

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 33 (1960)  
**Heft:** I

**Artikel:** Amélioration du plateau des compteurs Geiger-Müller à coque métallique et remplissage argon-alcool  
**Autor:** Kern, J. / Huber, O.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-113064>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Amélioration du plateau des compteurs Geiger-Müller à coque métallique et remplissage argon-alcool

par **J. Kern et O. Huber**

Institut de Physique de l'Université de Fribourg

(15 VIII 1959)

*Abstract.* The construction of a metallic Geiger-Müller Counter is described. Spurious counts are successfully suppressed by a careful choice of wire diameter. For the elimination of end effects a new arrangement with two concentric guard rings was finally developed. With Argon-Alcohol mixture, the plateau shows a slope of 0,6% over 150 volts in «homogenous» irradiation. Using a collimated beam of gamma rays 0,24% over 160 volts is obtained. It is shown that in the latter case the residual slope is due exclusively to the decreasing of the deadtime with increasing overtension.

## 1. But du travail

Le problème à résoudre était celui de la construction d'un compteur G. M. pour le spectromètre  $\beta$  de notre Institut<sup>1)</sup>. Ce détecteur doit réunir les caractéristiques suivantes:

- a) Un diamètre de cathode de 30 mm pour pouvoir capter un faisceau divergent sortant d'un diaphragme carré de  $20 \times 20$  mm.
- b) Un plateau aussi long et plat que possible pour pouvoir faire des mesures quantitatives précises dans un milieu où la température n'est pas constante.
- c) Une fenêtre mince pour la détection d'électrons de faible énergie.
- d) Une longueur réduite pour limiter le mouvement propre et la sensibilité à un rayonnement  $\gamma$  ambiant éventuel.

## 2. Introduction

La condition c) nous impose l'emploi de gaz ou vapeurs de remplissage non agressifs à une faible pression totale. Nous avons adopté un mélange argon-alcool à la pression de 100 Torr. On aurait pu choisir un autre mélange: MEUNIER, BONPAS et LEGRAND<sup>2)</sup> ont étudié les conditions spectroscopiques que doivent remplir les vapeurs organiques et proposé le méta- et le paraxylène. Le problème des produits de décomposition n'a cependant pas été considéré et très peu de mesures ont été faites avec ces

vapeurs organiques. Pour l'alcool, par contre, de nombreuses mesures quantitatives ont été publiées, auxquelles il est intéressant de se référer. L'alcool est aussi chimiquement moins actif.

Il est pratique, sinon nécessaire, d'employer un compteur facilement démontable à cathode métallique.

CHAUDHRI et FENTON<sup>3)</sup> ont fait une étude systématique sur des compteurs de ce type. Leur cathode avait 22 mm de diamètre et leur anode était limitée par des capillaires en pyrex. Ils ont trouvé les valeurs optima suivantes: Longueur de l'anode 40 à 50 mm, diamètre de l'anode 0,12 mm, pente du plateau 4% sur 100 volts, longueur du plateau 300 volts.

Il nous paraît utile et possible d'améliorer ce résultat. Nous avons considéré comme acquis que la pente du plateau provient, en grande partie au moins, de deux effets:

1° de l'apparition de décharges parasites d'autant plus nombreuses que la tension augmente;

2° d'effets aux extrémités du compteur.

Pour supprimer le premier de ces effets on peut, comme le propose PUTMAN<sup>4)</sup>, imposer au compteur un temps mort artificiel à l'aide d'un système électronique externe (système de paralysie).

Il y a peut-être une meilleure méthode: FENTON et FULLER<sup>5)</sup> ont mesuré le taux des impulsions parasites en fonction du diamètre de l'anode. A charge par impulsion égale, ils trouvent que ce taux est minimum, et pratiquement nul, pour un diamètre d'environ 0,2 mm. Il semble donc qu'en utilisant ce diamètre on devrait pouvoir supprimer le premier effet.

Des effets aux extrémités donnent également une contribution à la pente du plateau. L'efficacité du compteur augmente avec la surtension de la façon suivante:

a) par un accroissement du volume sensible, c'est-à-dire du volume où la présence d'un électron libre peut provoquer la décharge du compteur.

b) par un accroissement de la multiplication gazeuse à proximité de chaque point de l'anode. Comme l'ont montré indépendamment NAWIJN<sup>6)</sup> et WILKINSON<sup>7)</sup>, l'efficacité autour d'un segment de l'anode est fonction de la multiplication gazeuse, donc du champ électrique local. L'affaiblissement du champ près des supports de l'anode, spécialement lorsqu'ils sont conducteurs, conduit à une efficacité croissante de ces régions en fonction de la surtension, alors que le centre du compteur a atteint dès le début du plateau une efficacité voisine de 100%.

Pour éliminer ces effets de bout, on peut entourer l'anode, à ses extrémités, d'électrodes de garde. Une première méthode consiste à donner à cette électrode le même diamètre que l'anode, comme le proposent ROSSI et STAUB<sup>8)</sup> ou SIKKEMA<sup>9)</sup> pour des compteurs proportionnels. Il ne nous semble pas que la méthode puisse s'appliquer dans le domaine

Geiger, où la décharge n'est pas localisée. La seconde méthode, proposée par COCKROFT et CURRAN<sup>10</sup>), consiste à entourer l'extrémité de l'anode par un tube coaxial mis, si possible, au potentiel correspondant à celui de son rayon dans la distribution cylindrique non perturbée. Par cette construction la pente de leur plateau est abaissée de 7,4 à 4,4% par 100 volts.

Nous nous sommes proposé d'étudier systématiquement des compteurs de cette dernière construction.

### 3. Méthode expérimentale

La principale difficulté que l'on rencontre, lorsqu'on veut comparer les caractéristiques de divers compteurs, est le manque de reproductibilité des caractéristiques. Mis à part le mode d'irradiation, point sur lequel nous reviendrons, ceci est dû aux différences de remplissage (y compris les impuretés) et, dans une certaine mesure, aux différents états de surface de la cathode. Pour éviter ces inconvénients, nous avons construit différents types de compteurs dans lesquels un paramètre est ajustable de l'extérieur, au moyen d'un aimant, tous les autres restant communs; l'expérience se situe donc entièrement dans les mêmes conditions gazeuses.

Un compteur est représenté schématiquement dans la figure 1. Sauf spécifications contraires, les conditions de l'expérience sont les suivantes: La cathode est en laiton ou laiton nickelé. Elle est polie mécaniquement; nous ne lui avons fait subir aucun traitement chimique. Les électrodes de garde sont en laiton et l'anode en acier inoxydable. Les parties isolantes sont en Cibanit\*).

Chaque système est placé dans un tube de verre. A une extrémité de ce tube on a soufflé un fond; sur l'autre on a scellé une plaque de fer avec de la picéine. La plaque de fer est munie de traversées en verre «Philips». Les connexions électriques sont assurées par des fils de cuivre émaillés, placés à l'intérieur de «spaghettis» en Teflon. Si ces connexions doivent être étendues lors de l'ajustement, on les a enroulées en spirale. Le remplissage et l'évacuation du compteur se fait par un robinet de verre, graissé au silicone.

Chaque compteur neuf est évacué à l'aide d'une pompe à diffusion à huile, tandis qu'il est chauffé à environ 60°C, et ceci pendant 48 heures ou plus, jusqu'à ce que la pression soit descendue au voisinage de la pression limite du poste de pompage. Ces précautions sont absolument nécessaires si l'on veut que les caractéristiques soient stables dans le temps.

Les pressions des gaz de remplissage sont mesurées avec un manomètre à mercure. L'argon a une pureté garantie de 99,99%; l'alcool éthylique

<sup>10</sup>) Produit de CIBA à Bâle.

provient d'ampoules scellées du commerce et a une pureté garantie de 99,1%. Si le compteur n'est pas soigneusement dégazé les gaz désorbés des parois contribuent beaucoup plus fortement aux impuretés du mélange que les impuretés des gaz de remplissage. Sur une pression totale de 100 Torr, la pression partielle d'alcool initiale est de 14 à 16 Torr. Après quelques heures cette pression partielle a diminué d'environ 4 Torr par suite d'adsorption.

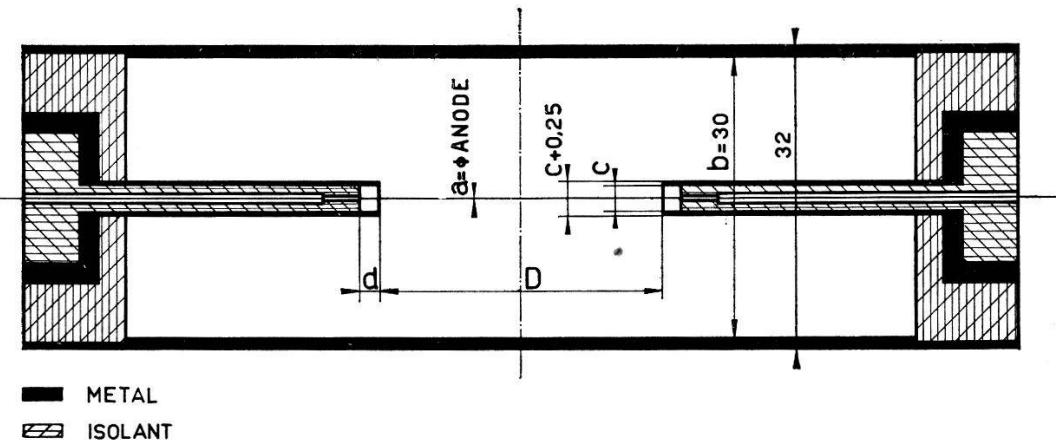


Fig. 1

Schéma du compteur

 $d$  est négatif lorsque l'isolation est en retrait (comme sur la figure)

Le taux de comptage moyen a été maintenu dans l'ordre de 40 impulsions par seconde. La source du rayonnement est constituée par du  $\text{Co}^{60}$ . L'irradiation a été faite de deux manières :

a) *Homogène*, en plaçant la source à une distance suffisante du compteur pour que le rayonnement soit réparti uniformément sur toute sa longueur.

b) *Concentrée*, en interposant un canal de plomb entre la source et le compteur pour affaiblir le rayonnement aux extrémités de l'anode.

La résistance de travail est de  $3 \text{ M}\Omega$ . Le potentiel des électrodes de garde est fixé par un potentiomètre ohmique d'environ  $15 \text{ M}\Omega$  entre la cathode, mise à la terre, et la haute tension stabilisée.

On introduit les symboles et définitions suivants :

$V$  = tension statique d'anode.

$V_g$  = tension des électrodes de garde.

$R$  =  $1000 \cdot V_g/V$ .

$R_{th}$  = valeur de  $R$  qui donne aux électrodes de garde le potentiel correspondant à celui de leur rayon dans la distribution cylindrique non perturbée.

$N$  = taux de comptage (coups/sec).

$\Delta N$  = accroissement du taux de comptage pour une augmentation de tension  $\Delta V = 100$  volts.

