HAL
open science

Mesure des résistances électriques élevées à l'aide d'une chambre d'ionisation utilisée comme source de courant

Daniel Blanc, Eric Fort, Robert Lacoste, Jean Lagasse

To cite this version:

Daniel Blanc, Eric Fort, Robert Lacoste, Jean Lagasse. Mesure des résistances électriques élevées à l'aide d'une chambre d'ionisation utilisée comme source de courant. J. Phys. Phys. Appl., 1960, 21 (S3), pp.52-56. 10.1051/jphysap:0196000210305200 . jpa-00212775

HAL Id: jpa-00212775

https://hal.science/jpa-00212775

Submitted on 4 Feb 2008

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.

LE JOURNAL DE PHYSIQUE ET LE RADIUM
PHYSIQUE APPLIQUÉE

SUPPLÉMENT AU N° 3.
TOME 21, MARS 1960, PAGE 52 A.

MESURE DES RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES ÉLEVÉES A L'AIDE D'UNE CHAMBRE D'IONISATION UTILISÉE COMME SOURCE DE COURANT

Par DANIEL BLANC et ERIC FORT,
Centre de Physique Nucléaire, Faculté des Sciences de Toulouse.

ROBERT LACOSTE et JEAN LAGASSE,
Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique Industrielle, E. N. S. E. E. H. T., Toulouse.

Résumé. — Il devient très difficile de mesurer, avec une bonne précision, les résistances électriques élevées, lorsque leurs valeurs dépassent 10^{12} ohms, et que l'on fait appel à une méthode classique, comme celle de l'ampèremètre et du voltmètre. Nous décrivons une méthode utilisant une chambre d'ionisation, fonctionnant comme une source de courant, et placée en série avec la résistance inconnue : la valeur de cette résistance se déduit de la tension entre ses bornes, mesurée par un montage électrométrique.

La chambre d'ionisation est remplie d'air ou d'argon ; ses électrodes sont deux plateaux parallèles, dont il est possible de faire varier la distance. Le courant d'ionisation constant, débité par l'appareil, est créé par une couche mince de bioxyde d'uranium, déposée sur l'un des plateaux. En modifiant la pression de remplissage, il est possible de faire varier de façon continue le courant d'ionisation ; sa valeur maximum est de $2{,}7.10^{-11}$ ampère, sous la pression atmosphérique.

Notre méthode permet de mesurer, avec une précision excellente, les résistances de faibles valeurs par rapport à la résistance interne ρ de la chambre ($\rho = \Delta V/\Delta i$). Sous la pression atmosphérique, ρ est de l'ordre de 10^{15} ohms ; pour un remplissage d'air sous la pression de 2 cm de mercure, ρ atteint 10^{16} ohms. Finalement, avec la chambre d'ionisation décrite, la limite supérieure des résistances mesurables avec précision est de 10^{14} ohms.

Abstract. — The accurate measurement of high electric resistances is very difficult when their values are above 10^{12} ohms, and, if a classic method is used, for instance ammeter and voltmeter. We describe a method using an ionization chamber, acting like a current source, put into series with the unknown resistance ; we calculate the value of this resistance from the voltage between its terminals, measured with an electrometer.

The ionization chamber is filled with air or argon ; its electrodes are two parallel plates, which spacing can be varied. Constant ionization current supplied by the system is provided by a thin layer of uranium dioxide, deposited on one side of a plate. If the filling pressure is modified, the ionization current can be continuously varied ; its maxima value is 2.7×10^{-11} ampere, under atmospheric pressure.

Our method allows measurement with great accuracy of resistances which have small values as compared to the internal resistance ρ of the chamber ($\rho = \Delta V/\Delta i$). Under atmospheric pressure, ρ is of the order of 10^{15} ohms ; with air, under a pressure of 2 cm of mercury, ρ will be 10^{16} ohms. The upper limit of resistances which can be measured accurately, with this ionization chamber, is 10^{14} ohms.

