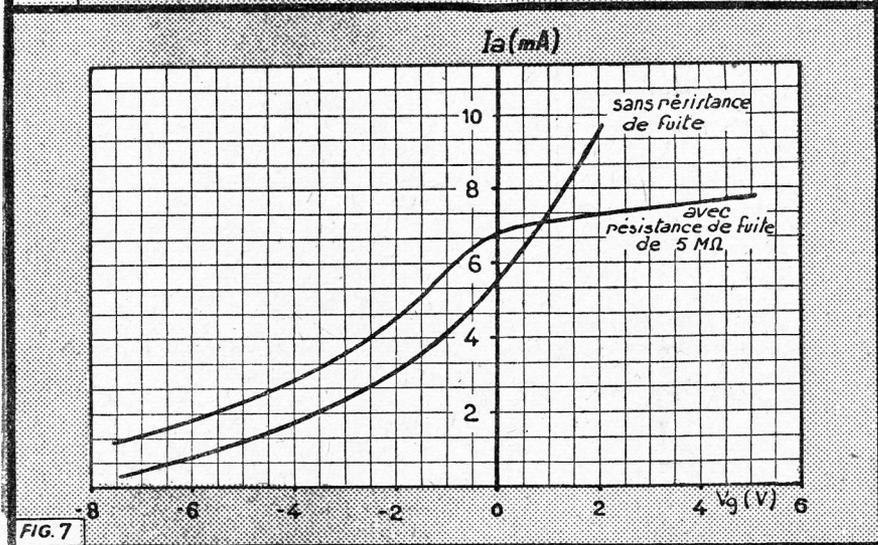


FIG. 7

Fig. 6. — Courbe d'un 6Q7 bien vidé avec et sans résistance de grille.  
Fig. 7. — Courbe analogue à la précédente, mais pour un tube mal vidé.