$V_s$  = seuil de comptage. Le seuil de discrimination est de 0,6 volts.

$V_d$  = Tension pour laquelle le compteur est déchargé par de nombreuses décharges parasites (cf. § 5).

$L = V_d - V_s$  = longueur du palier.

Par pente relative du plateau nous entendons le rapport  $\Delta N/N$ .  $N$  est pris au milieu du plateau.

Par plateau nous entendons la partie la moins inclinée du palier.

$T_m$  = Temps mort.

#### 4. Compteur I

Caractéristiques: Longueur  $D$  variable; diamètre de l'anode  $a = 0,2$  mm; diamètre des électrodes de garde  $c = 3$  mm; retrait de l'isolation  $d = -2$  mm.  $R_{th} = 460$ . Irradiation homogène.

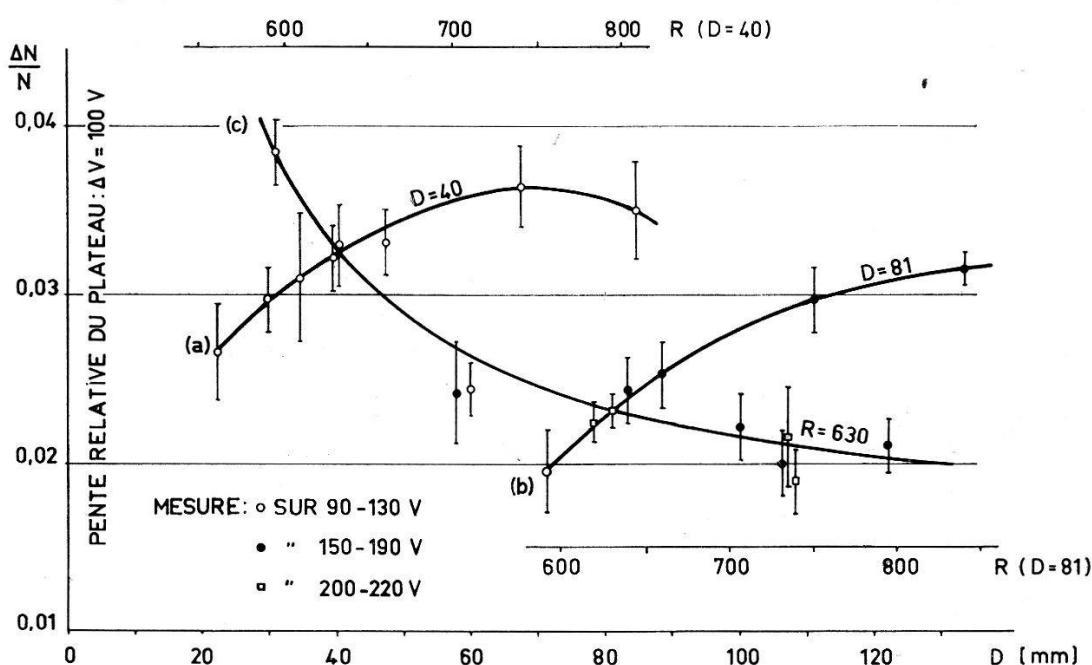


Fig. 2

Compteur I.  $a = 0,2$  mm;  $c = 3$  mm;  $d = -2$  mm; Irradiation homogène

Pente du plateau en fonction de la longueur  $D$  et du rapport  $R$

Avec ce compteur nous avons étudié la pente du plateau en fonction de la longueur  $D$  de l'anode et en fonction du rapport  $R$ . Nous avons irradié le compteur de façon homogène afin que les effets aux extrémités soient bien mis en évidence. Le résultat des mesures est reporté dans la figure 2.

Deux mesures à longueur  $D$  constante (courbes  $a$  et  $b$ ) montrent l'amélioration de la pente du plateau lorsque  $R$  se rapproche de  $R_{th}$ . Pour une valeur  $R$  constante, égale à 630 (courbe  $c$ ), le plateau s'améliore lorsque le compteur s'allonge, par suite de la diminution relative des effets aux extrémités.

Il n'était pas possible d'abaisser  $R$  jusqu'à  $R_{th}$ : Lorsqu'on observe la longueur du palier  $L$  en fonction de valeurs décroissantes de  $R$ , on constate qu'elle est constante jusqu'à une certaine valeur critique de  $R$  que nous appellerons  $K$ . Elle diminue ensuite rapidement, de sorte que tout plateau utile vient à disparaître avant que  $R$  n'atteigne  $R_{th}$ .

### 5. Compteur II

Caractéristiques:  $D = 80$  mm;  $a$  variable;  $c = 3$  mm;  $d = -2$  mm.  
Irradiation concentrée.

Ce système est constitué par un long tube de verre dans l'axe duquel est tendu un fil d'anode se composant de plusieurs sections.

On a représenté dans la figure 3 la relation entre  $L$  et  $R$  pour les différentes valeurs de  $a$ .

Nous devons faire quelques remarques sur la manière dont a été déterminé  $L$ : S'il n'y a aucune difficulté concernant  $V_s$ , il faut préciser les

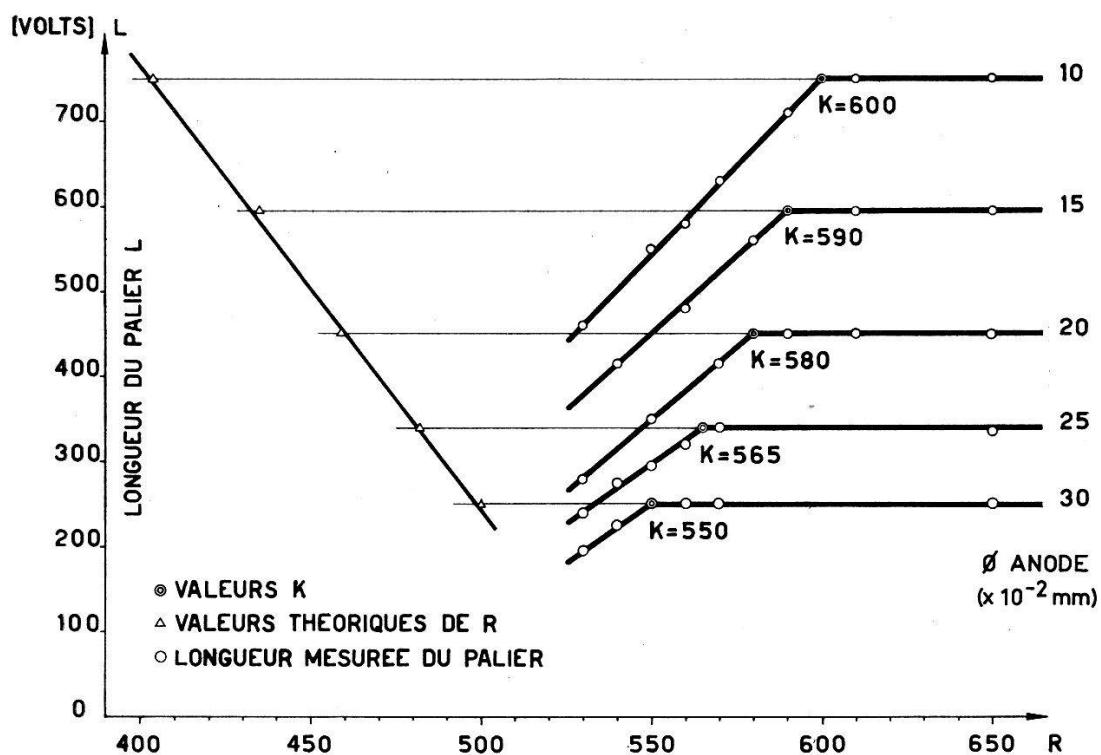


Fig. 3

Compteur II.  $D = 80$  mm;  $c = 3$  mm;  $d = -2$  mm  
Longueur du palier en fonction de  $R$  pour différents diamètres de l'anode

critères que nous avons choisis pour la détermination de  $V_d$ . Pour les valeurs de  $R$  inférieures à  $K$ , le taux des impulsions augmente lentement jusqu'à une certaine tension où, d'autant plus subitement que le diamètre des électrodes de garde est petit, des décharges continues apparaissent. Ces décharges sont accompagnées d'impulsions géantes. Pour les valeurs

$R$  plus grandes que  $K$ , par contre, le taux des impulsions augmente continuellement avec la tension jusqu'à de très grandes valeurs et la distinction de véritables décharges continues est beaucoup plus difficile. Des impulsions géantes commencent à apparaître à des tensions plus petites que celles qui provoquent des décharges continues. Elles sont accompagnées de trains de décharges. C'est pour un certain taux de ces décharges, observées à l'oscillographe, que nous avons arbitrairement fixé la tension  $V_d$ . La précision de reproduction de la détermination peut être estimée à 10 volts pour des mesures consécutives.

On constate que la tension  $V_d$  diminue lorsqu'on augmente le diamètre de l'anode, tandis que la tension de seuil augmente. Il en résulte un double raccourcissement de  $L$ .

Le résultat des mesures de la pente du plateau en fonction de  $a$  et de  $R$  est représenté dans la figure 4. Ces mesures ont été effectuées en con-

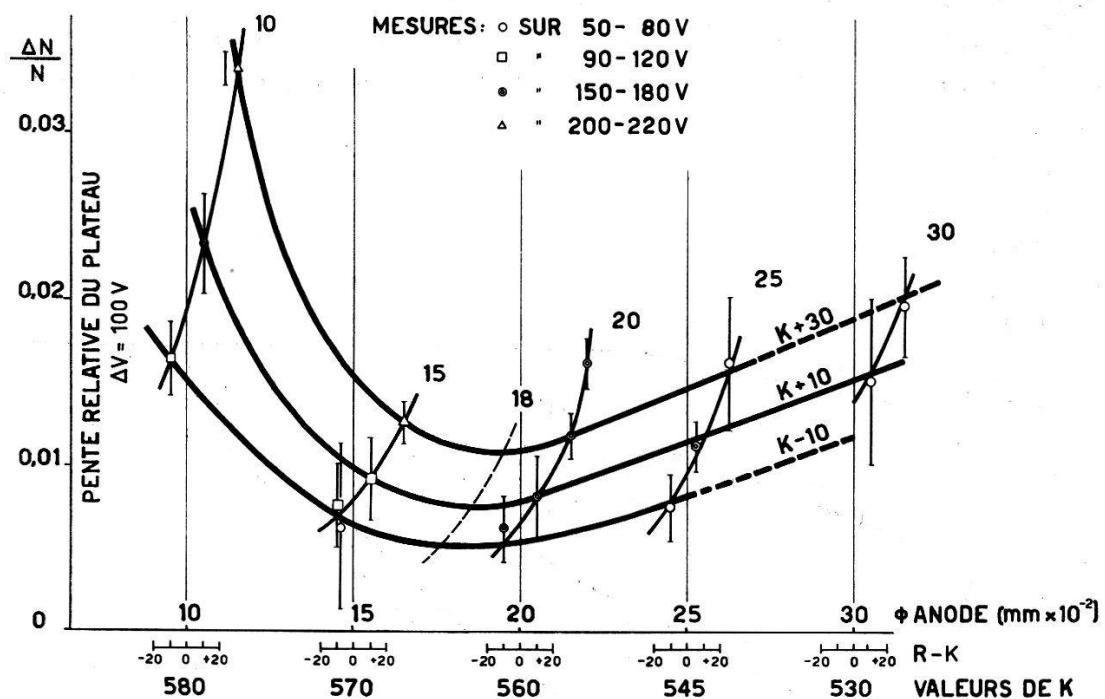


Fig. 4  
Compteur II.  $D = 80 \text{ mm}$ ;  $c = 3 \text{ mm}$ ;  $d = -2 \text{ mm}$   
Irradiation concentrée  
Pente du plateau en fonction de  $R$  et de  $a$

centrant l'irradiation sur le milieu du compteur: 70% des décharges sont ainsi déclenchées sur la moitié centrale de l'anode. L'effet des extrémités est réduit et l'influence du diamètre de l'anode est mieux mis en évidence.

