Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 67 (1958-1961)

Heft: 301

Artikel: Compteurs de Geiger-Müller pour la mesure de très faibles radioactivités

Autor: Lerch, Pierre / Bercier, Paul

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-275094

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: 08.07.2025

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

Compteurs de Geiger-Müller pour la mesure de très faibles radioactivités

PAR

PIERRE LERCH et PAUL BERCIER

(Division de Physique du C. A. C. R., Hôpital cantonal, Lausanne).

INTRODUCTION.

La mesure de la contamination radioactive due aux retombées des explosions nucléaires est délicate, car les quantités de radioactivité qui doivent être décelées sont très faibles. La détermination du radiostrontium-90 dans les os humains est plus particulièrement difficile. En effet, les mesures du Lamont Geological Observatory (Université de Columbia)) (1) donnent les valeurs suivantes, pour des os humains (1954 à 1957) :

Adultes :

0,01 pC/g Ca à 1,0 pC/g Ca (extrêmes: 0,001 pC/g Ca, 10 pC/g Ca)
moyenne, pour les échantillons prélevés en Suisse: 0,09 pC/g Ca
» » aux USA : 0,12 pC/g Ca

Enfants: 0 à 4 ans, moy. échantillons prélevés en Suisse: 0,62 pC/g Ca
5 à 9 ans, » » 0,46 pC/g Ca

La Commission fédérale de la Radioactivité (Président, Prof. Dr P. HUBER, Bâle) nous a chargés de la détermination du strontium-90 dans les os humains. C'est pourquoi nous avons été conduits à réaliser une installation de comptage qui soit capable de mesurer avec suffisamment de sensibilité d'aussi faibles radioactivités.

L'analyse radiochimique part de 25 g d'os, et s'inspire de la méthode du Sunshine Project (Université de Chicago) (2). Les 5 g de cendres obtenus par calcination contiennent sensiblement 1,85 g de calcium; d'après les valeurs citées plus haut, il faut donc s'attendre à trouver une radioactivité d'environ :

0,2 pC, ou 0,4 dpm, chez l'adulte
1,2 pC, ou 2,6 dpm, chez le très jeune enfant.

La mesure de la radioactivité ne porte pas sur le strontium-90 lui-même, mais sur son élément-fille, le radioyttrium-90, en équilibre radioactif (période 2,66 j.). La séparation radiochimique est meilleure.

Avec un détecteur dont la géométrie est 2 π, cela correspond à environ :

0,2 cpm (impulsions par minute) chez l'adulte
1,3 cpm chez le très jeune enfant.

Rappelons qu'un compteur de Geiger-Müller de dimensions courantes donne, en l'absence de source radioactive, environ 20 cpm (ordre de grandeur), dus au rayonnement cosmique et à la radioactivité ambiante.

Généralités.

La mesure de très faibles radioactivités n'est possible que lorsque :

a) l'efficacité du détecteur (rapport du nombre des impulsions comptées au nombre de désintégrations de la source) est élevée;

b) le background (effet zéro) est très faible.

Pour les radiations β^- pénétrantes de l'yttrium-90, le compteur de Geiger-Müller est un détecteur très efficace. Bien que la fenêtre mince d'un compteur G-M en cloche de construction classique ne diminue guère l'efficacité, il nous a fallu réaliser un compteur à l'intérieur duquel la source puisse être placée pour la mesure, afin d'obtenir une géométrie de comptage maximum, proche de 2 π. Les ouvertures et fermetures fréquentes du compteur nous ont incités à choisir un dispositif à circulation gazeuse (flow-counter) plutôt qu'un compteur scellé, rempli en une fois après réalisation d'un vide poussé. Nous utilisons un mélange de 99 % d'hélium et 1 % d'isobutane (Gaz Tracerlab G-I).

Un certain nombre de dispositions doivent être prises pour obtenir un background très bas. Celui-ci résulte en effet :

1. d'impulsions électriques parasites dues au compteur même;
2. de la radioactivité des matériaux constituant les parois du compteur;
3. de la radioactivité ambiante;
4. du rayonnement cosmique.

La première composante est rendue négligeable par l'emploi de bons isolants et d'un gaz de comptage de qualité.

La seconde composante est largement diminuée par le choix d'un métal de radioactivité très faible (3).

La radioactivité ambiante n'a plus d'effet appréciable lorsque le compteur est entouré d'un blindage d'épaisseur suffisante.

