

CEA 1929 - BARTHOUX Alain, IMBERT Lydie

**ETALONNAGE D'UN COMPTEUR CLOCHE LCT 13A7 POUR LES
MESURES D'ACTIVITE β (1961).**

Sommaire. - L'étude met en évidence les principales corrections à apporter dans le cas de sources planes circulaires constituées par un mélange de radioéléments connus ou inconnus. On définit le domaine d'activité dans lequel ce type de compteur peut être raisonnablement utilisé.

Une courbe expérimentale du coefficient d'absorption exponentielle apparente des β dans la matière est donnée, permettant d'effectuer des corrections d'autoabsorption et éventuellement de définir l'énergie apparente du rayonnement.

Enfin, l'étude détermine l'erreur à envisager avec différents compteurs du même type.

CEA 1929 - BARTHOUX Alain, IMBERT Lydie

**THE CALIBRATION OF AN END-WINDOW COUNTER LCT 13A7 FOR
THE MEASUREMENT OF β -ACTIVITY (1961).**

Summary. - The study shows the principal corrections to be applied in the case of plane circular sources made up of a mixture of radio-elements known or unknown. We define the region of activity in which this type of counter can usefully be employed.

An experimental curve of the apparent exponential absorption coefficient for β rays in matter is given, thus making it possible to correct for autoabsorption and if necessary to define the apparent energy of the radiation.

Finally, the study calculates the error to be expected with different counters of the same type.

**PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**ETALONNAGE D'UN COMPTEUR CLOCHE LCT 13A7
POUR LES MESURES D'ACTIVITE β**

par

Alain BARTHOUX et Lydie IMBERT

Rapport CEA N° 1929

1961

**CENTRE D'ETUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY**

- Rapport C.E.A. n° 1929 -

Section de Protection contre les Radiations

ETALONNAGE D'UN COMPTEUR CLOCHE LCT 13A7
POUR LES MESURES D'ACTIVITE β

par

Alain BARTHOUX et Lydie IMBERT

- 1961 -

SOMMAIRE

- I - Généralités.**
- II - Dispositif de mesures.**
- III - Rendement en fonction de l'énergie pour une source ponctuelle.**
- IV - Rendement en fonction de l'énergie pour une source plane, circulaire, homogène.**
- V - Rendement pour une source d'énergie β inconnue.**
- VI - Coefficient d'absorption exponentielle apparente des β .**
- VII - Correction d'autoabsorption.**
- VIII - Domaine d'utilisation du compteur.**
- IX - Essais de reproductibilité.**

ETALONNAGE D'UN COMPTEUR CLOCHE LCT 13A7 POUR LES MESURES D'ACTIVITE β

I - GENERALITES -

Cette étude a pour but de préciser les conditions d'emploi des compteurs 13A7 LCT pour la mesure d'activités β .

On a cherché à mettre en évidence les principales corrections à apporter dans le cas de sources planes circulaires constituées par un mélange de radioéléments ou lorsque les radioéléments sont inconnus. Nous avons de même tenté de définir le domaine d'activité dans lequel ce type de compteur pouvait être raisonnablement utilisé.

Les rendements ont été mesurés en faisant varier différents paramètres : énergie maximale du spectre β - distance source compteur - diamètre de la source. Ces résultats ont permis de définir des rendements moyens à utiliser pour des sources de diamètres variables ou lorsque les énergies β sont inconnues.

Il est joint à ce rapport une courbe expérimentale du coefficient d'absorption exponentielle apparente des β dans la matière. La connaissance de ce coefficient permet d'effectuer des corrections

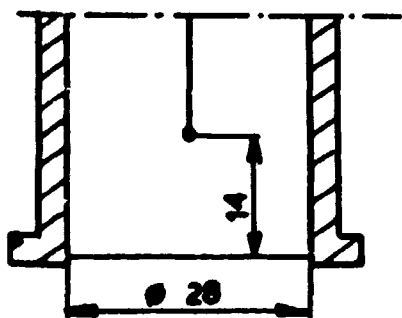
d'autoabsorption et, éventuellement, de définir l'énergie apparente du rayonnement.

L'étude de plusieurs compteurs a permis d'évaluer les erreurs que l'on risque de commettre si l'on généralise les valeurs trouvées à tous les compteurs de ce type.

Les sources utilisées ont été fournies par le Laboratoire de Mesures du Département d'Electronique ; elles sont connues en général à 1 p. 100 près.

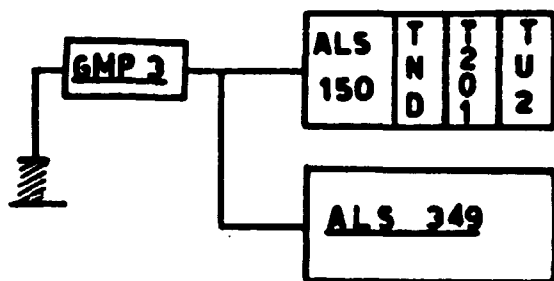
II - DISPOSITIF DE MESURES -

On a utilisé un compteur cloche LCT type 13A7 à fenêtre mince de mica ($1,4 \text{ mg/cm}^2$) avec un remplissage hélium - argon - vapeurs organiques. La chaîne de comptage associée au compteur



se compose de :

- une alimentation stabilisée ALS349
- une échelle de comptage EDU1
- un préamplificateur GMP3.