La détermination de la valeur d'une résistance électrique devient très difficile dès que le courant qui la traverse est faible — inférieur à 10^{-13} A, pour fixer les idées —, et quelle que soit la nature de cette résistance, couche métallique à structure lacunaire ou isolant proprement dit [1].

Prenons la méthode du voltmètre et de l'ampèremètre, qui est la mieux adaptée à l'enregistrement : la mesure de la tension de la source ne présente aucune difficulté, mais l'erreur sur le courant électrique atteint $\pm$ 4 %, pour une intensité de 10^{-12} A (2), en tenant compte d'un grand nombre de précautions, et notamment de la correction point par point de la valeur de la résistance étalon, aux bornes de laquelle est connecté le circuit d'entrée de l'électromètre : cette résistance varie en effet avec la différence de potentiel existant entre ses extrémités [2].

Lorsque l'intensité diminue, l'erreur croît très vite : pour des courants d'intensités inférieures à 10^{-13} A, on peut adopter deux solutions :

a) Utiliser, en série avec l'élément étudié, des résistances connues de valeurs élevées : le signal d'entrée de l'appareil de mesure peut être suffisant, mais la stabilité de telles résistances est très défectueuse lorsque l'on dépasse 10^{11} ou 10^{12} ohms [2].

b) Conserver une résistance de mesure de 10^{10} ohms : le signal d'entrée de l'électromètre devient très faible ; on peut employer un galvanomètre pour mesurer la tension de sortie lorsque cette dernière diminue trop pour être décelée par l'appareil de lecture normal ou par l'enregistreur, mais le gain du dispositif électronique est alors très mal connu [2].

On voit donc que la méthode classique conduit à des résultats difficilement controlables, dès que l'on veut mesurer des résistances de 10^{14} ohms sous quelques volts, ou de l'ordre de 10^{10} ohms et au

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphysap:0196000210305200

delà, sous des tensions plus élevées. Il est nécessaire de faire appel à une méthode basée sur un principe différent.

Principe de la méthode de la source de courant. — Ce qui précède montre qu'il faut s'affranchir de la détermination du courant, lorsque l'on mesure des résistances élevées. Il est donc intéressant d'utiliser une source de courant, c'est-à-dire une source capable de débiter une intensité constante, quelle que soit l'impédance du circuit extérieur. Connaissant cette intensité, il suffit de disposer un voltmètre aux bornes de l'élément étudié, pour déterminer la chute de tension correspondante, qui conduit à la valeur de la résistance inconnue. La résistance interne de l'appareil de mesure doit être supérieure à cette dernière, mais cela ne présente pas de difficultés lorsque l'on utilise un montage électrométrique convenable.

Une pentode à saturation très marquée pourrait constituer une source de courant, mais son emploi est délicat et l'intensité ne peut être modifiée que dans des limites assez restreintes ; de plus, sa résistance interne est très faible (inférieure à 10^{12} ohms). Nous avons préféré adopter une chambre d'ionisation, dont le débit est constant et très faible, et dont la résistance interne est particulièrement élevée.

Emploi d'une chambre d'ionisation comme source de courant. — Une chambre d'ionisation est constituée par deux électrodes entre lesquelles est établie une différence de potentiel V. Si le remplissage gazeux que contient la chambre est traversé par un flux de particules ionisantes constant dans le temps, l'ionisation du gaz, qui en résulte, se traduit par un courant i, ou courant d'ionisation.

Quelles que soient la forme géométrique et la disposition des électrodes, la nature et la pression du gaz de remplissage, la variation de i en fonction de V est toujours de la forme donnée sur la figure 1 :

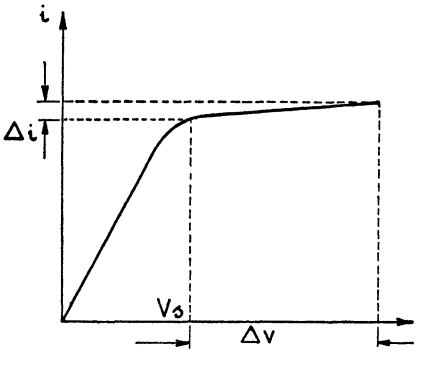

FIG. 1. — Caractéristique électrique d'une chambre d'ionisation sous irradiation constante.

au-dessus d'une tension V_s, le courant d'ionisation est presque constant ; il se forme un palier, qui s'étend jusqu'à la tension de seuil de la région de proportionnalité [3].