Le même blindage arrête une partie du rayonnement cosmique. Pour diminuer davantage cette composante, nous avons utilisé un anneau de compteurs en anticoïncidences, disposés autour du compteur principal, dit compteur central.

Pour réduire le poids du blindage, l'ensemble des compteurs qu'il

abrite doit être aussi compact que possible. Il faut cependant maintenir entre compteur central et anneau une paroi d'épaisseur suffisante pour arrêter les rayons durs de l'yttrium-90, afin qu'ils n'influencent pas les compteurs extérieurs. Par ailleurs, cette paroi doit rester aussi mince que possible, pour diminuer son interaction avec le rayonnement cosmique. Pour être le plus efficace, l'anneau en anticoïncidence ne devrait présenter aucune discontinuité.

Particularités du premier type de compteur.

Le compteur central et ses 12 compteurs en anticoïncidences sont creusés dans un seul bloc de laiton (fig. 1). Sauf en ses extrémités,

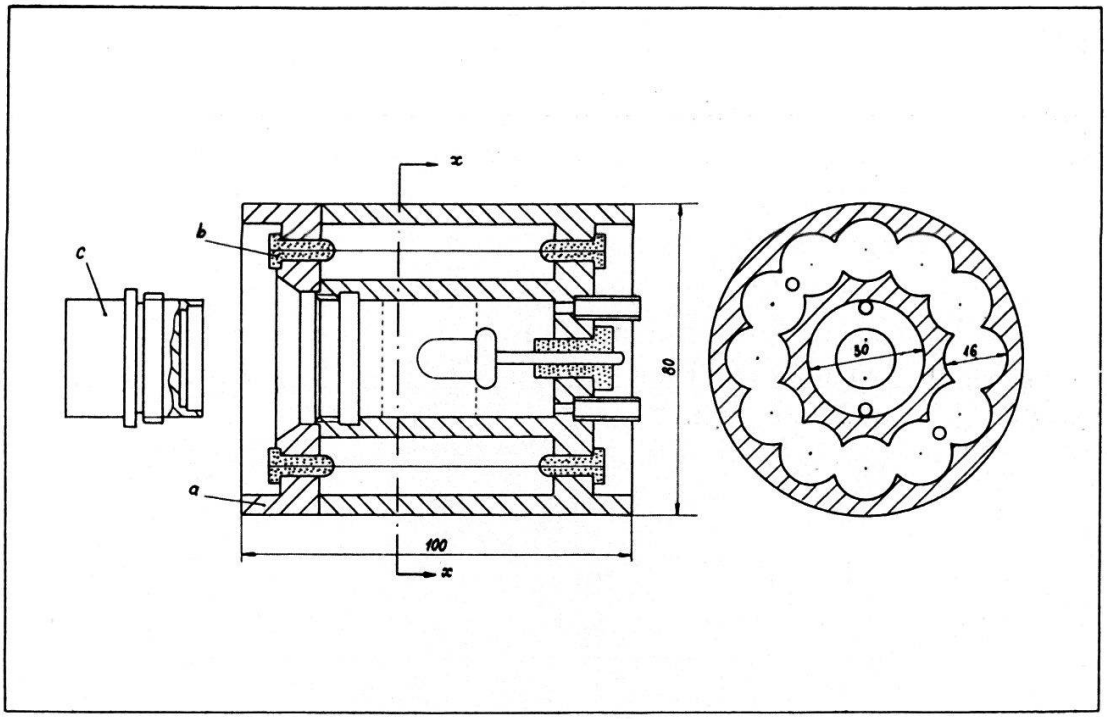

Fig. 1

l'anneau ne présente pas de discontinuité, les compteurs étant jointifs. Outre sa bonne efficacité, cette disposition facilite le balayage par le courant gazeux. La caractéristique de l'anneau (fig. 2a) montre que l'ensemble des 12 compteurs présente un bon palier, dont la pente n'est que de 2 % par 100 volts.

Le palier du compteur central (fig. 2b) a une pente de 1 % par 100 volts. L'épaisseur entre compteur central et anneau a été choisie égale à 5 mm. L'efficacité globale du compteur central, pour une source mince d'une surface de 2 cm^2 sur un support d'aluminium, est égale à 0,5.

Le background d'un compteur analogue au compteur central, sans anneau et sans protection, serait d'environ 15 cpm. A l'aide du châ-

teau de plomb utilisé pour nos essais, il peut être abaissé à environ 10 cpm. Dans les mêmes conditions, le bloc compteur central-anneau nous donne un background de 1,5 cpm. Nous avons cherché à diminuer cet effet zéro en reconstruisant tout le bloc en cuivre, mais n'avons pas obtenu de différence significative. Ce background résiduel semble donc d'origine cosmique. C'est pourquoi nous avons réalisé un second montage dont le volume réduit nous assure un effet zéro plus bas.