Comme on le voit dans la figure 3, la valeur  $R_{th}$  ne peut être imposée aux électrodes de garde. On a alors comparé les plateaux mesurés avec des valeurs  $R - K$  égales. En dépit de l'arbitraire de ce procédé, on ob-

tient une pente minimum pour un diamètre de 0,18 mm, en concordance avec les résultats de FENTON et FULLER<sup>5)</sup> obtenus par une tout autre méthode.

Ce résultat ne peut être considéré comme tout à fait définitif. La différence  $K - R_{th}$  est plus grande pour les petits que pour les grands diamètres. Ces derniers sont favorisés par notre mode de comparaison, puisque les plateaux deviennent meilleurs si  $R$  s'approche de  $R_{th}$ . Si donc un diamètre plus grand que 0,18 mm a peu de chance de donner une meilleure pente, il n'est pas exclu a priori, sur la base de nos seules mesures, qu'un plus petit diamètre ne soit plus favorable si l'on pouvait faire la seule comparaison correcte, soit avec  $R = R_{th}$  pour tous les diamètres.

### 6. Compteur III/1

Caractéristiques:  $D = 50$  mm;  $\alpha = 0,18$  mm;  $c = 3$  mm;  $d$  variable.  $R_{th} = 450$ . Irradiation concentrée.

Nous avons voulu étudier l'influence du retrait de l'isolation des électrodes de garde sur la valeur  $K$ . La figure 5 montre que la valeur  $R_{th}$

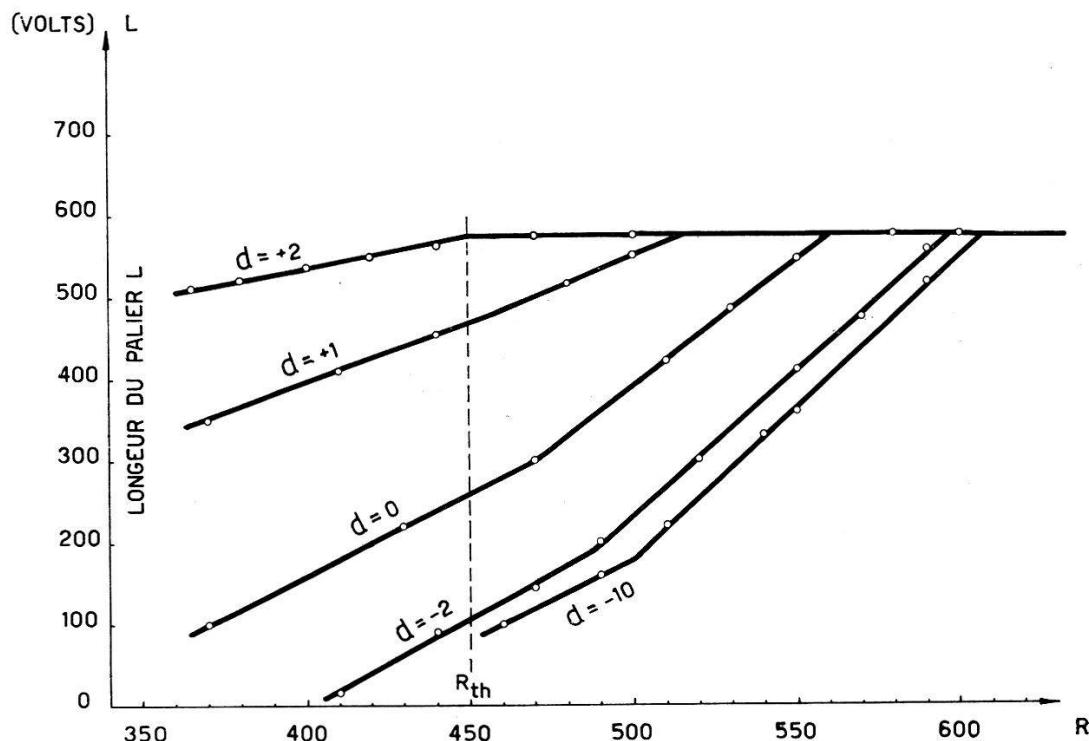


Fig. 5  
Compteur III.  $D = 50$  mm;  $\alpha = 0,18$  mm;  $c = 3$  mm  
Longueur du palier en fonction de  $R$  pour différentes valeurs de  $d$

peut être atteinte sans perte sur la longueur du palier pour une saillie de l'isolation  $d = +2$  mm. Dans ce cas le volume sensible du compteur a l'inconvénient d'être partiellement limité par une surface isolante sus-

ceptible de se charger et est ainsi soumis à des fluctuations. Si l'on limite le faisceau irradiant par une collimation (une fenêtre dans la cathode, s'il s'agit d'électrons) cet inconvénient n'a plus d'influence. La figure 6 représente la pente du plateau mesurée avec collimation en fonction de  $R$ , avec  $d = +2$  mm. La pente la plus faible est obtenue pour  $R = R_{th}$ .

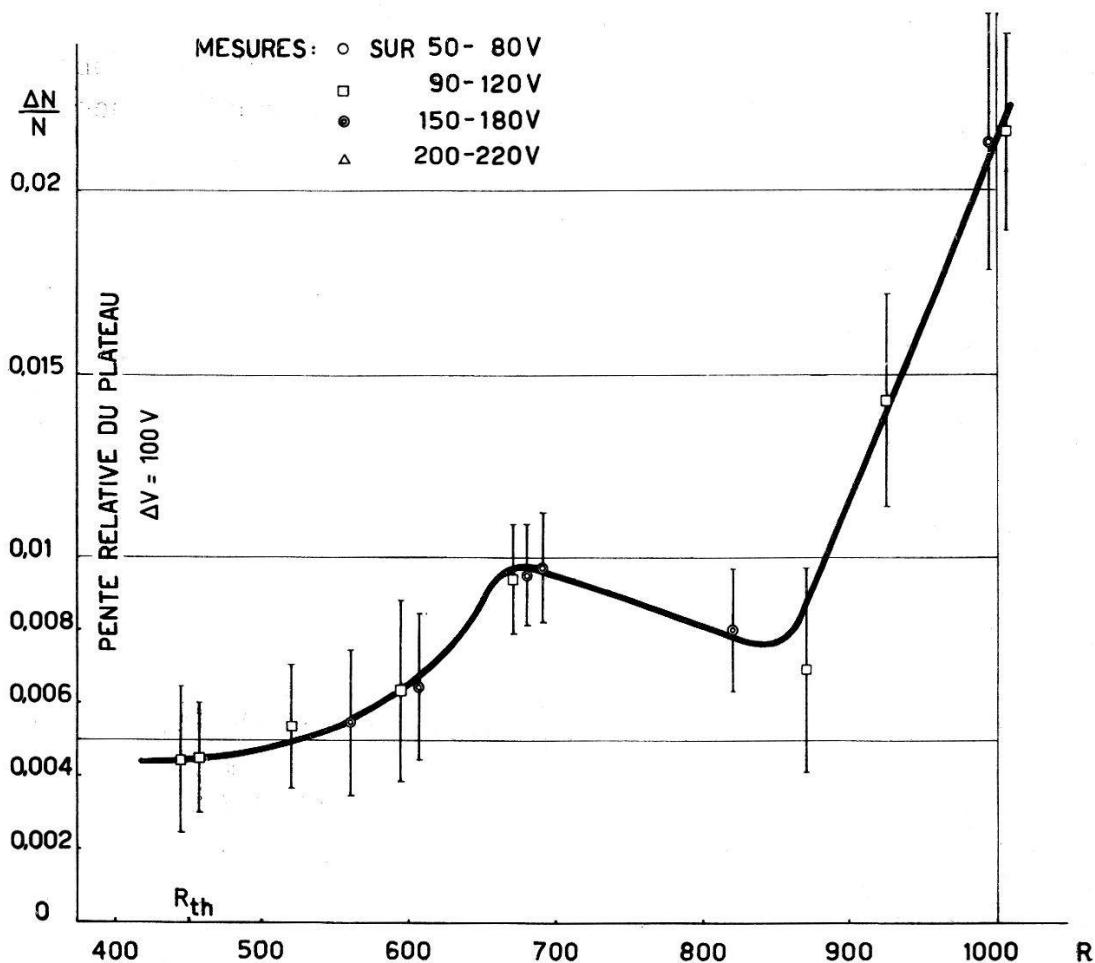


Fig. 6  
 Compteur III.  $D = 50$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c = 3$  mm;  $d = +2$  mm  
 $R_{th} = 450$ . Irradiation concentrée  
 Pente du plateau en fonction de  $R$

Nous avons appliqué ce résultat à la construction d'un compteur dont la fenêtre de mica de  $24 \times 24$  mm, épousant la forme du compteur, est passée intérieurement à l'aquadag; avec ce compteur, dont la longueur  $D$  était égale à 74 mm, nous avons obtenu une pente de 0,5% sur 150 volts.

### 7. Compteur III/2

Caractéristiques:  $D = 56$  mm;  $a = 0,10$  mm;  $c = 3$  mm;  $d$  variable.  
 $R_{th} = 404$ . Irradiation concentrée.

Nous avons vu au paragraphe 5 qu'il n'était pas exclu qu'un diamètre d'anode plus petit que 0,18 mm ne permette d'obtenir un meilleur plateau, au cas où le potentiel théorique serait appliqué aux électrodes de garde. Nous avons voulu examiner ce point.

La figure 7 montre la variation de  $K$  en fonction de  $d$ . La valeur de  $K$  devient égale à  $R_{th}$  lorsque la saillie de l'isolation atteint  $+1,3$  mm environ.

