

Mesure de Très Grandes Résistances pour l'Isolation de Détecteurs de Radiations

Roland SELLAM*, Shunji KAKIUCHI**, and Hiromasa MAZAKI**

Received December 27, 1977

For precise measurements of very small ionization current (10^{-10} ~ 10^{-16} A) by nuclear radiations, a method of extremely high insulation test (up to 10^{18} Ω) is proposed. Applying the test for teflon (CF_2CF_2)_n, electrical resistances of the order of 10^{15} ~ 10^{18} Ω can be measured within inaccuracy of ± 5 ~ $\pm 30\%$.

I. INTRODUCTION

La mesure de l'intensité d'un rayonnement issu de l'atome peut se faire suivant plusieurs méthodes, la méthode de comptage est la plus utilisée: la radiation ionisante en traversant le détecteur produit un certain nombre d'ions et d'électrons, la charge électrique ainsi produite est collectée puis transformée en une impulsion et cette impulsion est enregistrée par un circuit électronique. C'est le procédé utilisé dans les compteurs du type Geiger-Müller ou les détecteurs proportionnels et semi-conducteurs. L'impulsion est dans ces deux derniers cas proportionnelle à l'énergie incidente des particules. Pour des taux de comptage relativement grands, la correction du temps mort est difficile à réaliser, aussi l'étude de l'intensité d'un rayonnement ionisant est obtenue à partir de la mesure du courant d'ions crée et collecté sur une électrode. C'est la méthode utilisée dans les chambres d'ionisation. Une modification de la chambre d'ionisation appelée chambre différentielle fut proposée pour la première fois par Rutherford,¹⁾ cette chambre permet la mesure de courants extrêmement faibles (10^{-10} ~ 10^{-16} A) avec une bonne précision.²⁻⁸⁾ Quelle que soit la chambre utilisée, si l'on veut que l'ensemble des charges créées soit recueilli puis mesuré, il est nécessaire que l'électrode collectrice soit très bien isolée du reste de l'appareillage. Cette condition est réalisée avec l'emploi d'isolant de très grande résistance électrique de 10^{15} à 10^{18} Ω . La présente étude décrit le procédé utilisé pour mesurer des résistances électriques de très grande valeur. Ce procédé fut employé dans la mesure d'un isolant organique, le téflon, et les résultats expérimentaux se trouvent dans le troisième paragraphe.

II. PRINCIPE ET CARACTERISTIQUES DU PROCEDE UTILISE

Le bloc diagramme de la méthode de mesure est présenté dans Fig. 1. La résistance à mesurer est soumise à une tension continue, sous l'effet de cette tension, un courant

* On leave from Université de Grenoble.

** 垣内俊二, 間崎啓匡: Laboratory of Nuclear Radiation, Institute for Chemical Research, Kyoto University, Kyoto.



Fig. 1. Bloc diagramme du système de mesure: B, batterie ou pile; R, résistance à mesurer; E, électromètre à lame vibrante; Rd, recorder.

continu d'intensité I (de l'ordre de 10^{-10} à 10^{-16} A selon la résistance et la tension appliquée) s'écoule à travers la résistance, ce courant est mesuré par un électromètre à lame vibrante et les mesures sont affichées sur le graphe d'un recorder. Bien que simple dans son principe, l'extrême petitesse du courant rend difficile la mesure.

D'après ce schéma, l'électromètre à lame vibrante est la pièce maîtresse du montage, il est donc nécessaire de connaître toutes ses caractéristiques. Dans cet appareil, le courant incident passe à travers une résistance connue et la tension aux deux bornes de cette résistance est mesurée après être transformée en courant alternatif. Cette transformation s'effectue à l'aide d'une capacité variant périodiquement, ce courant produit est ensuite amplifié et rectifié.