Particularités du second type de compteur.

Le dispositif n'est plus monobloc (fig. 3). L'anneau est formé de 4 compteurs plats à anodes multiples, chacun jouant le rôle d'une paroi de protection. La caractéristique de ces compteurs plats (fig. 2c) montre que la pente du palier n'est que 2 % par 100 volts. Après plusieurs essais, nous avons obtenu un compteur central dont la caractéristique (fig. 2d) a une pente de 1 % par 100 volts.

L'efficacité globale du compteur central, pour une source mince de 2 cm^2 sur support d'aluminium, est égale à 0,5.

Le background du compteur central, sans protection et sans anneau s'élève à environ 5,0 cpm. Dans le château de plomb, il descend à 3,5 cpm. Lorsque l'anneau en anticoïncidence est ajouté, ce background tombe à 0,6 cpm.

Electronique associée.

Outre les éléments de comptage classiques, échelles, hautes tensions stabilisées..., sur lesquels nous ne nous étendrons pas, notre montage comprend une unité en anticoïncidences, dont nous donnons le schéma simplifié à la fig. 4. Dans chacun des canaux (central et anneau), les impulsions sont amplifiées, puis mises en forme. Par différenciation, l'impulsion du compteur central est retardée d'un temps réglable de 2 à 20 μs.

L'impulsion de l'anneau donne naissance à un gate négatif, dont la durée est réglable de 50 à 500 μs. Cette impulsion de blocage arrive sur la grille du tube 6BN6, empêchant qu'un événement en coïncidence sur le canal central soit enregistré. L'impulsion négative amplifiée peut être appliquée aux compteurs central et annulaires, les rendant ainsi insensibles pendant une période bien déterminée. Un bon résultat a été obtenu avec un blocage de 300 μs, correspondant sensiblement au temps mort des compteurs de l'anneau. Il est donc possible de faire des corrections précises pour les pertes d'impulsions, bien que pour les sources faiblement radioactives cette correction soit généralement inutile.

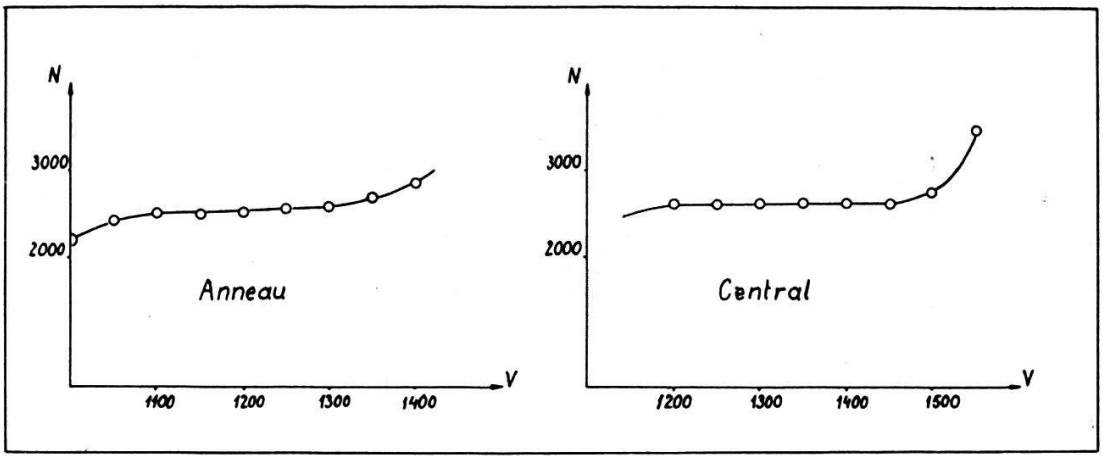

FIG. 2 a) FIG. 2 b)