Nous avons fixé  $d$  à  $+2$  mm et mesuré la pente du plateau en fonction de  $R$  jusqu'à  $R_{th}$ . Nous n'avons pas pu obtenir systématiquement des

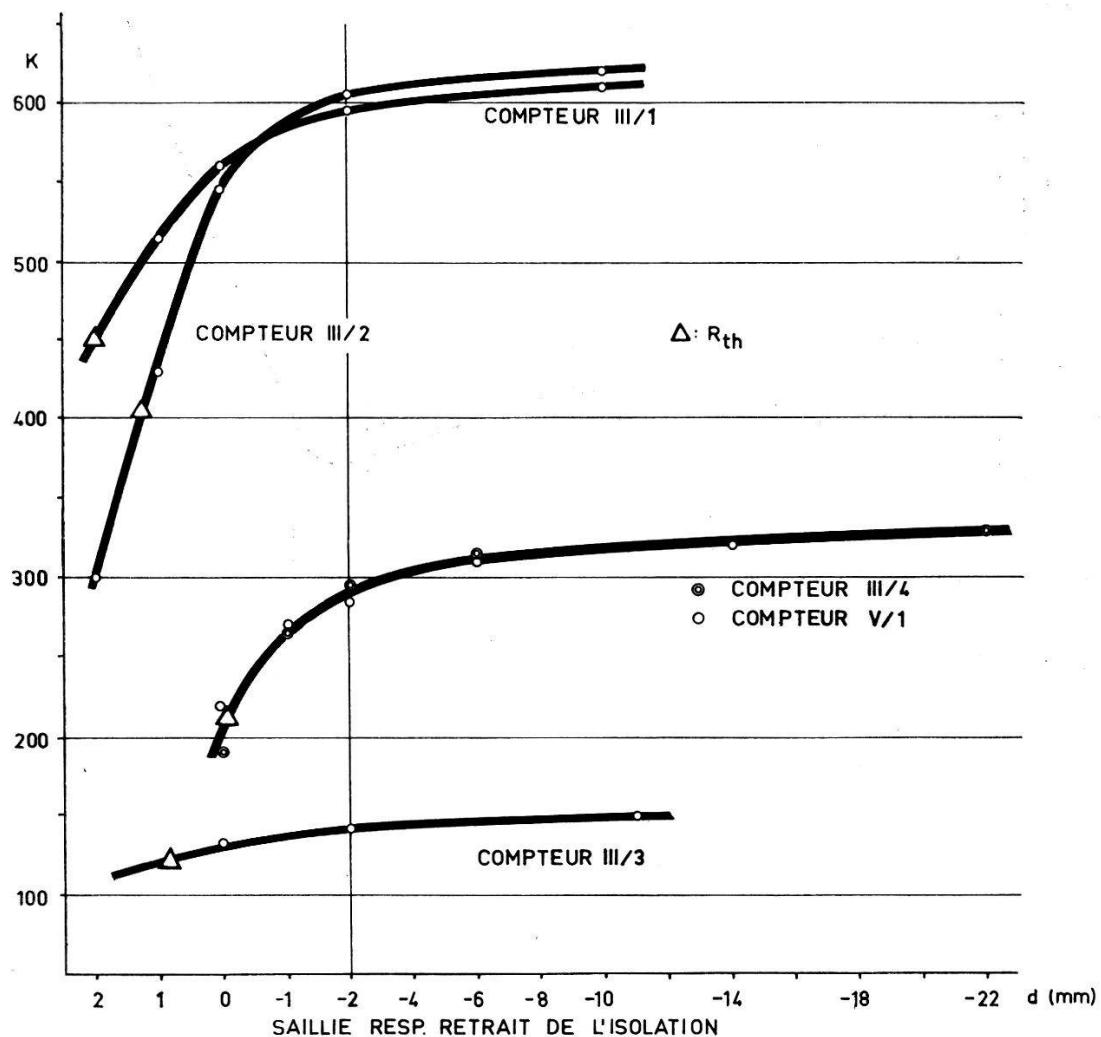


Fig. 7  
Variation de  $K$  avec la saillie ( $+d$ ), resp. le retrait ( $-d$ ), de l'isolation pour différents compteurs

pentes inférieures à 1,1%, pente nettement supérieure à celles obtenues avec le compteur III/1. La conclusion s'impose donc que les mesures de FENTON et FULLER<sup>5)</sup> décrivent correctement l'influence du diamètre de

l'anode sur la pente du plateau et que le diamètre mesuré  $a = 0,18$  mm est optimum. Nous avons adopté cette valeur de  $a$  pour la suite de nos expériences.

Les causes de l'influence sensible du diamètre de l'anode sur la pente du plateau n'ont pas été éclaircies jusqu'à présent. Une explication<sup>5)</sup> serait la formation d'ions de types différents. L'effet pourrait aussi être dû à l'augmentation de la probabilité d'ionisation par les ions négatifs lourds dans les champs élevés. Cet effet devrait dépendre du taux des impuretés dans le gaz.

### 8. Compteur IV/1

Caractéristiques:  $D = 72$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c$  variable;  $d = -2$  mm.  
Irradiation homogène.

Ce compteur a pour but d'étudier s'il est possible que  $K$  atteigne  $R_{th}$  en ajustant le diamètre  $c$  des électrodes de garde, tout en conservant l'isolation en retrait, pour pouvoir obtenir un compteur utilisable avec une irradiation homogène.

Dans un tube de verre des paires d'électrodes de garde de différents diamètres sont collées sur l'anode tendue. La cathode peut être déplacée d'une paire sur l'autre.

Le résultat des mesures est reporté dans la figure 8. L'extrapolation de la courbe ( $c$ ) doit donner une valeur  $K - R_{th} = 0$  pour  $c = a$ . Nous avons dit plus haut que ce cas ne convient probablement pas pour l'utilisation d'un compteur dans le domaine de Geiger. Lorsqu'on augmente le diamètre  $c$ , la différence  $K - R_{th}$  augmente d'abord, passe par un maximum pour  $c \approx 3$  mm, puis décroît. A partir de  $c = 9$  mm, la différence ne diminue plus que très lentement. Notre construction ne nous permettant pas de mesurer avec une électrode de garde de plus de 10,8 mm de diamètre, et la précision de la détermination de  $K$  étant de  $\pm 5$ , nous ne pouvons pas donner d'indication plus précise sur le comportement dans cette région.

Nous avons évalué nos résultats encore d'une autre manière, afin de pouvoir comparer les mesures de  $K$  obtenues pour les différentes valeurs de  $c$  avec les mesures précédemment effectuées avec  $c = 3$  mm (compteurs I à III). Pour une tension d'anode fixe de 1000 volts et un rapport  $R = K$  placé aux électrodes de garde, nous avons calculé le potentiel  $V_3$  qui régnerait à l'emplacement d'une électrode virtuelle de 3 mm de diamètre. Nous avons supposé pour ce calcul une répartition cylindrique non perturbée du potentiel entre l'anode et l'électrode (réelle ou virtuelle) extérieure. Les valeurs  $K$  pour les différentes valeurs de  $c$  sont ainsi rapportées au diamètre  $c = 3$  mm,  $V_3$  étant la valeur de correspondance. On a donc:  $V = 1000$  volts,  $V_g = K$  volts et

$$V_3 = K + (V - K) \cdot \frac{\log c/3}{\log c/a}$$

Les valeurs  $V_3$ , qui sont représentées dans la figure 8 par la courbe (d), sont à comparer avec la valeur  $R_{th} = 450$  pour  $c = 3$  mm. La différence  $V_3 - 450$  se comporte en fonction de  $c$  d'une façon analogue à la différence  $K - R_{th}$  que nous avons discutée plus haut.

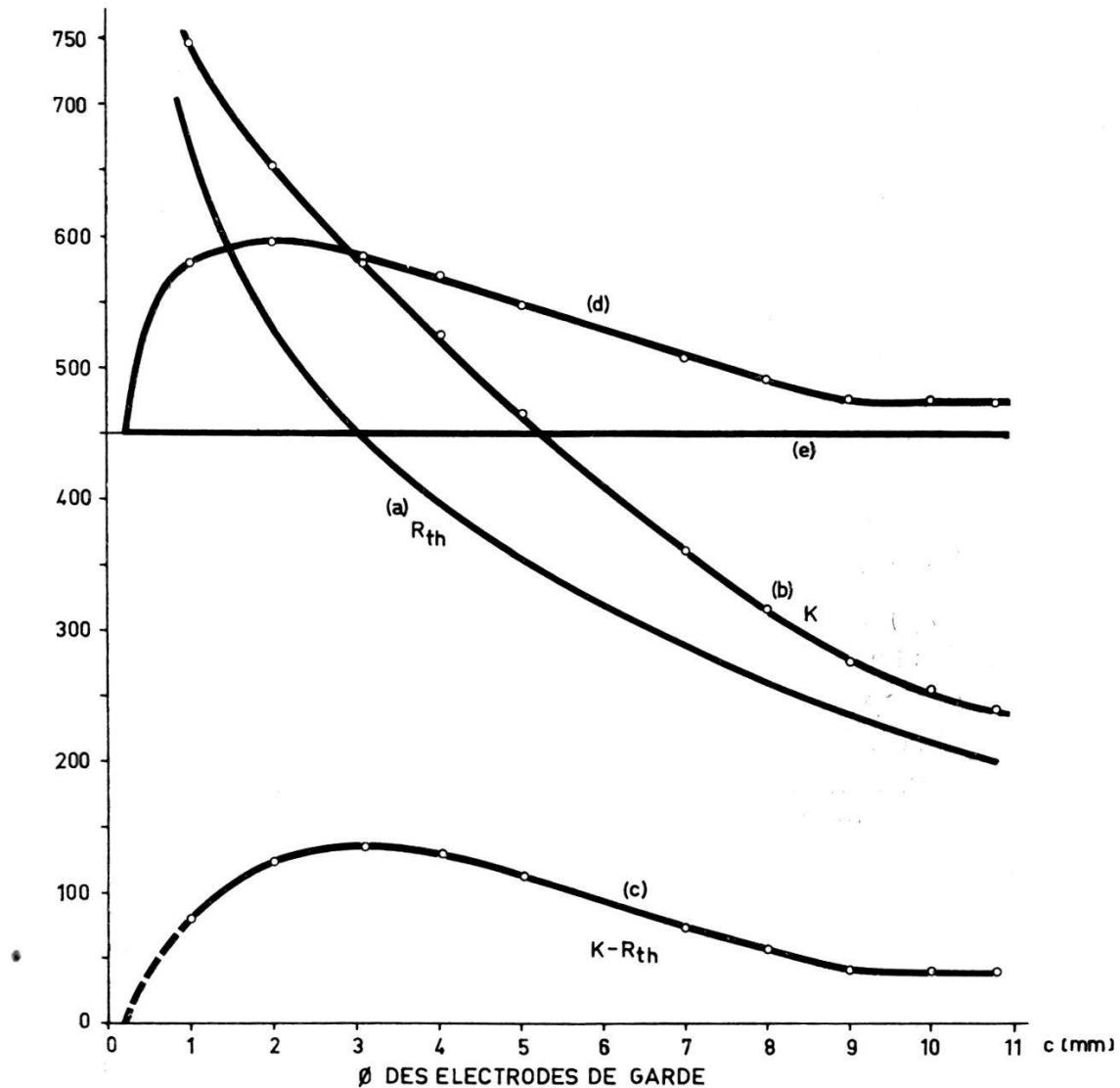


Fig. 8  
Compteur IV/1

(a) resp. (b) = valeurs de  $R_{th}$ , resp.  $K$ , en fonction de  $c$ ; (c) = différence  $K - R_{th}$  en fonction de  $c$ ; (d) et (e), voir le texte

### 9. Influence du matériau d'isolation. Compteur IV/2

Caractéristiques:  $D = 78$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c = 7$  mm;  $d = -2$  mm.  
 $R_{th} = 287$ . Irradiation homogène.