L'électromètre utilisé est du type "Ohkura Electronic No. 301", il comporte trois résistances d'entrée interchangeables de 10^8 , 10^{10} , et 10^{12} Ω . La tension de sortie est lue sur un cadran circulaire dont l'échelle peut varier de 1 mV à 3000 mV. Les variations de cette tension lors des mesures sont enregistrées sur le graphe du recorder. La stabilité et les fluctuations du courant de sortie pour une impédance d'entrée de 10^{12} Ω furent mesurées, elles sont de l'ordre de 150 μ V (Mesure sur 10 h). Cette mesure montre que la valeur minimale de l'intensité mesurable est de l'ordre de 10^{-16} A environ.

La valeur des résistances d'entrée de l'électromètre à lame vibrante intervient dans toutes les mesures d'intensité ou de résistances, leur connaissance précise fut donc nécessaire. La mesure de ces résistances fut obtenue à l'aide du montage présenté dans Fig. 2. Un générateur de faible courant délivre une intensité connue, la tension aux bornes des résistances d'entrée est mesurée directement par l'électromètre. Ce générateur de faible courant comporte trois parties, un générateur de tensions linéairement variables, il s'agit d'un générateur basse fréquence en position "triangle". Un pont diviseur obtenu à l'aide d'un potentiomètre et une capacité qui transforme les variations de tension en courant. L'intensité obtenue est donnée par la relation:

$$I = C \frac{dV}{dt}.$$

Cette intensité est débitée sur la résistance d'entrée de l'électromètre de 10^{10} ou 10^{12} Ω suivant la mesure. Pour avoir une bonne calibration de l'intensité I , il est donc nécessaire que la résistance de la capacité soit largement supérieure à celle de la résistance

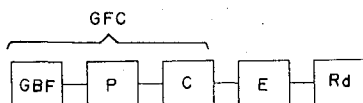


Fig. 2. Bloc diagramme du système de mesure des résistances d'entrée de l'électromètre: GFC, générateur de faible courant; GBF, générateur basse fréquence; P, pont diviseur; C, capacité; E, électromètre à lame vibrante; Rd, recorder.

Mesure de Très Grandes Résistances

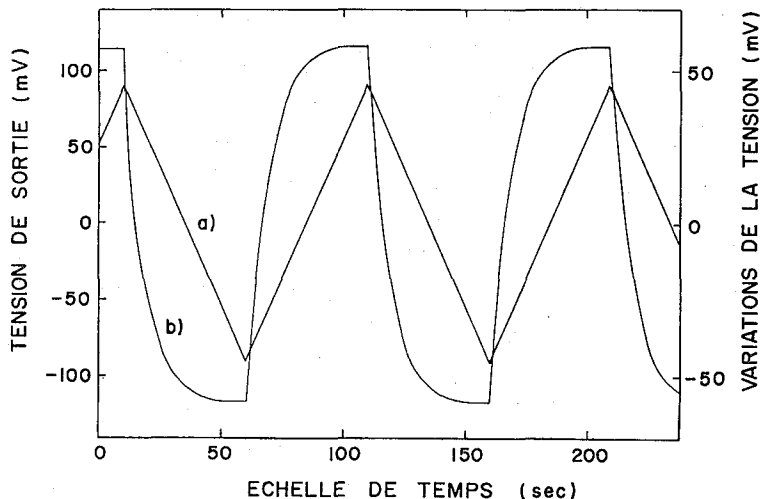


Fig. 3. Mesure de la résistance d'entrée de $10^{12} \Omega$ de l'électromètre.
(a) Variations de la tension, (b) Tension de sortie.

d'entrée de l'électromètre. La fabrication d'une capacité de moins de 100 pF et de grande résistance interne fut nécessaire. La capacité fabriquée est de forme cylindrique, elle s'adapte directement sur le "nez" de l'électromètre, le support est en quartz. Une pellicule d'aluminium fut déposée par évaporation sous vide sur les surfaces interne et externe. La valeur obtenue de la capacité est de 63.1 ± 0.1 pF, sa résistance mesurée est de l'ordre de $10^{14} \Omega$. Avec l'appareillage utilisé, il fut donc possible de produire des courants dont l'intensité est comprise entre 10^{-10} et 10^{-16} A avec une précision de quelques pour cent seulement. Une mesure de la résistance d'entrée de $10^{12} \Omega$ est illustrée dans Fig. 3, où 3a représente les variations de la tension en fonction du temps (Echelle de droite), 3b correspond aux variations de tension à la sortie de l'électromètre, la tension de sortie est soit positive lorsque dV/dt augmente, soit négative lorsque dV/dt diminue. La valeur des résistances d'entrée de l'électromètre est la suivante :