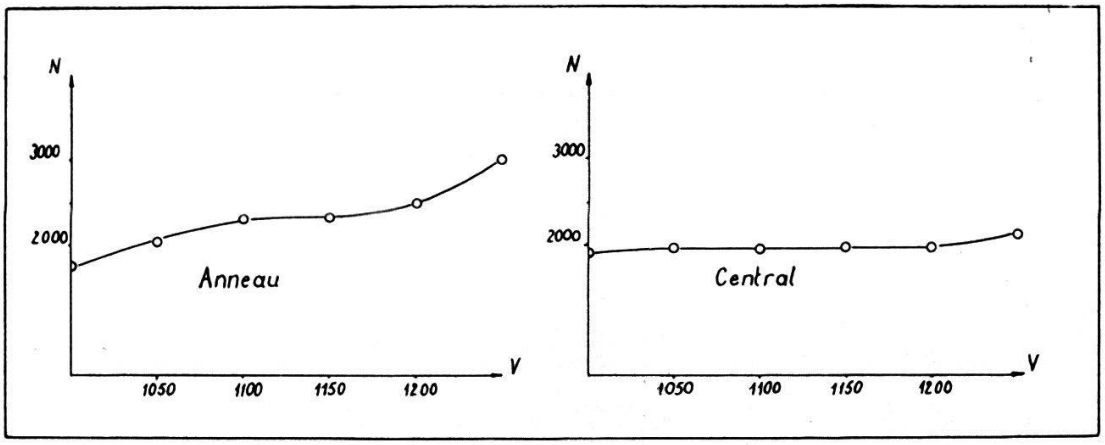

FIG. 2 c) FIG. 2 d)