L'étude de l'influence du seuil du tiroir d'entrée a permis de montrer que, pour une discrimination inférieure à 1,5 volt, le taux de comptage reste constant aux fluctuations statistiques près. Il est cependant à remarquer que le poten-

tiomètre fixant ce seuil ayant un fonctionnement défectueux en début de course, il est préférable de ne pas travailler au seuil zéro.

III - RENDEMENT EN FONCTION DE L'ENERGIE POUR UNE SOURCE PONCTUELLE.

Cette étude a été effectuée à l'aide de radioéléments d'énergies β différentes. Les sources se présentent sous forme d'un dépôt pratiquement ponctuel sur mylar de 0,8 mg/cm². L'autoabsorption et la rétrodiffusion par le support sont négligeables.

Pour différentes énergies β , le rendement a été étudié en fonction de la distance d de la source à la fenêtre du compteur et de la distance l de la source à l'axe du compteur (figures 1, 2, 3, 4).

Les distances de 4 mm, 12 mm, 20 mm, 28 mm correspondent aux cas d'utilisation pratique.

Les courbes (5 et 6) permettent d'effectuer des corrections dans les cas où la distance source - compteur est différente des valeurs ci-dessus.

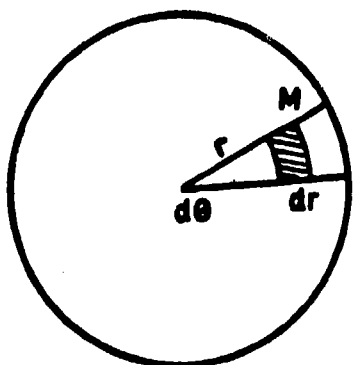
IV - RENDEMENT EN FONCTION DE L'ENERGIE POUR UNE SOURCE PLANE, CIRCULAIRE, HOMOGENE - [1]

soit R : le rayon de la source

A : l'activité totale de la source supposée suffisamment mince pour négliger l'autoabsorption

T : le taux de comptage

k(r) : le rendement pour une source ponctuelle placée à une distance r du centre.



L'activité par unité de surface sera :

$$\frac{dA}{dS} = \frac{A}{\pi R^2}$$

et le taux de comptage pour un élément de surface entourant M sera :

$$dT = \frac{A}{\pi R^2} \cdot k(r) \cdot dS = \frac{A}{\pi R^2} \cdot k(r) \cdot r \cdot dr \cdot d\theta$$

d'où :

$$T = \frac{A}{\pi R^2} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^R k(r) \cdot r \cdot dr = \frac{2A}{R^2} \int_0^R k(r) \cdot r \cdot dr$$

La courbe k(r) étant une donnée expérimentale, difficile à représenter par une formule mathématique, on doit procéder par intégration graphique.

Le rendement moyen est alors égal à :

$$\mathcal{R} = \frac{2 \Sigma}{R^2}$$

Σ : aire de la courbe r.k(r) mesurée graphiquement.

Le tableau I donne les rendements ainsi calculés pour des sources de ^{204}Tl (0,764 MeV) et de ^{147}Pm (0,223 MeV) de 1,6 cm de rayon.

Tableau I

distance d \	^{204}Tl	^{147}Pm
4 mm	8,7 p. 100	5,2 p. 100
12 mm	5,2 p. 100	2,7 p. 100
20 mm	3,5 p. 100	1,4 p. 100

Un calcul approché, plus rapide que la méthode précédente, permet d'obtenir le rendement moyen. Il suffit de prendre la moyenne arithmétique des rendements $k(o)$ pour $r = o$ et $k(R)$ pour $r = R$.

La comparaison des valeurs du tableau II et celles du tableau I permet d'évaluer l'erreur commise.

Tableau II

distance d \	^{204}Tl	^{147}Pm	^{32}P	^{35}S
4 mm	8,7 p. 100	5,2 p. 100	8,7 p. 100	3,7 p. 100
12 mm	5,5 p. 100	2,8 p. 100	5,5 p. 100	1,9 p. 100
20 mm	3,6 p. 100	1,5 p. 100	3,7 p. 100	1,0 p. 100

Les courbes 7, 8, 9 et 10 donnent les rendements déterminés de cette manière pour des sources de divers diamètres placées à différentes distances du compteur.

V - RENDEMENT POUR UNE SOURCE D'ENERGIE β INCONNUE -

On se propose de calculer le rendement à utiliser, dans le cas d'une source d'énergie inconnue, pour ne commettre qu'une erreur minimale, soit :

k_1 : le rendement maximal (énergie β la plus forte)

k_2 : le rendement minimal (énergie β la plus faible)

k : le rendement cherché

T : le taux de comptage.