Tableau I

Matière	K	Pente du plateau en %			
		$R = 340$	$R = 400$	$R = 460$	$R = 520$
Cibanit . . . . .	363 $\pm$ 3	0,90 $\pm$ 0,2	1,60 $\pm$ 0,15	2,18 $\pm$ 0,18	2,67 $\pm$ 0,25
Cibanit cône . . . . .	390 $\pm$ 10	2,87 $\pm$ 0,1	3,0 $\pm$ 0,13	2,52 $\pm$ 0,12	2,71 $\pm$ 0,2
Stumatite . . . . .	Indéfini	59 $\pm$ 3	11,8 $\pm$ 0,4	6,71 $\pm$ 0,25	4,05 $\pm$ 0,12
Teflon . . . . .	364 $\pm$ 3	3,76 $\pm$ 0,25	4,01 $\pm$ 0,17	3,08 $\pm$ 0,25	2,75 $\pm$ 0,2

Tableau II

$N_0$	$N_{100}$	+ 100 Volts		+ 200 Volts		$\Delta N = N_{200} - N_{100}$	Pente %
		$\frac{N_0 - N_{100}}{N_{100}} \%$	$N_{200}$	$\frac{N_0 - N_{200}}{N_{200}} \%$	$N_{200} - N_{100}$		
35	34,721	0,8	34,793	0,6	0,072	0,21	
75	73,73	1,73	74,056	1,27	0,328	0,45	
100	97,75	2,3	98,33	1,7	0,578	0,59	
350	323,9	8	330,3	6	6,42	1,97	

Ce compteur est d'une construction analogue à celle du compteur IV/1. Ici, cependant, les électrodes de garde ont toutes un diamètre de 7 mm, intentionnellement choisi assez grand pour mettre en évidence l'influence du matériau isolant. Trois paires d'électrodes sont isolées respectivement avec: Cibanic, Teflon et Stumatite (matière céramique), la forme des électrodes étant celle représentée dans la figure 1. Une quatrième paire, en cibanic, est d'un type différent: au lieu d'être cylindrique, l'isolation se termine par un cône de demi-ouverture  $45^\circ$  dont la pointe, dirigée vers l'intérieur du compteur, est en retrait de 2 mm par rapport à l'extrémité métallique de l'électrode. On a mesuré la valeur  $K$  et la pente du plateau. Les résultats sont réunis dans le tableau I.

La valeur  $K$  pour l'électrode en Stumatite n'a pas une valeur constante: lorsque le remplissage est neuf, elle est égale à la valeur mesurée avec le Teflon ou la Cibanic, mais elle augmente lorsqu'on utilise le compteur. Après  $5 \cdot 10^6$  coups environ, nous avons mesuré  $410 \pm 10$  et après  $10^7$  coups  $445 \pm 10$ .

Pour des valeurs de  $R$  de l'ordre de 600, la pente du plateau est indépendante de la nature de l'isolation. Il n'en est pas de même lorsque  $R$  s'approche de  $R_{th}$ . Les résultats les plus favorables sont obtenus avec la Cibanic.

On peut imaginer les processus qui influencent la pente du plateau:

- a) des charges négatives se fixent sur l'isolant pendant la décharge, puis elles sont arrachées, donnant lieu à des décharges parasites.
- b) des charges positives se fixent sur l'isolant. Ces charges influencent défavorablement le champ sur l'extrémité de l'anode.

Il est possible que les deux processus aient lieu concurremment, au moins dans le cas de la Stumatite. Le second effet est le plus probable dans le cas de la Cibanic. Pour l'électrode conique un accroissement de la surface et un déplacement du point  $K$  de + 30 expliquent les résultats moins favorables que pour l'isolation cylindrique.

Le comportement commun pour les valeurs élevées de  $R$  vient de ce que le champ électrique et la multiplication gazeuse sont alors faibles à proximité de l'électrode de garde, et qu'ainsi les deux processus sont fortement affaiblis.

Il serait naturellement intéressant de connaître le comportement d'autres isolants, de différentes sortes de verre ou d'Araldit par exemple. Avec ce dernier matériau il faut prendre garde à son affinité pour l'alcool.

Pour la suite de nos travaux nous avons continué à utiliser la Cibanic.

### 10. Compteur III/3

Caractéristiques:  $D = 66$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c = 16$  mm;  $d$  variable.  
 $R = R_{th} = 123$ . Irradiation homogène.

Pour éviter si possible les effets dus à l'attachement éventuel d'électrons sur l'isolant, on a donné à l'isolation la forme dessinée dans la figure 9. La pente du plateau en fonction du retrait de l'isolation  $-d$ , représentée dans la figure 9, atteint un minimum pour  $d = -8$  mm environ, avec une valeur de 1,3%.

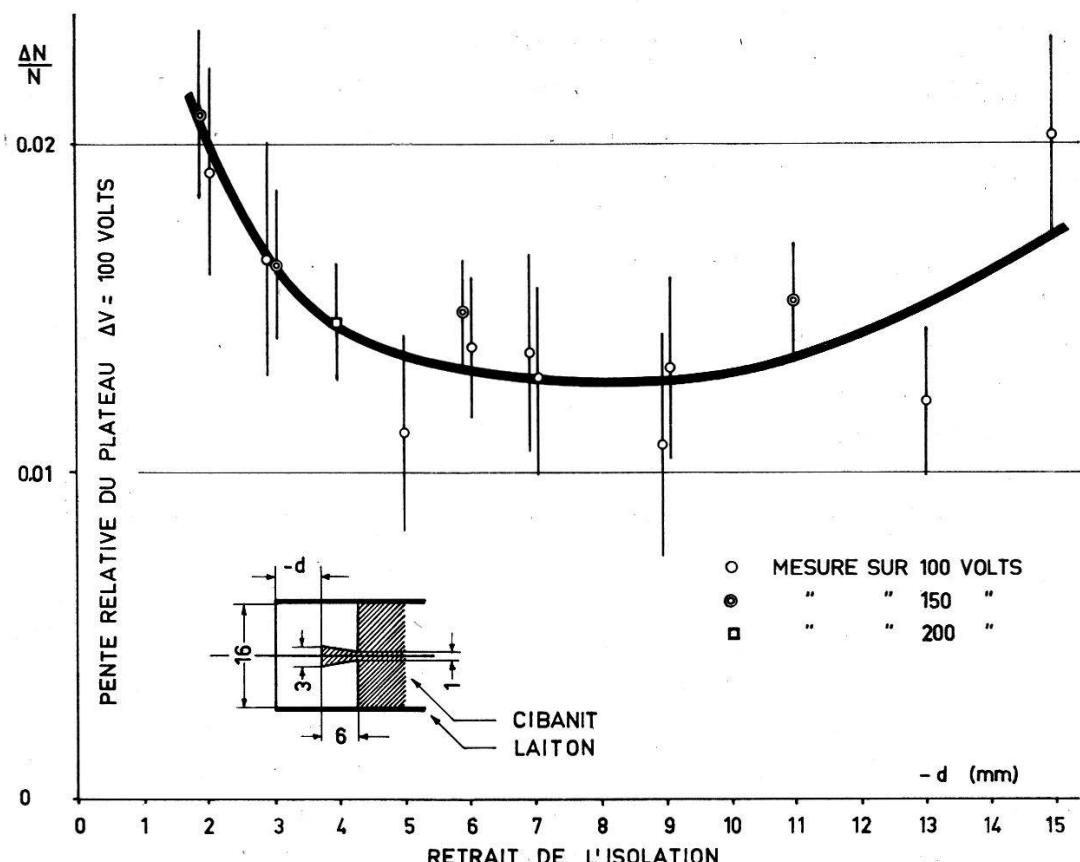


Fig. 9  
Compteur III/3  
 $D = 66$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c = 16$  mm;  $R = R_{th} = 123$   
Irradiation homogène

Schéma des électrodes de garde. Pente du plateau en fonction du retrait de l'isolation

L'effet d'écran de l'électrode de garde a un rendement d'environ 60%. Nous entendons par là que si un allongement de  $D$  d'un millimètre provoque une augmentation du taux de comptage de 100 coups par unité de temps, le retrait d'un demi-millimètre supplémentaire de l'isolation (aux deux extrémités) ne provoque une augmentation du taux que de 40 coups par unité de temps.

Nous pensons que l'isolation des électrodes de garde se charge principalement avec des ions *positifs*. Il en résulte que pour des petits retraits, un grand nombre de décharges ayant leur origine aux extrémités du

compteur ne sont pas suffisamment amplifiées par suite de l'affaiblissement du champ. Lorsque le retrait augmente, cet effet diminue par suite de l'effet d'écran des électrodes et le plateau a une meilleure pente. Lorsqu'on augmente encore le retrait, c'est le déplacement du point  $K$  qui influence défavorablement le comportement (cf. fig. 7).

### 11. Remarques sur la tension $V_d$

La théorie de KORFF et PRESENT<sup>11)</sup> sur les phénomènes de coupure de la décharge explique comment les décharges parasites peuvent provenir de l'émission secondaire d'électrons à la cathode au moment de la neutralisation des ions positifs. Le nombre primaire des décharges parasites doit être proportionnel au nombre d'ions neutralisés.

L'augmentation rapide du taux de comptage à la fin du palier et la défaillance progressive du mécanisme d'auto-coupure sont certainement dus à deux autres types d'effets au moins:

- a) la diminution du temps mort avec l'augmentation de la surtension et du taux de comptage;
- b) l'augmentation du champ électrique à la surface où se neutralisent les ions.

La diminution du temps mort lorsqu'on augmente la surtension peut amener le compteur dans un état d'instabilité. Cet effet devrait être sensible si le temps mort devient comparable au temps nécessaire à un électron arraché à la cathode pour atteindre le volume actif.

La possibilité d'un effet b) a été envisagée par KORFF et PRESENT dans leur théorie. Elle n'a cependant pas été prise en considération pour les calculs, sa contribution devant être négligeable. (Leur argument est que la vitesse radiale (drift) est de l'ordre du dixième de la vitesse thermique et que l'énergie cinétique acquise entre deux collisions est inférieure à 0,1 eV.)