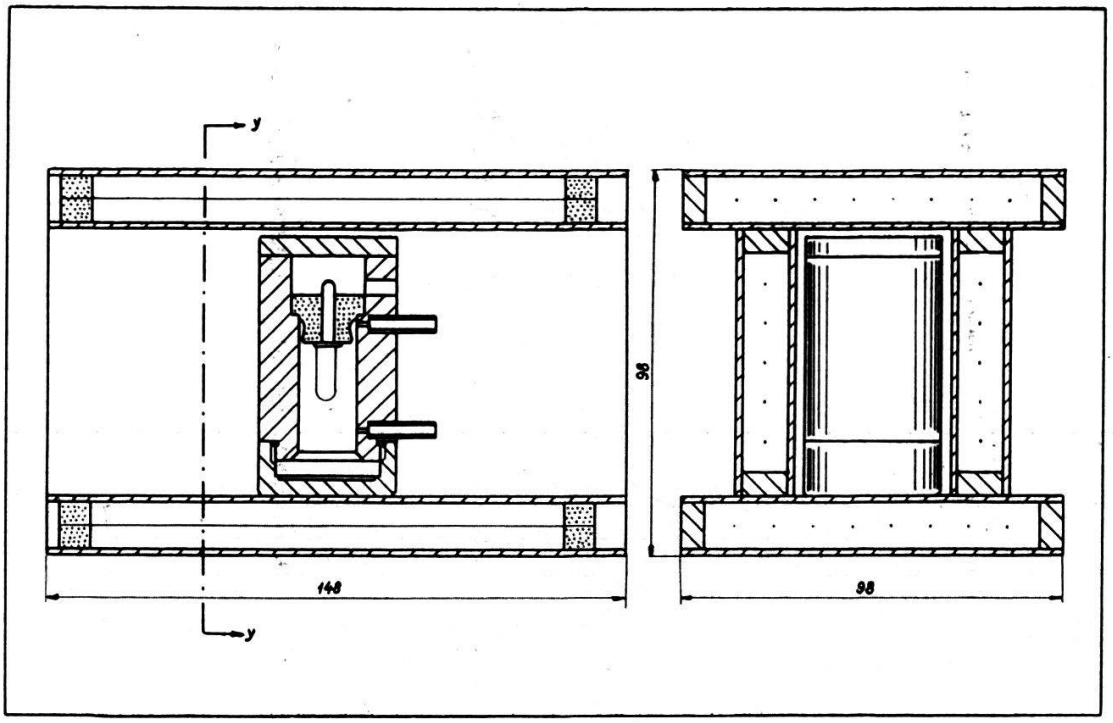

FIG. 3

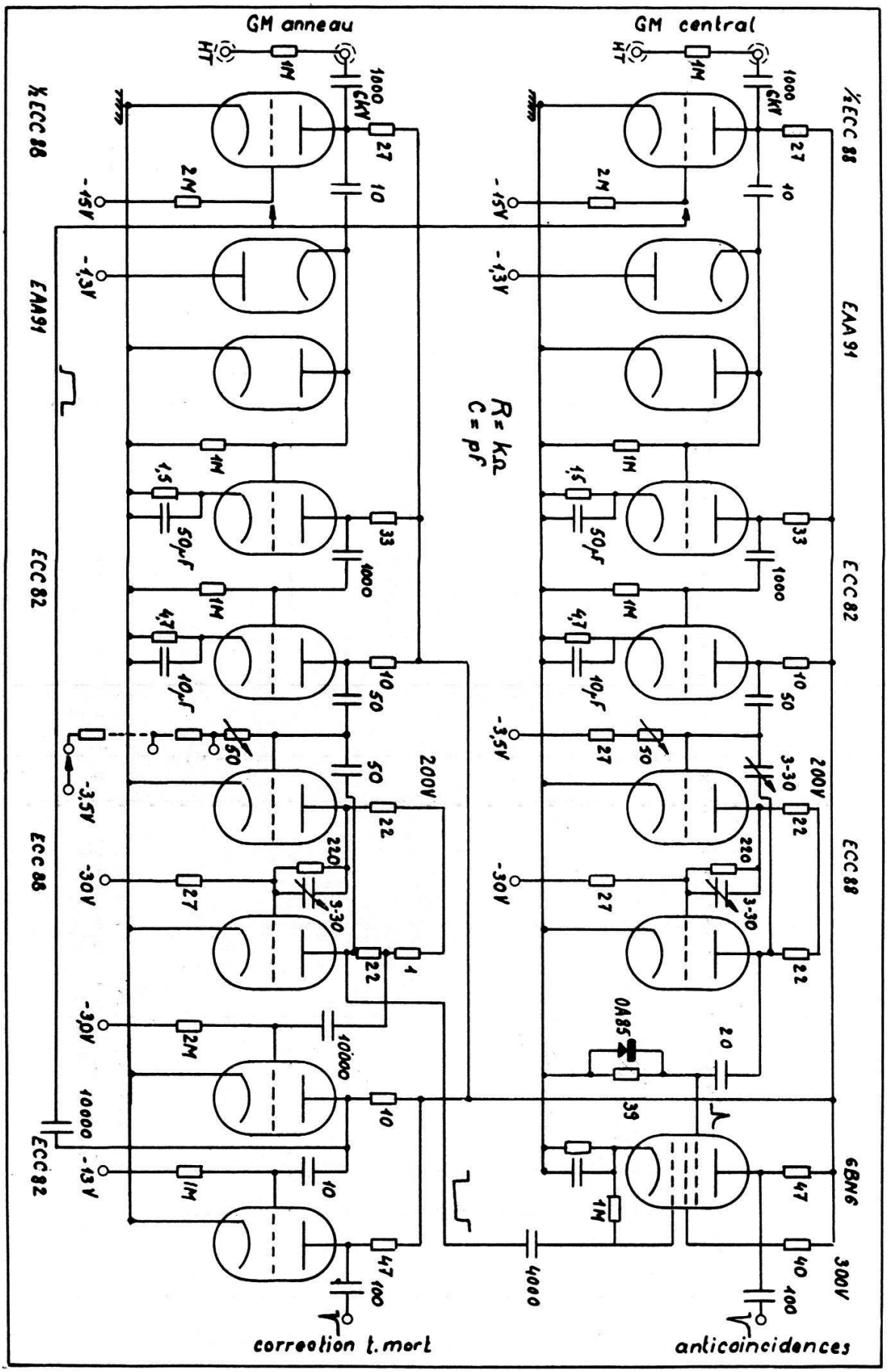
GM anneau
GM central
HT
1M
1000 CKV
27
10
2M
-15V
-1,3V
½ ECC 88
EAA 91
ECC 82
ECC 88
6BN6
½ ECC 88
R = kΩ
C = pF
1,5
50µF
33
1000
4,7
10µF
50
-3,5V
200V
3-30
22
220
-30V
1
10000
0A85
20
39
47
40
100
300V
correction t. mort
anticoincidences

FIG. 4

Chateau de plomb.