Pour une valeur de V donnée située dans cette zone, la chambre se comporte donc comme une source de courant, aux fluctuations statistiques près de l'ionisation, c'est-à-dire de la valeur de i, très faibles si l'on a la précaution d'utiliser une irradiation suffisamment intense.

Notons cependant, comme le montre la figure 1, que le palier $i = f(V)$ possède une faible pente ; la résistance interne :

$$\rho = \Delta V / \Delta i$$

de la chambre est toujours positive ; la valeur de ρ dépend du coefficient de recombinaison ionique, c'est-à-dire de la nature du gaz de remplissage, de la pression, de la forme des électrodes et de leur disposition. On peut donc prévoir, *a priori*, que la chambre d'ionisation, utilisée comme source de courant ne pourra être appliquée qu'à la mesure de résistances faibles par rapport à ρ.

Principe de la méthode de mesure. — R. Jaeger [4] a publié en 1929 une application de chambres d'ionisation comme sources de courant. Il s'agissait d'étalonner des dosimètres par une méthode de compensation, et selon le montage de la figure 2 : le courant à mesurer était annulé, dans la résistance R de grande valeur, par le courant débité par une chambre d'ionisation remplie d'air sous la pression atmosphérique et contenant une

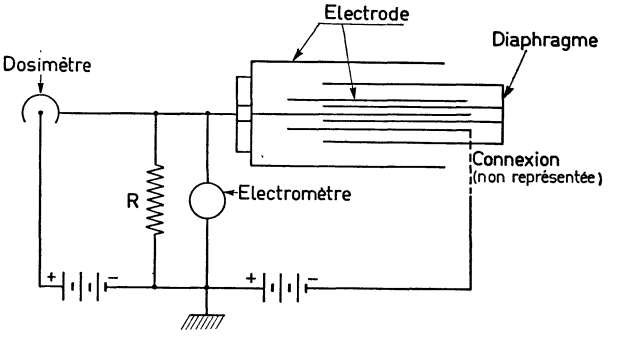

FIG. 2. — Emploi d'une chambre d'ionisation comme source de courant pour l'étalonnage de dosimètres par une méthode d'opposition [4].

source d'oxyde d'uranium. L'introduction entre les électrodes de la chambre d'un diaphragme réglable, convenablement disposé, permettait de faire varier ce courant. On vérifiait l'annulation du courant total dans la résistance R à l'aide de l'électromètre représenté sur la figure 2. Grâce à un étalonnage préalable, on savait quelle était l'intensité correspondant à la position du diaphragme pour laquelle s'annulait le courant total dans la résistance R.

La méthode de la chambre d'ionisation a été appliquée par J. Weill [5] à la mesure de résistances très élevées. Cet auteur employait une

chambre d'ionisation cylindrique, alimentée sous une tension constante de 150 volts, donnée par une pile Zamboni. La chambre était remplie d'anhydride carbonique marqué au ^{14}C, cet émetteur β créant le courant d'ionisation constant débité par l'appareil ; le courant d'ionisation le plus faible réalisé ainsi était de $2{,}56.10^{-11}$ ampère. J. Weill ne précise pas quelle est la limite supérieure des résistances que sa méthode permet de mesurer avec une bonne précision. De la valeur donnée plus haut du courant d'ionisation, on peut déduire que, dans les conditions les plus favorables, on est limité à la mesure des résistances inférieures à 5.10^{12} ohms. Une application pratique des études de J. Weill a été décrite par J. Bristeau [6].