$$R_{10} = (0,96 \pm 0,01) \times 10^{10} \Omega$$

$$R_{12} = (0,95 \pm 0,03) \times 10^{12} \Omega.$$

Les performances du montage représenté dans Fig. 1 dépendent essentiellement de la tension continue que l'on applique sur la résistance inconnue et de la bonne isolation du couple résistance-électromètre.

III. APPLICATION ET RESULTATS OBTENUS

La résistance entre deux conducteurs séparés par un isolant électrique dépend de la résistance de volume et de la résistance de surface de cet isolant. En général les valeurs des résistivités électriques données dans la littérature sont très variables selon les auteurs,⁹⁾ de plus ces valeurs prennent rarement en considération la résistivité de surface du matériau isolant. Le montage précédent fut utilisé dans la mesure d'un isolant organique, le téflon. Pour éviter les problèmes d'isolation, cet isolant était placé sans support sur le "nez" de l'électromètre et l'ensemble électromètre-isolant se trouvait

dans une boîte fermée à la masse. Un sachet de gel de silicate éliminait l'humidité qui joue un rôle très important en surface. Avant chaque mesure l'isolant fut nettoyé par acide puis lavé et rincé à l'eau distillée.

Figure 4 représente les résultats obtenus des mesures de résistances de volume. Lors de ces mesures, la longueur de surface de l'isolant séparant les deux conducteurs dépassait 7 cm. La tension appliquée est fournie par une pile sèche. La valeur mesurée de la résistance de volume de téflon est de $(1,1 \pm 0,3) \times 10^{18} \Omega$ pour 1 cm. Les mesures de résistances de surface se trouvent dans Fig. 5, les fluctuations du courant de surface, plus sensibles aux conditions extérieures sont relativement plus grandes que

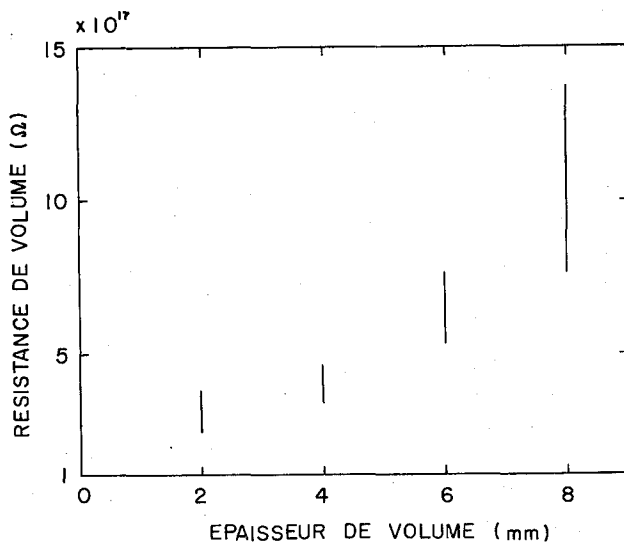


Fig. 4. Résistance de volume versus épaisseur de volume.

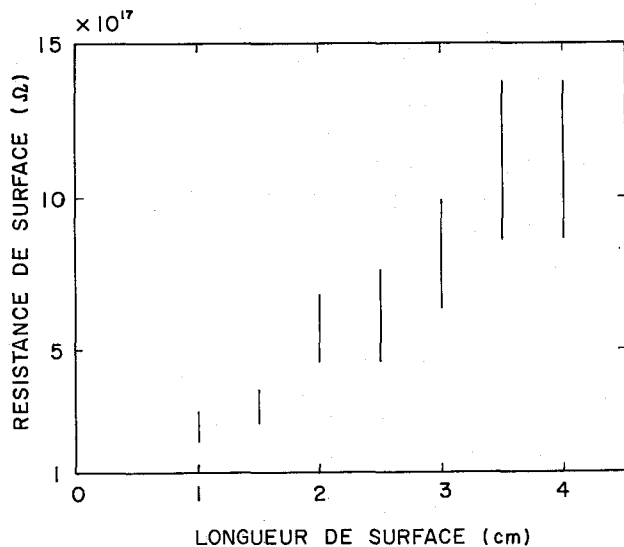


Fig. 5. Résistance de surface versus longueur de surface.