Le château utilisé pour tous les essais (fig. 5) est constitué par une première couche de fer, dont la radioactivité est plus faible que

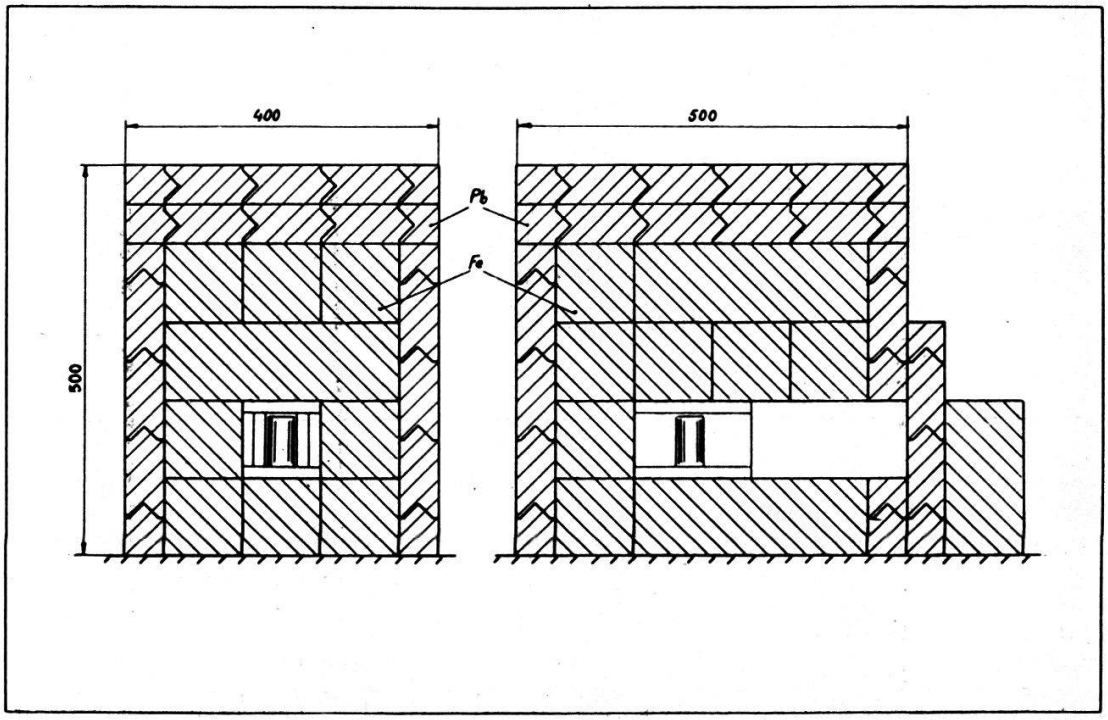

Fig. 5

celle du plomb moderne dont nous disposions, puis par une couche de brique de plomb standard. Ce montage pourra être amélioré. De longs comptages seront nécessaires pour apprécier l'effet de modifications, tant dans la disposition du matériel que par l'adjonction d'éléments nouveaux (paraffine au bore pour arrêter les neutrons notamment).

Analyse des résultats.

Pour apprécier ces résultats, il est nécessaire de déterminer l'erreur qui est commise lors de la mesure d'une radioactivité inférieure au background du détecteur. L'erreur probable absolue sur la mesure de N impulsions dues à un phénomène obéissant aux lois du hasard, comme la radioactivité, est :

$$\sigma = \pm 0{,}6745 . \sqrt{N}$$

Il y a autant de chance que le résultat se trouve à l'intérieur qu'à l'extérieur de la marge d'erreur comprise entre

$$N - 0{,}6745 . \sqrt{N} \text{ et } N + 0{,}6745\sqrt{N}.$$

Sur l'activité $A = N/t$, où t est le temps pendant lequel N impulsions parviennent au détecteur, l'erreur probable absolue est :

$$\sigma_A = \frac{\pm\, 0.6745 \,.\, \sqrt{N}}{t} = \pm\, 0{,}6745\sqrt{A/t}$$

Soit N_0 le nombre d'impulsions dues à la source et au background, pendant t_1 *s*. L'erreur absolue probable sur l'activité réelle de la source :

$$A_r = A_1 - A_0 = \frac{N_1}{t_1} - \frac{N_0}{t_0}$$

est :

$$\sigma_r = \pm\, 0{,}6745 \,.\, \sqrt{A_1/t_1 + A_0/t_0}$$

en effet, l'addition de deux erreurs statistiques indépendantes est géométrique et l'erreur relative correspondante ρ (en %) :

$$\rho = \pm\, \frac{100\,\sigma}{A_1 - A_0} = \pm\, \frac{67{,}45}{A_1 - A_0} \cdot \sqrt{A_1/t_1 + A_0/t_0}$$