En adoptant le montage électrique donné sur la figure 3, nous nous sommes efforcés de nous placer dans des conditions opératoires plus favorables [7] : nous déduisons le courant d'ionisation i de la chute de tension v aux bornes d'une résistance étalon R_e (voisine de 10^9 ohms) ; v étant donnée par un électromètre type « Vibron », la précision sur la mesure de i est toujours meilleure que 1 %. Connaissant i, nous mesurons la chute de tension aux bornes de la résistance inconnue R_x, et nous en déduisons la valeur de R_x.

Caractéristiques de la chambre d'ionisation réalisée. — On trouvera sur la figure 4 une vue en coupe de la chambre d'ionisation : c'est un système de deux électrodes planes parallèles, en laiton,

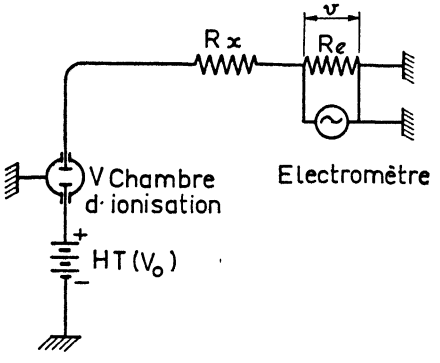

FIG. 3. — Mesure de résistances électriques élevées à l'aide d'une chambre d'ionisation utilisée comme source de courant [7].

plongée dans une enceinte cylindrique taillée dans un rondin de duralumin. L'électrode supérieure constitue le système collecteur : elle est prolongée par un cylindre de laiton qui assure le collectage de la plus grande partie des charges produites par l'ionisation créée par la source radioactive, placée sur l'électrode inférieure, mobile. Les passages isolants, en téflon, ont été calculés pour que les résistances de fuite, en volume, soient supérieures à 10^{17} ohms.

Deux ouvertures circulaires diamétralement opposées (*fig.* 4), permettent de mettre l'enceinte en communication avec un groupe de pompage

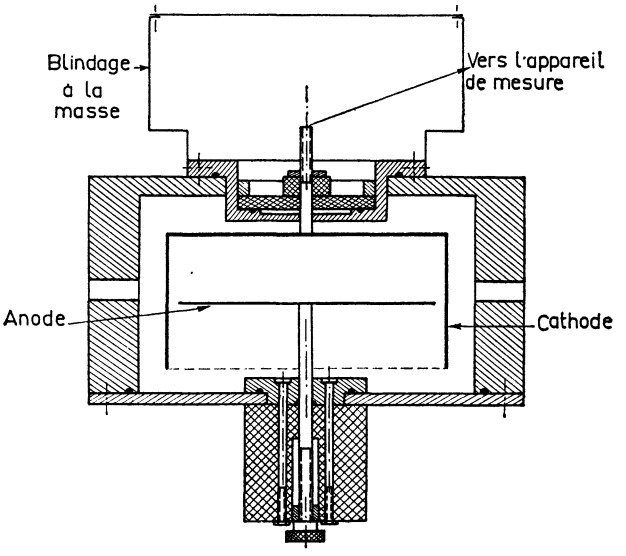

FIG. 4. — Coupe de la chambre d'ionisation à électrodes planes parallèles.