L'expérience semble cependant suggérer que la probabilité d'émission d'électrons est sensible aux variations du champ électrique à la surface où a lieu la neutralisation. En fait, la valeur de 0,1 eV n'est plus correcte pour les diamètres de l'ordre de quelques millimètres des électrodes de garde, à la surface desquelles une certaine charge est neutralisée. De plus cette énergie est calculée dans le champ électrique statique; la valeur effective au moment où a lieu la neutralisation pourrait être appréciablement supérieure.

Mentionnons aussi que pour la comparaison de la longueur du palier de deux compteurs il faut tenir compte de l'influence de la capacité cathode-anode. L'influence de cette capacité a été discutée par Montgomery et Montgomery<sup>12)</sup>. Nous pensons que la différence de longueur du palier entre les compteurs IV et VI (cf. § 14) est due à cet effet.

Examinons maintenant dans quelle mesure la variation de  $V_d$  dans les différents types de compteurs peut être expliquée qualitativement à l'aide des considérations précédentes.

En dessous du point  $K$ , la variation de  $V_d$  est très grande en fonction de  $R$  (cf. par exemple les fig. 3 et 4). Dans ce cas les décharges parasites sont principalement déclenchées aux électrodes de garde: Lorsque  $R$  diminue, non seulement un plus grand nombre d'ions viennent s'y neutraliser, mais encore le champ superficiel augmente.

Pour les valeurs de  $R$  plus grandes que  $K$  les décharges parasites ont leur origine à la cathode. Le champ y est faible et la charge par impulsion n'augmente que lentement avec la tension, ce qui expliquerait la plus grande difficulté à déterminer  $V_d$ .

A tension  $V$  constante, le champ à la surface de la cathode est d'autant plus grand que le diamètre de l'anode est grand. C'est pourquoi  $V_d$  est plus petit pour les grandes que pour les petites valeurs de  $a$ , lorsque  $R$  est plus grand que  $K$ . On voit sur la fig. 3 qu'il existe une relation linéaire entre  $R_{th}$  et la longueur maximum du palier, obtenue pour  $R$  plus grand que  $K$ . On trouve cependant avec une précision du même ordre une relation linéaire entre  $L_{max}$  et  $1/R_{th}$ . Il n'y a pas grand sens à rechercher une interprétation quantitative précise aussi longtemps qu'un meilleur critère n'aura pas été trouvé pour  $V_d$ .

Si l'isolation de l'électrode de garde est repoussée de  $d = + 2$  mm vers des valeurs négatives, la charge neutralisée à l'électrode croît certainement, la croissance étant très rapide au début. On comprend alors le déplacement toujours plus lent de  $K$ . La charge neutralisée pourrait d'ailleurs être directement mesurée (courant d'électrode).

La diminution de  $(K - R_{th})$  en fonction de  $c$  (fig. 8) serait due à la diminution du champ à la surface intérieure des électrodes de garde. Pour des petites valeurs de  $c$  (entre  $a$  et 3 mm) cet effet est surcompensé par la rapide diminution du nombre d'ions collectés (zéro pour  $c = a$ ).

Plus inattendue est l'ampleur de la différence des valeurs  $K$  entre les électrodes à isolation conique et à isolation cylindrique du compteur IV/2 (§ 9, tableau I). Nous avons supposé que l'isolation se charge positivement: soit que la densité de charge soit plus petite sur l'isolation conique que sur l'isolation cylindrique, soit même qu'elle soit comparable, la répulsion des ions créés dans la décharge par ces charges statiques aura pour effet qu'une plus grande charge sera neutralisée aux électrodes de garde avec isolation conique.

Deux faits viennent encore supporter notre hypothèse b) sur l'influence du champ électrique à la surface où se neutralisent les ions:

1. L'importance de l'état de surface de la cathode au point de vue aspérités.

2. Habituellement l'anode est terminée par un épaississement conducteur. A la surface de cet épaississement on a une tension supérieure à celle qui correspond à son rayon dans la distribution cylindrique non perturbée. Il en résulte un champ superficiel à la cathode plus grand aux extrémités qu'au centre. Un certain nombre d'ions, que ce soit par diffusion ou répulsion électrostatique entre eux, viennent se neutraliser dans ces régions où la probabilité de création d'électrons secondaires est plus grande. Le palier est alors beaucoup plus court que celui que nous obtenons.

### 12. Compteur III/4

Caractéristiques:  $D = 76$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c = 10$  mm;  $d$  variable.  $R = 200$ .  $R_{th} = 214$ . Isolation cylindrique. Irradiation homogène.

La pente en fonction du retrait de l'isolation est représentée dans la figure 10. Le comportement est semblable à celui du compteur III/3 et explicable pour les mêmes raisons. Le plateau et le palier sont cependant un peu plus courts. Pour  $d \approx -6$  mm, la pente est la plus faible. Dans ce cas on a une valeur  $R$  sensiblement plus petite que  $K$  (cf. fig. 7), d'où une certaine instabilité à la fin du plateau: occasionnellement un train de quelques centaines de décharges parasites vient perturber le fonctionnement. Le compteur III/3 ne présentait une même instabilité que pour des tensions  $V$  d'au moins 50 volts plus élevées.

L'effet d'écran de ce compteur III/4 a un rendement d'environ 75%.

### 13. Nouveau type d'électrodes de garde

Pour diminuer les inconvénients dus à la présence des parties isolantes, nous avons construit un système à double électrode, représenté dans la figure 11. L'électrode interne a le diamètre bien étudié de 3 mm, l'isolation dépassant de + 2,5 mm: son potentiel théorique  $R_{th} \cdot V / 1000$  peut être ainsi appliqué sans danger. L'électrode externe a un diamètre égal à  $c_1$ , fixé pour commencer à 10 mm. L'isolation intermédiaire a un retrait d'un millimètre sur l'électrode intérieure.

L'électrode externe a pour but de faire écran; nous avons mesuré avec le compteur III/4 que le rendement était d'environ 75% pour un diamètre de 10 mm (et pour le rayonnement du  $\text{Co}^{60}$ ). L'électrode interne a pour but d'empêcher l'affaiblissement du champ électrique dû à la présence de charges positives sur l'isolation intermédiaire.

Pour déterminer l'influence du paramètre  $e$  (cf. fig. 11), nous avons fait quelques essais sur un compteur fixe, démonté et modifié entre chaque série d'expériences. Nous avons constaté que la valeur  $e = 0$  était convenable.

#### 14. Compteur V/1

Caractéristiques:  $D = 104$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c_1 = 10$  mm;  $c_2 = 3$  mm;  $d$  variable;  $e = 0$ .  $R_{th}^1 = 214$ ;  $R_{th}^2 = 450$ . Irradiation homogène.

Ce compteur permet l'étude des caractéristiques en fonction de  $d$ .

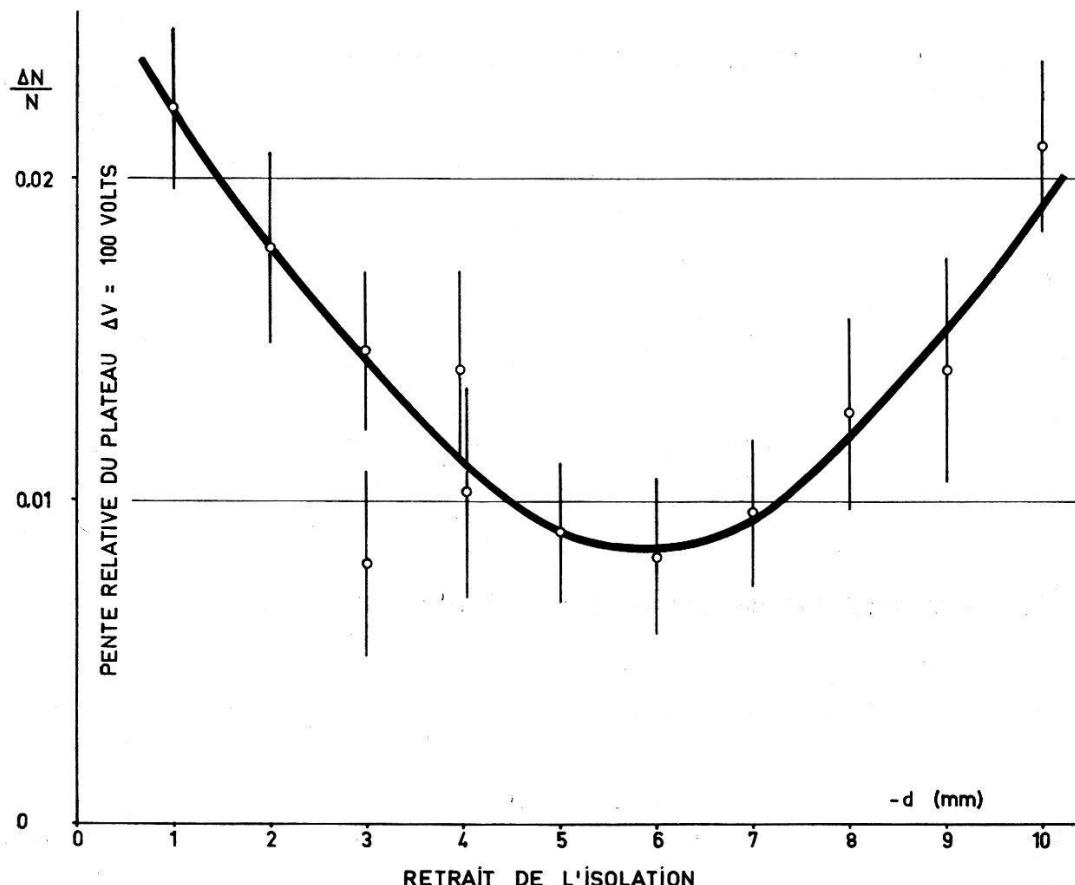


Fig. 10  
Compteur III/4  
 $D = 76$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c = 10$  mm;  $R_{th} = 214$ .  $R = 200$   
Irradiation homogène  
Pente du plateau en fonction du retrait de l'isolation

Nous avons comparé les valeurs de  $K$  en fonction de  $d$  de ce compteur avec celles du compteur III/4 (fig. 7). Aux erreurs de mesure près, ces deux courbes sont identiques. Nous en concluons que l'arrêt apparent de la diminution des valeurs  $K - R_{th}$  à partir de  $c = 9$  (fig. 8) n'est pas dû à des effets d'isolation, dans le genre de ceux constatés au paragraphe 8.

Il convient de remarquer que la valeur moyenne  $K$  mesurée pour les compteurs III/4 et V/1, soit 290 pour  $d = -2$ , est supérieure à celle reportée dans la figure 8, soit 255, pour des conditions identiques à celles du compteur III/4 ( $c = 10$  mm,  $d = -2$  mm). Ceci provient de ce que la longueur maximum du palier était de 630 volts pour les compteurs

III/4 et V/1 et de 530 pour le compteur IV. Cette différence vient probablement de ce que les capacités anode-cathode, par suite de constructions très différentes, étaient environ 3 fois plus petites pour les types III/4 et V/1 que pour le type IV (cf. § 11).