Pour simplifier, comme A_1 et A_0 sont du même ordre de grandeur lors des mesures de basse activité, nous supposerons que leurs mesures se font toutes deux en comptant le même nombre d'impulsions : $N_1 = N_0$, par conséquent avec la même erreur probable. Introduite dans la relation ci-dessus, cette simplification : $A_1 \,.\, t_1 = A_0 \,.\, t_0$

donne :

$$\rho = \pm\, 67{,}45\, \frac{\sqrt{A_1^2 + A_0^2}}{A_1 = A_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{A_1\, t_1}} = \frac{\sqrt{A_1^2 + A_0^2}}{A_1 - A_0} \cdot \xi$$

où l'on pose :

$$\xi = \frac{\pm\, 67{,}45}{\sqrt{A_1 \,.\, t_1}} = \frac{\pm\, 67{,}45}{\sqrt{A_0 \,.\, t_0}} = \frac{100}{A_1} \cdot \sqrt{\frac{A_1}{t_1}} = \frac{100}{A_0} \cdot \sqrt{\frac{A_0}{t_0}}$$

c'est l'erreur probable relative sur la mesure de A_0 et de A_1.

Il est utile d'introduire dans l'expression ci-dessus le rapport de l'activité propre de la source A_r au background A_0 :

$$\eta = \frac{A_r}{A_0} = \frac{A_1 - A_0}{A_0}$$

où η est à rapprocher de la grandeur « signal to noise ratio » utilisée en électronique, et qui renseigne beaucoup mieux sur la sensibilité de la mesure que la seule valeur A_r. Il vient :

$$\rho = \frac{\sqrt{A_1^2 + A_0^2}}{A_1 - A_0} \,.\, \xi = \xi \sqrt{1 + \frac{2}{\eta} + \frac{2}{\eta^2}}$$

A l'aide de cette relation, on peut établir le graphique suivant (fig. 6), où ρ et η sont reportés en coordonnées logarithmiques, et où ξ est porté en paramètre.

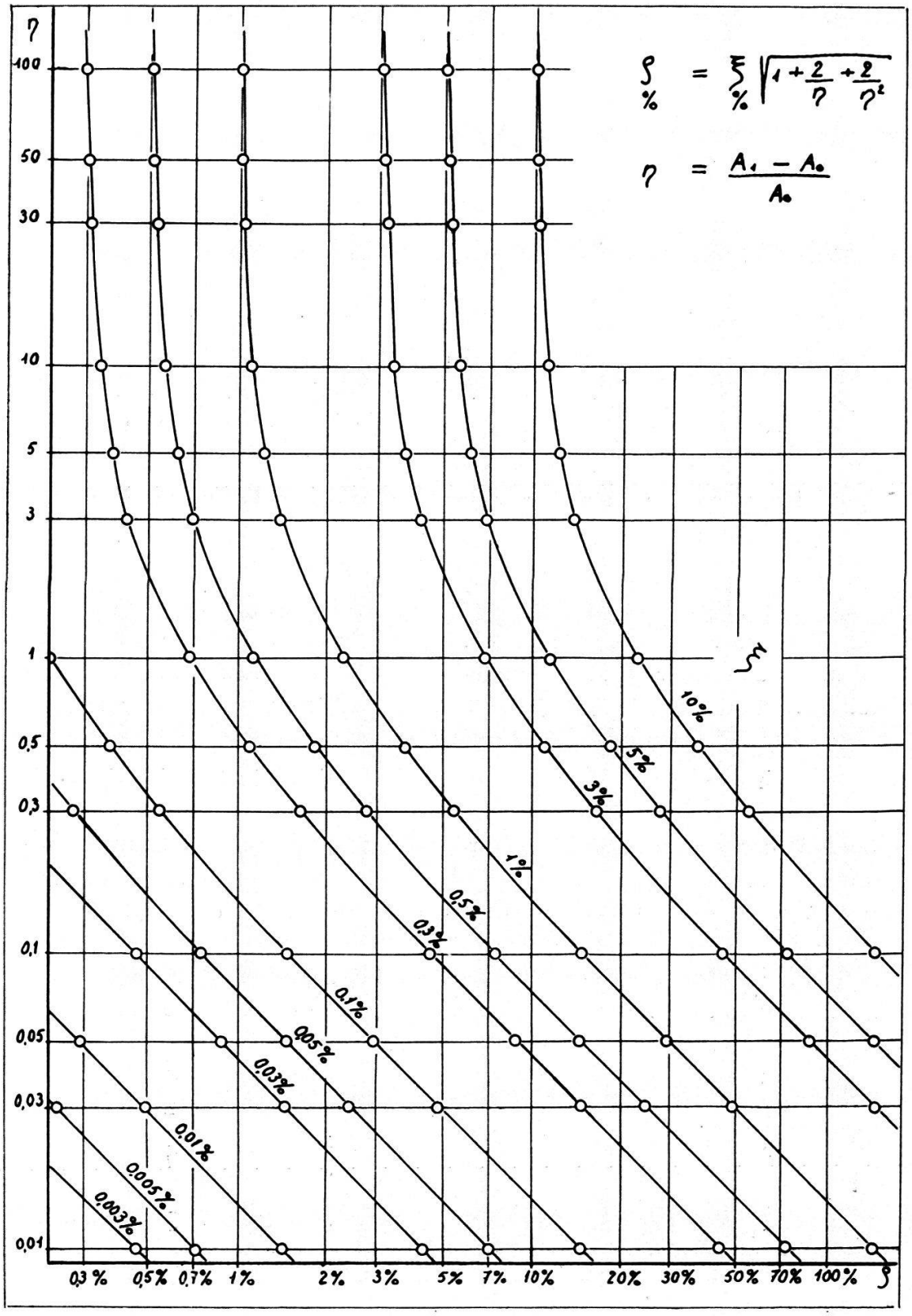
$\rho_{\%} = \xi_{\%}\sqrt{1+\frac{2}{\eta}+\frac{2}{\eta^2}}$
$\eta = \frac{A_1 - A_0}{A_0}$
η
100
50
30
10
5
3
1
0,5
0,3
0,1
0,05
0,03
0,01
0,3 %
0,5 %
0,7 %
1 %
2 %
3 %
5 %
7 %
10 %
20 %
30 %
50 %
70 %
100 %
ρ
ξ
10 %
5 %
3 %
1 %
0,5 %
0,3 %
0,1 %
0,05 %
0,03 %
0,01 %
0,005 %
0,003 %