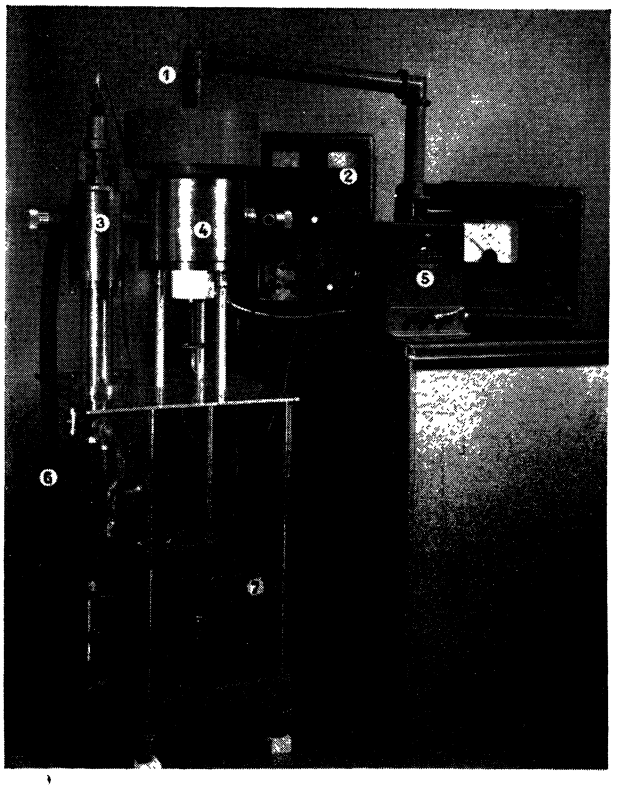

FIG. 5 (Photo YAN). — Montage expérimental d'étude de la chambre d'ionisation.
1. Circuit blindé de mesure. — 2. Source de tension V_0. — 3. Jauge de vide. — 4. Chambre d'ionisation. — 5. Électromètre. — 6. Conduit de remplissage (argon). — 7. Groupe de pompes à vide.

(pompe à palettes et pompe à diffusion d'huile), ou avec une bouteille d'argon comprimé.

La source radioactive d'intensité constante est une couche mince de bioxyde d'uranium naturel, déposée sur la face supérieure de l'électrode mobile et protégée par une pellicule de collodion ; cette source occupe une surface de 7 cm² ; son activité est voisine de 0,3 microcurie.

La figure 5 représente le montage expérimental d'étude de la chambre. On aperçoit le groupe de pompage, l'enveloppe cylindrique de la chambre, l'alimentation stabilisée fournissant la tension entre les électrodes, et l'électromètre.

1° Courant d'ionisation i. — Le courant d'ionisation a été déterminé par la mesure de la différence de potentiel v aux bornes d'une résistance connue $R_e = 1{,}15.10^9$ ohms (*fig.* 3). La figure 6

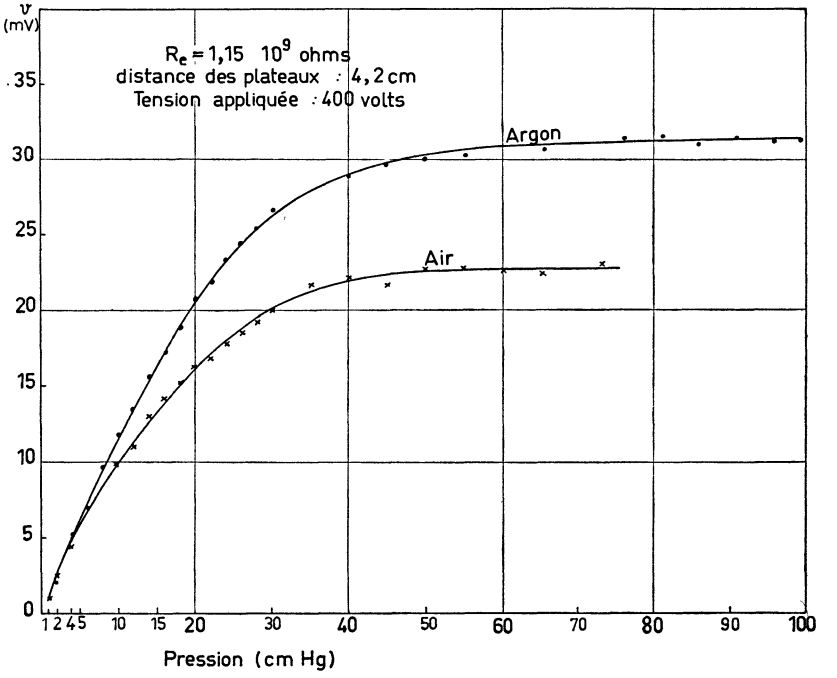

Fig. 6. — Variation du courant d'ionisation en fonction de la pression.