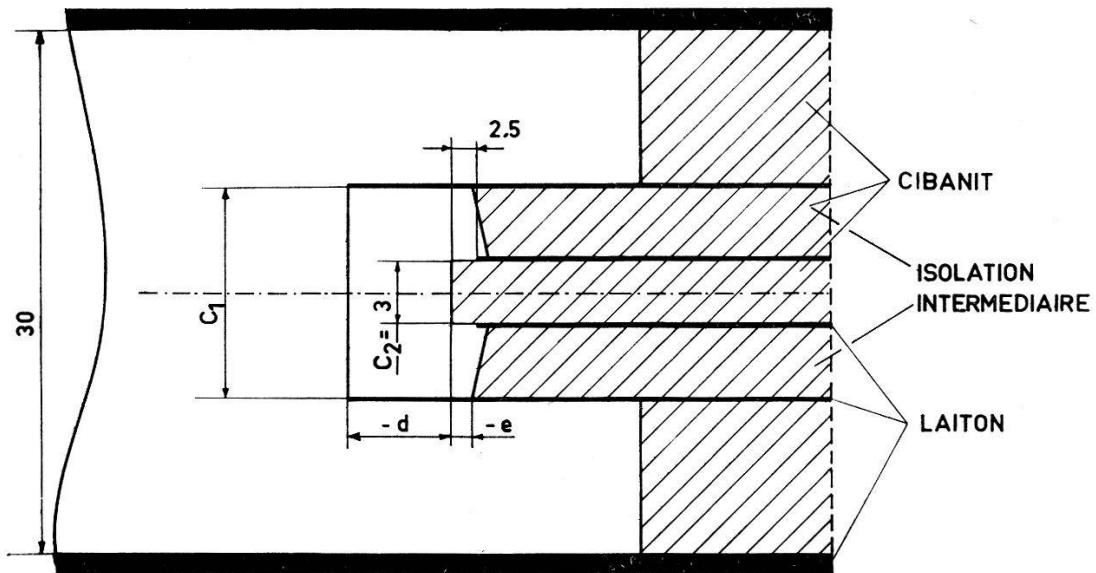


Fig. 11  
Electrode double

La longueur  $D$  du compteur est mesurée entre les extrémités des électrodes externes

Le résultat des mesures de la pente du plateau en fonction de  $d$  pour une irradiation homogène, est représenté dans la figure 12. Le rapport  $R_2$  du potentiel de l'électrode de garde interne à la tension d'anode V a été maintenu constant, égal à 430, soit légèrement inférieur au rapport  $R_{th}^2$  (450). Pour les électrodes externes, on a fait deux séries de mesures, soit avec les rapports  $R_1 = 210$  et  $190$  ( $R_{th}^1 = 214$ ). Dans les limites de l'erreur statistique ces résultats ne diffèrent pas.

La pente s'améliore de façon sensible lorsqu'on retire l'électrode interne jusqu'à moins 5 ou 6 mm, pour atteindre environ 0,5%. C'est pour ces valeurs de  $-d$  que le plateau est le plus long. Pour des retraits plus grands le plateau s'arrête plus tôt à cause du déplacement du point  $K$ , tandis que la tension nécessaire pour atteindre la limite inférieure du plateau reste constante; pour des retraits plus petits, le déplacement vers de plus hautes tensions de la limite supérieure du plateau est plus petit que celui de la limite inférieure.

Les valeurs  $d = -5$  et  $-6$  mm peuvent être considérées comme donnant le meilleur fonctionnement, même si avec des valeurs un peu plus grandes on obtient une pente encore meilleure.

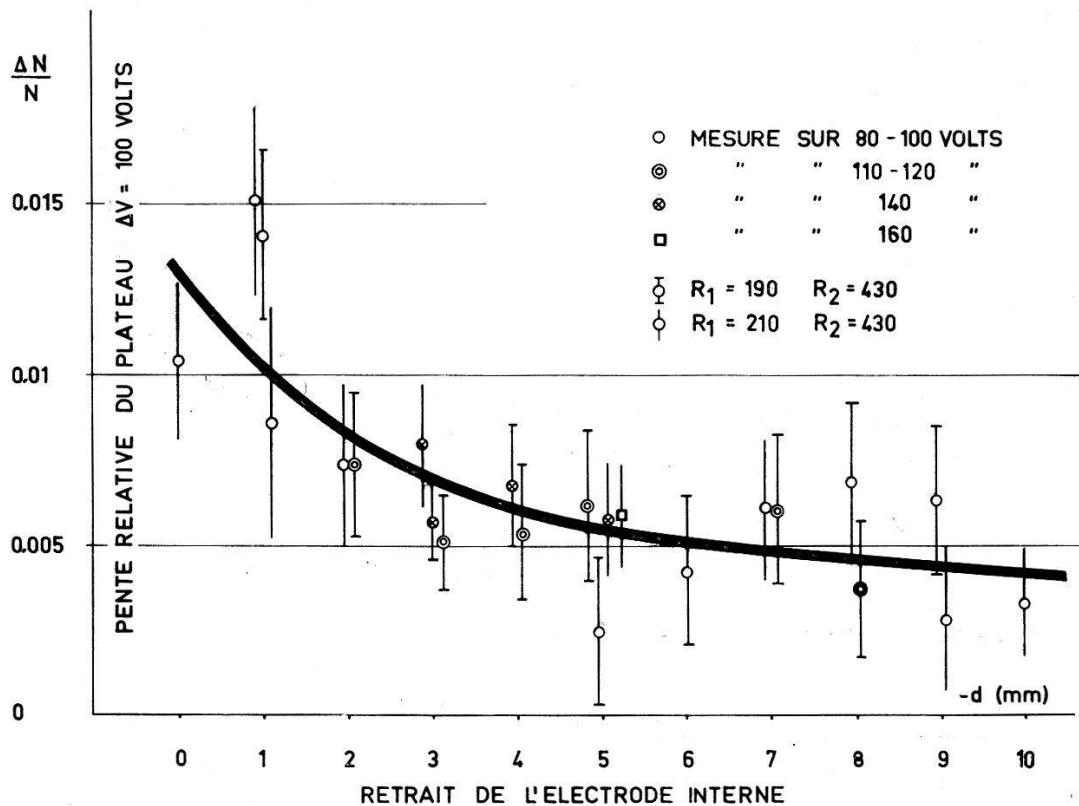


Fig. 12  
Compteur V/1  
 $D = 104$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c_1 = 10$  mm;  $c_2 = 3$  mm;  $e = 0$   
Irradiation homogène  
Pente du plateau en fonction du retrait de l'isolation

### 15. Compteur V/2

Caractéristiques:  $D = 104$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c_1 = 10$  mm;  $c_2 = 3$  mm;  $d = -5$  mm;  $e = 0$ .  $R_{th}^1 = 214$ ;  $R_{th}^2 = 450$ .

Ce compteur a des dimensions fixes. Les électrodes de diamètre 10 mm ont été polies intérieurement, ce qui n'était pas le cas pour les exécutions précédentes. Cette modification améliore sensiblement la stabilité du compteur et le seuil d'apparition occasionnelle de trains de décharges est repoussé 50 volts au-delà de la fin du plateau (cf. § 12).

On a d'abord mesuré la pente du plateau avec irradiation homogène, un taux de comptage  $N$  égal à 35 impulsions/sec et les rapports  $R_1 = 210$  et  $R_2 = 440$ . On a obtenu une pente de  $0,67 \pm 0,2\%$  sur 160 volts, en bon accord avec la valeur correspondante de la figure 12.

Nous avons ensuite mesuré avec les mêmes taux et rapports  $R_1$ , mais avec irradiation concentrée, et obtenu une pente de  $0,24 \pm 0,14\%$  sur 160 volts. Les courbes de comptage qui correspondent à ces deux mesures sont représentées dans la figure 13.

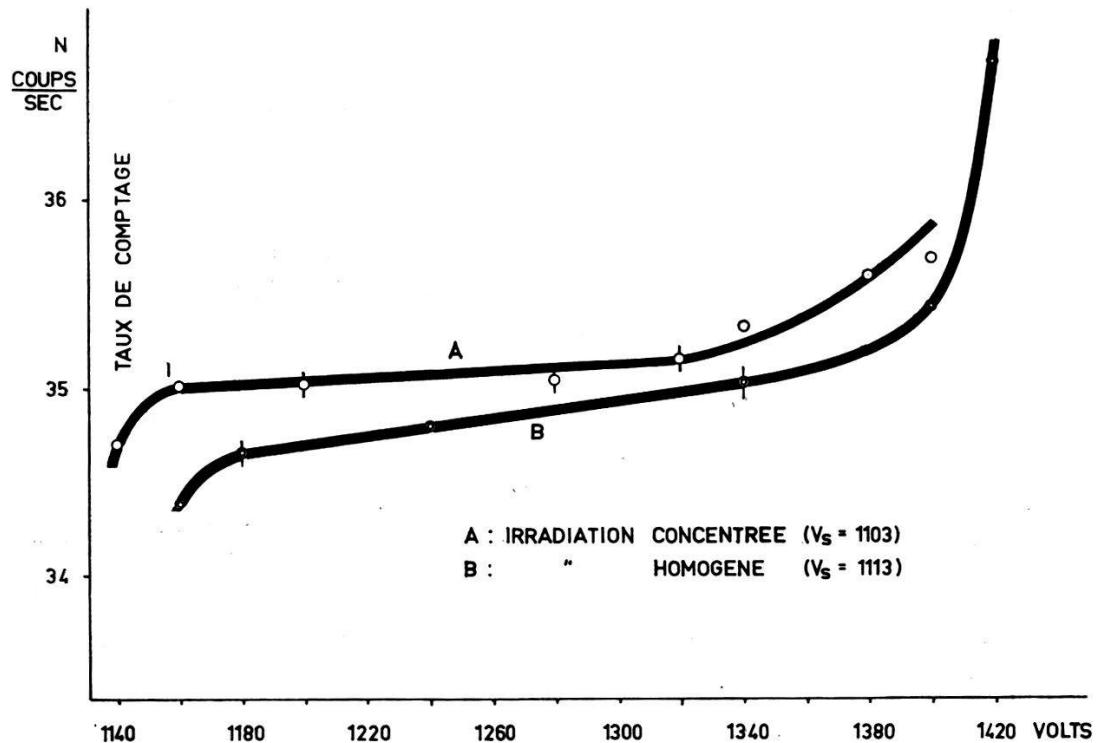


Fig. 13  
Compteur V/2

$D = 104$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c_1 = 10$  mm;  $c_2 = 3$  mm;  $d = -5$  mm;  $e =$   
Plateaux types

La comparaison des deux mesures montre que dans le cas où l'irradiation est homogène la pente provient, pour une bonne part encore, d'effets aux bouts.