dans le cas du courant de volume. La tension appliquée fut limitée volontairement à 315 V pour éviter les décharges électriques qui auraient pu endommager l'électromètre, malgré cette tension, le courant produit est encore assez faible de 5×10^{-16} à 1×10^{-15} A. La résistance de surface mesurée est de $(2,5 \pm 0,5) \times 10^{17} \Omega$ pour 1 cm (cas d'air sec). La résistance électrique est de ce fait 4 fois plus grande en volume qu'en surface.

IV. APPLICATION DANS LA FABRICATION D'UN DETECTEUR DE RAYONNEMENTS

Dans un détecteur nucléaire, lorsque l'électrode collectrice est peu isolée, une partie des charges électriques produites par ionisation est perdue. L'isolation peut-être relativement simple comme dans le cas de détecteurs du type Geiger-Müller, elle devient essentielle si l'on veut connaître le nombre d'ions créés (et donc l'énergie des particules incidentes) et dans le cas de détecteurs différentiels. Un détecteur différentiel est composé de 2 chambres d'ionisation couplées entre-elles. Chaque chambre mesure l'intensité d'une source radioactive. Les potentiels électriques de ces chambres étant opposés, le courant produit par les 2 chambres est de signe contraire, les intensités des sources sont comparées par superposition des 2 courants. Si l'on considère que le courant produit par chaque chambre est de l'ordre de $\pm 10^{-10}$ à $\pm 10^{-12}$ A, le courant que l'on mesure à une valeur pouvant atteindre 10^{-14} à 10^{-16} A. Les électrodes collectrices dans ce cas doivent recueillir les charges créées avec un courant de fuite bien inférieur à 10^{-16} A, ce qui nécessite que les électrodes collectrices soient séparées du support de la masse par un isolant électrique de très grande résistance. La mesure de résistance effectuée donne une indication sur les dimensions minimales de l'isolant protecteur, elle montre aussi que cet isolant doit avoir une forme qui respecte la différence entre les résistances de surface et de volume.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent particulièrement à remercier le Professeur S. Shimizu pour ses stimulantes discussions.

REFERENCES

- (1) E. Rutherford, *Sitzber. Akad. Wiss. Wien. Math. natur. K1*, **120**, 303 (1911).
- (2) R. Bouchez, P. Daudel, R. Daudel, and R. Muxart, *Compt. rend.*, **227**, 525 (1948); *J. Phys. Radium*, **10**, 201 (1949); P. Benoist, R. Bouchez, P. Caudel, R. Daudel, and A. Rogozinski, *Phys. Rev.*, **76**, 1000 (1949).
- (3) E. Segrè and C. E. Wiegand, *Phys. Rev.*, **75**, 39 (1949); Erratum, *ibid.*, **81**, 284 (1951).
- (4) R. F. Leininger, E. Segrè, and C. Wiegand, *Phys. Rev.*, **76**, 897 (1949); Erratum, *ibid.*, **81**, 280 (1951).
- (5) K. T. Bainbridge, M. Goldhaber, and E. Wilson, *Phys. Rev.*, **84**, 1260 (1951).
- (6) K. T. Bainbridge, M. Goldhaber, and E. Wilson, *Phys. Rev.*, **90**, 430 (1953).
- (7) J. J. Kraushaar, E. D. Wilson, and K. T. Bainbridge, *Phys. Rev.*, **90**, 610 (1953).
- (8) H. Mazaki, E. Yoshioka, and S. Kakiuchi, *Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ.*, **53**, 1 (1975).
- (9) See for example, S. Iida *et al.* eds., "Butsuriteisūhyo," Asakura Shoten, Tokyo. (1969), p. 138.