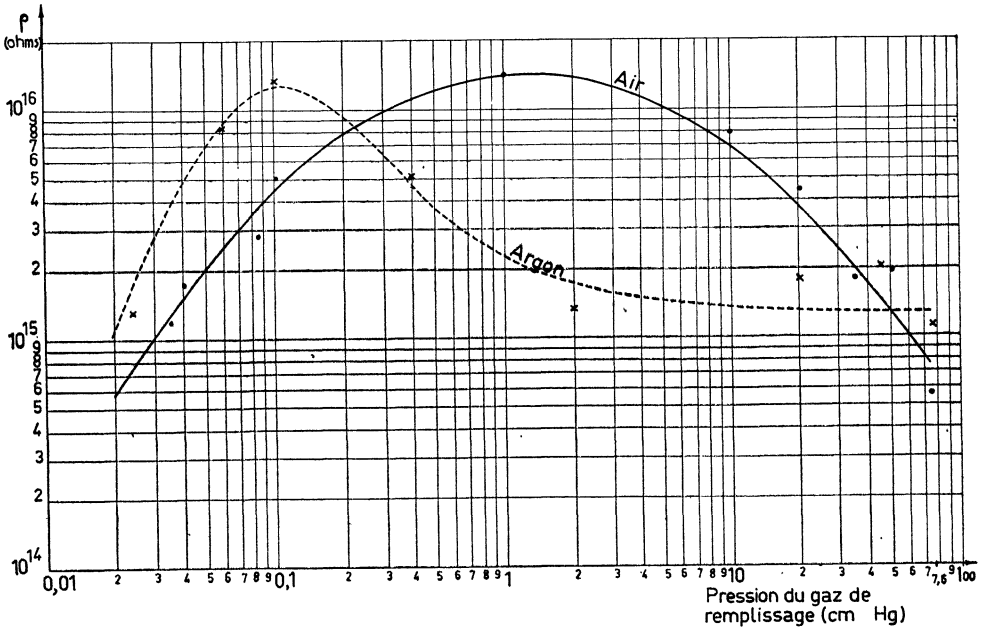

Fig. 7. — Variation, en fonction de la pression, de la résistance interne de la chambre, pour l'air et pour l'argon.

donne, en fonction de la pression, les résultats obtenus avec l'air et l'argon, et une tension appliquée $V_0 = 400$ volts, la distance entre les électrodes étant de 4,2 cm. La différence de potentiel v, donc le courant d'ionisation, tendent vers des valeurs constantes lorsque la distance des électrodes devient supérieure au parcours des particules alpha de l'uranium, pour la pression à laquelle est maintenu le gaz.

Par variation de la pression, nous réalisons ainsi une source de courant dont le débit peut être modifié à volonté dans une gamme de valeurs très large ; nous pouvons ainsi amener, avec précision, le courant d'ionisation à une valeur prédéterminée.

2° Résistance interne de la chambre. — Comme nous l'avons indiqué plus haut, la chambre ne permet de mesurer que des résistances faibles par rapport à sa résistance interne : là se trouve la limitation pratique de la méthode. Il faut donc se placer dans des conditions telles que la pente $\Delta i/\Delta v = 1/\rho$ de la caractéristique (*fig.* 1) soit aussi faible que possible.

La figure 7 donne la variation de la résistance interne de la chambre en fonction de la pression, pour l'air et l'argon : ρ passe par un maximum pour une pression comprise entre 1 et 2 cm de mercure dans le cas de l'air, égale à 1 mm de mercure dans le cas de l'argon. Les valeurs maximales de ρ sont pratiquement identiques ; à ce point de vue, l'argon ne présente aucun avantage sur l'air : des remplissages d'air sous des pressions comprises entre 1 et 2 cm de mercure constituent donc les solutions les meilleures.