A la précision des mesures près, les courbes des plateaux sont rectilignes. Il est caractéristique que le plateau commence pour une surtension de 60 volts.

Nous avons encore mesuré avec irradiation concentrée la pente du plateau pour un taux de 75 impulsions/sec. La pente a été trouvée égale à  $0,43 \pm 0,15\%$  sur 120 volts. Cette augmentation est due, comme nous allons voir, aux effets du temps mort. Ce dernier a été mesuré par la méthode oscillographique. Les valeurs mesurées sont reportées dans la figure 14.

Nous avons calculé les pertes de comptage dues au temps mort et la pente du plateau due à sa variation. Nous n'avons pas dû tenir compte

du fait que le temps mort varie avec le taux de comptage, cet effet n'intervenant que pour des taux beaucoup plus grands que ceux que nous avons considérés. Soit  $N_x$  la fréquence moyenne des impulsions que l'on mesure

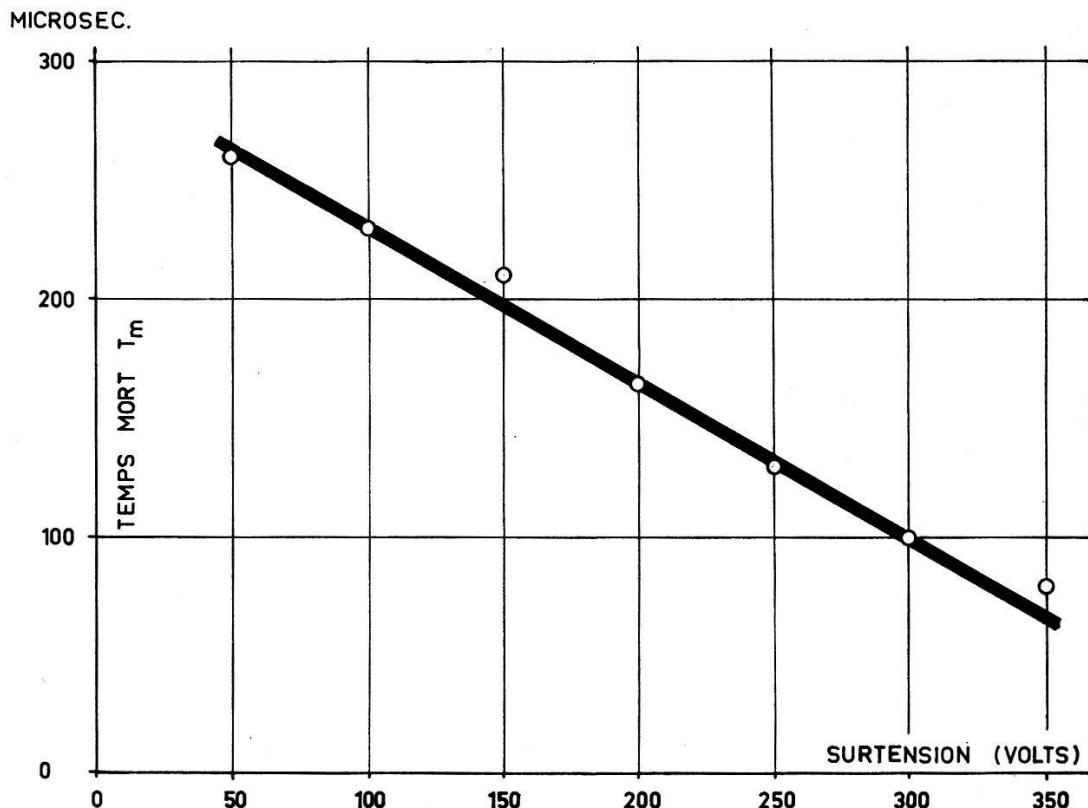


Fig. 14  
Compteur V/2. Temps mort  $T_m$  en fonction de la surtension

réellement avec la surtension  $V - V_s = +x$  volts, et  $N_0$  la fréquence que l'on aurait observée si l'on avait  $T_m = 0$ . On a

$$N_x = \frac{N_0}{1 + T_m N_0}.$$

La pente du plateau est calculée entre les surtensions de 100 et 200 volts, avec les temps morts respectifs de 230 et 170  $\mu$ sec. Les résultats sont exposés dans le tableau II, page 39.

Si pour des taux de comptage correspondants, on compare les pentes mesurées avec irradiation concentrée avec les pentes calculées résultant de la seule variation du temps mort, on constate qu'aux erreurs près, elles sont égales. La variation du temps mort constitue une limite à l'amélioration de la pente du plateau par le seul ajustement des grandeurs géométriques.

### 16. Compteur V/3

Caractéristiques:  $D = 106$  mm;  $a = 0,18$  mm;  $c_1 = 16$  mm;  $c_2 = 3$  mm;  $d = -6$  mm;  $e = -1$  mm.  $R_{th}^1 = 123$ .  $R_{th}^2 = 450$ .  $R_1 = 120$ .  $R_2 = 430$ . Irradiation homogène.

Ce compteur se différencie principalement du précédent par une électrode extérieure plus grande. On constate d'une part une amélioration de la longueur du plateau et du palier, d'autre part une légère détérioration de la pente du plateau.

On a mesuré les valeurs suivantes: Seuil: 1155 volts.

$K_1 = 162$

$R_1 > K_1$ :  $L = 615$  volts

$R_1 = R_{th}^1$ :  $L = 540$  volts.

Pente =  $0,79 \pm 0,18\%$  sur 140 volts de 1300 à 1440 volts.

$1,39 \pm 0,18\%$  sur 300 volts de 1220 à 1520 volts.

Si l'on accepte donc cette légère détérioration de la pente, on obtient un fonctionnement encore plus sûr.

### 17. Reproductibilité des caractéristiques

Nous avons déjà mentionné au paragraphe 3 la difficulté que représente en général le manque de reproductibilité des caractéristiques. Si l'on tient compte du fait que, pour un compteur bien dégazé, la pente provient presque exclusivement des effets aux extrémités, on comprend l'influence du mode d'irradiation. Il n'est souvent pas pris garde à reproduire cette condition lors de comparaisons. On trouvera ici l'explication d'une bonne partie des contradictions et désaccords reportés dans la littérature concernant les caractéristiques qui peuvent être obtenues en employant des mélanges gazeux particuliers, caractéristiques mesurées avec des compteurs dont les paramètres de construction ne sont pas explicitement donnés et dans des conditions d'irradiation non spécifiées.

Si l'on prend les précautions indiquées au paragraphe 3, non seulement l'influence des impuretés peut être rendue négligeable, mais encore la stabilité du compteur dans le temps devient très bonne: mise à part une baisse de la tension de seuil  $V_s$ , rapide pendant les premières heures qui suivent le remplissage, puis très lente (exemple: 30 volts entre le 1<sup>er</sup> et le 3<sup>e</sup> jour; 10 volts entre le 3<sup>e</sup> et le 13<sup>e</sup>) qui est due à l'adsorption de l'alcool, on n'a pu remarquer aucune variation de la pente en fonction du temps, lorsque le compteur n'était pas utilisé.

### 18. Conclusion

Toutes les mesures ont été faites avec un mélange de gaz à la pression totale de 100 Torr, et une pression partielle d'alcool qui se stabilise à

10-12 Torr. Nos résultats ne sont valables que sous ces conditions. Il faut cependant remarquer que les caractéristiques ne dépendent que peu ou pas de ces pressions dans certaines limites.

Les compteurs que nous avons décrits ( $V/2$  et  $V/3$ ) présentent une amélioration remarquable de la pente du plateau par rapport aux compteurs à coque métallique habituels. Ils ont les caractéristiques prescrites au paragraphe 1, sauf en ce qui concerne la longueur.

Nous avons étudié l'influence de ce paramètre avec le compteur I (§ 4) pour le cas d'électrodes de garde simples; une étude sera faite pour un compteur à électrodes doubles, dont les résultats seront publiés ultérieurement. L'essai décrit au paragraphe 6 montre que l'adaptation d'une fenêtre, rendue conductrice, ne modifie pas les caractéristiques.

Nous avons vu qu'il existe une limite à la pente du plateau, due à la variation du temps mort en fonction de la surtension. Nous avons atteint cette limite dans les mesures avec irradiation concentrée. Pour une irradiation homogène la différence n'est plus très grande. La limite due au temps mort n'est cependant pas un obstacle insurmontable. D'une part on peut construire un plateau corrigé en calculant les pertes à ajouter aux valeurs mesurées; avec irradiation concentrée on obtient une pente corrigée nulle, signifiant que l'efficacité du compteur est constante et probablement 100% pour les électrons ayant pénétré dans le volume sensible. D'autre part il est possible de diminuer ou de rendre constant le temps mort à l'aide de circuits électroniques externes.

La réalisation d'un compteur à pente corrigée nulle prouve, en résumé, que la pente du plateau dépend des 4 facteurs suivants:

1° de la pureté du mélange gazeux. Une pureté suffisante peut être atteinte et conservée par une technique du vide simple.

2° du diamètre de l'anode. Le diamètre optimum pour les mélanges argon-alcool est bien déterminé.

3° des effets aux extrémités qui fournissent la majeure contribution dans les constructions habituelles.

4° de la variation du temps mort dont il est possible de se rendre maître.

La mise à disposition de moyens matériels par l'Office fédéral de l'industrie, des arts et métiers et du travail et par le Fonds national suisse de la recherche scientifique a rendu possible la réalisation de ce travail. Nos remerciements vont aux responsables de ces institutions.

### Bibliographie

- 1) H. WILD und O. HUBER, *Helv. Phys. Acta* 30, 3 (1957).
- 2) R. MEUNIER, M. BONPAS et J. P. LEGRAND, *J. Physique Rad.* 14, 630 (1953).
- 3) M. CHAUDHRI and A. G. FENTON, *Proc. Phys. Soc.* 60, 183 (1948).

- 4) J. L. PUTMAN, Proc. Phys. Soc. 61, 312 (1948).
- 5) A. G. FENTON and E. W. FULLER, Proc. Phys. Soc. 62, 32 (1949).
- 6) A. NAWIJN, Het Gasontladings Mechanisme van den Geiger-Müller Teller (Delft, Drukkerij Hoogland, 1943).
- 7) D. H. WILKINSON, Ionization Chambers and Counters (Cambridge 1950).
- 8) B. ROSSI and H. STAUB, Ionization Chambers and Counters (Mc. Graw-Hill, N. Y. 1949).
- 9) C. P. SIKKEMA, Nucl. Instr. 1, 148 (1957).
- 10) A. L. COCKROFT and S. C. CURRAN, Rev. Sci. Instr. 22, 37 (1951).
- 11) S. A. KORFF and R. D. PRESENT, Phys. Rev. 65, 274 (1944).
- 12) C. G. MONTGOMERY and D. D. MONTGOMERY, Phys. Rev. 57, 1030 (1940).