FIG. 6

Pour nos deux compteurs, et dans le cas de la mesure de la radioactivité des os d'un adulte, on a :

$$A_{01} = 1{,}5 \text{ cpm} \qquad A_{02} = 0{,}6 \text{ cpm} \qquad A_r = 0{,}2 \text{ cpm}$$

Le tableau ci-dessous donne le résultat des calculs utilisant les valeurs précédentes :

Compteur	Précision désirée sur le résultat	Précision nécessaire sur chaque mesure	Nombre d'impulsions à compter	Temps de comptage nécessaire (source puis background)
I	20 %	1,8 %	1400	0,57j + 0,65j = 1,22j
	10 %	0,9 %	5600	2,3j + 2,6j = 4,9j
II	20 %	4,0 %	285	0,25j + 0,33j = 0,58j
	10 %	2,0 %	1150	1,0j + 1,3j = 2,3j
	5 %	1,0 %	4550	4,0j + 5,0j = 9,0j

Ces calculs ne tiennent pas compte de la décroissance de la radioactivité pendant la mesure. La période du radio-yttrium-90 étant de 2,66j, les corrections à apporter sont importantes. Le calcul donne :

I	20 %	1,6 %	1800	0,74j + 0,83j = 1,57j
II	20 %	3,9 %	300	0,35j + 0,26j = 0,61j
	10 %	1,6 %	1800	2,1j + 1,6j = 3,7j

Et il devient possible d'atteindre une précision de 10 % sur le résultat, dans le cas du compteur II, et 20 % dans le cas du compteur 1.

Conclusion.

Les chiffres précédents montrent bien qu'une installation à haute efficacité et très bas background est indispensable pour la mesure d'aussi faibles radioactivités. En passant du compteur I au compteur II, l'efficacité reste la même, le background diminue d'un facteur 2,5, et le temps de comptage total diminue environ du même facteur. Pour autant qu'une erreur probable relative de 10 à 20 % soit admissible, nos compteurs, et plus particulièrement le second, sont donc utilisables pour la détermination du radiostrontium dans les os.

Ce travail a été effectué avec l'appui de la Commission pour la Science atomique du Fonds national suisse pour la Recherche scientifique que nous tenons à remercier particulièrement.

BIBLIOGRAPHIE

1. Kulp J.-L., Eckelmann W.-R., Schulert A.-R. — Strontium-90 in man. *Science 125*, 219, 1957.
2. Martell E.-A. — The Chicago Sunshine Method — AECU — 3262, 1956.
3. Grumitt W.-E., Brown R.-M., Cruikshank A.-J., Fowler I.-L. — Recent developments in low background Geiger-Müller Counters. *Canad. J. Chem. 34*, 206, 1956.

Manuscrit reçu le 22 décembre 1959.