Résultats obtenus dans la mesure des résistances. — 1° Gaz sous la pression atmosphérique. — Pour nous fixer un point de référence, nous avons d'abord considéré le cas où les gaz sont à la pression atmosphérique. Il est évident que la mesure n'a un sens que si la chambre d'ionisation se comporte comme une source de courant ; c'est pourquoi nous avons tracé la famille des caractéristiques $i = f(V_0)$ en employant des valeurs croissantes et connues de la résistance R_x (*fig.* 3). La figure 8 résume nos résultats :

a) Pour l'air, $\rho \# 5.10^{14}$ ohms : i reste sensiblement constant jusqu'à $R_x = 10^{13}$ ohms, mais, pour des résistances plus élevées, sa valeur tombe rapidement ; c'est ainsi que, pour $R_x = 10^{14}$ ohms, elle n'est plus que le (1/15e) de sa valeur normale.

b) Pour l'argon, $\rho \# 10^{15}$ ohms. Les résultats, bien qu'un peu améliorés, conduisent à une valeur limite de R_x presque identique.

Dans ces conditions, la chambre d'ionisation permet de mesurer des résistances allant jusqu'à 10^{13} ohms.

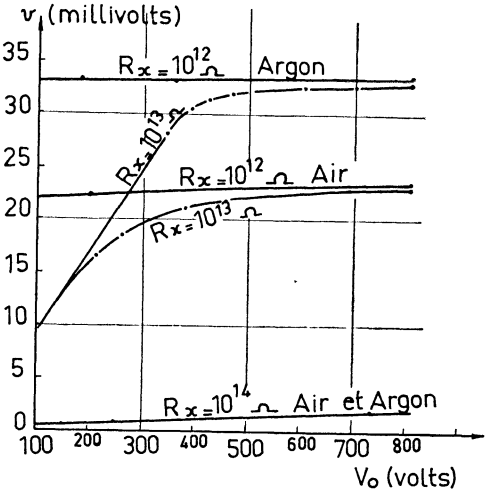

Fig. 8. — Caractéristique électrique de la chambre d'ionisation pour diverses valeurs de la résistance de charge R_x (pression atmosphérique).

2° Air sous la pression de 2 cm de mercure. — Nous nous trouvons ici dans les conditions optimales (ρ voisine de 10^{16} ohms). En utilisant le montage de la figure 3, le courant d'ionisation est de 2.10^{-12} ampère pour une résistance $R_x = 10^{14}$ ohms, alors que sa valeur est de $2{,}2.10^{-12}$ ampère pour une résistance beaucoup plus faible : la chambre d'ionisation permet de mesurer les résistances allant jusqu'à 10^{14} ohms avec une précision meilleure que 10 %. Ce sont alors les résistances superficielles des passages isolants qui deviennent gênantes.

Conclusion. — La méthode exposée ici permet d'aller beaucoup plus loin dans la mesure précise des résistances de grande valeur que ne le permettent les méthodes classiques.

La limite pratique que nous donnons ici correspond à une chambre de forme géométrique donnée. Il est peut être possible d'améliorer les performances en modifiant la géométrie du détecteur, et nous poursuivons nos travaux dans cette direction.

Manuscrit reçu le 25 janvier 1960.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Lacoste (R.), *C. R. Acad. Sc.*, 1956, **243**, 1609 ; *C. R. Acad. Sc.*, 1959, **248**, 655.
[2] Lacoste (R.), Contribution à l'étude de la conductibilité des isolants solides. Thèse de Doctorat ès Sciences, Toulouse, 1959.
[3] Blanc (D.), Détecteurs de particules ; compteurs et scintillateurs, Masson, édit., Paris, 1959.
[4] Jaeger (R.), *Z. Physik*, 1929, **52**, 627.
[6] Weill (J.), Technique du contrôle des réacteurs nucléaires, Thèse d'Ingénieur-Docteur, Paris, 1953 ; rapport C. E. A. n° 323, p. 32 ; cours de Génie Atomique, 1955 : contrôle des piles, techniques diverses, p. 4.
[6] Bristeau (J.), *L'Onde Électrique*, 1955, **335-337**, 220.
[7] Blanc (D.), Fort (E.), Lacoste (R.) et Lagasse (J.), *C. R. Acad. Sc.*, 1959, **248**, 2984.