A ce taux de comptage T correspondrait, pour une source d'énergie élevée, une activité $A_1 = \frac{T}{k_1}$ et pour une source d'énergie faible, une activité $A_2 = \frac{T}{k_2}$

En prenant k pour rendement, nous définissons une activité A .

L'erreur commise sera minimale si elle est symétrique, c'est-à-dire si l'on a :

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

soit :

$$\frac{T}{k} = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{k_1} + \frac{T}{k_2} \right)$$

On en déduit donc :

$$k = \frac{2 k_1 k_2}{k_1 + k_2} \quad \text{et} \quad \frac{\Delta A}{A} \leq \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}$$

Le tableau III donne, compte tenu du calcul précédent et des valeurs extrêmes du tableau II, le rendement à utiliser dans le cas d'une source circulaire, plane de 1,6 cm de rayon, si l'on suppose :

- l'énergie comprise entre 0,17 et 1,7 MeV
- l'autoabsorption et la rétrodiffusion négligeables

(la forme des courbes de rendement laisse supposer que le rendement varie peu au-delà de 1,7 MeV).

Tableau III

distance d	Rendement moyen global $k = \frac{2 k_1 k_2}{k_1 + k_2}$	Erreur maximale due à l'incertitude sur l'énergie $\frac{\Delta A}{A} < \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}$
4 mm	5,2 p. 100	40 p. 100
12 mm	2,8 p. 100	49 p. 100
20 mm	1,6 p. 100	58 p. 100

VI - COEFFICIENT D'ABSORPTION EXPONENTIELLE APPARENTE DES β - [1] [2]

La transmission des β à travers la matière suit, pour des épaisseurs d'écrans pas trop importantes, une loi exponentielle :

$$N = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{S}}$$

- N_0 : nombre de particules comptées avant interposition de l'écran
 N : nombre de particules comptées après interposition de l'écran
 μ : coefficient apparent d'absorption linéaire des β dans la matière
 ρ : masse spécifique de l'écran
 m : masse de l'écran
 S : surface de l'écran

Une étude expérimentale a montré que cette loi était valable pour une atténuation inférieure à 100.

La connaissance du coefficient $\frac{\mu}{\rho}$ permet donc :

- d'effectuer des corrections d'autoabsorption
- de déterminer l'énergie apparente des β émis par une source, à l'aide d'écrans d'épaisseur connue.

La variation de $\frac{\mu}{\rho}$ en fonction de l'énergie est donnée par la courbe 11. Elle peut être représentée par la formule :

$$\frac{\mu}{\rho} = 18 E^{-\frac{3}{2}}$$

$\frac{\mu}{\rho}$ étant exprimé en cm^2/g et E en MeV.

VII - CORRECTION D'AUTOABSORPTION - [1]

Considérons une source plane d'épaisseur h , de masse m , de surface S .

Pour un élément de volume placé à une distance x de la surface de la source, le taux de comptage sera :

$$dN = \frac{N_0}{h} e^{-\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{S} \frac{x}{h}} dx$$

N_0 : taux de comptage dû à la source s'il n'y avait pas d'absorption.

Le taux de comptage réel sera, en supposant que h est faible devant la distance source - compteur :

$$N = \frac{N_0}{h} \int_0^h e^{-\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{S} \frac{x}{h}} dx = \frac{N_0 \cdot S \cdot \rho}{\mu m} \left(1 - e^{-\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{S}} \right) = \frac{N_0}{k}$$

Le coefficient de correction à appliquer est donc :

$$K = \frac{\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{S}}{1 - e^{-\frac{\mu}{\rho} \frac{m}{S}}}$$

La courbe 11 donne $\frac{\mu}{\rho}$ dans l'aluminium. On peut calculer sa valeur dans d'autres matériaux de masse atomique A , de nombre atomique Z , par la formule [6] :

$$\left(\frac{\mu}{\rho} \right) = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{Al} \cdot \left(\frac{Z}{13} \right)^{4/3} \cdot \frac{27}{A}$$

VIII - DOMAINE D'UTILISATION DU COMPTEUR -

Limitation due aux pertes de comptage [3]

Soit N le nombre d'impulsions qui seraient comptées pendant l'unité de temps si le temps mort était nul et n le nombre d'impulsions réellement comptées.

Si t est le temps mort du compteur, celui-ci sera bloqué pendant une fraction de l'unité de temps égale à nt et il ne pourra compter des impulsions que pendant un temps égal à $(1 - nt)$ unité de temps.

$$\text{D'où : } n = N (1 - nt)$$

$$N = \frac{n}{1 - nt}$$

Cette formule permettrait, si le temps mort était constant, d'effectuer une correction de perte de comptage. En fait, il varie en fonction du taux de comptage, de la haute tension appliquée et du vieillissement du compteur [3].

On peut cependant admettre que, dans les conditions courantes d'utilisation, et pour un taux de comptage inférieur à 10^4 impulsions/mn, il est compris entre 200 et 300 μ s. Ce qui entraîne une erreur inférieure à 5 p. 100.

L'emploi d'un nouveau tiroir d'entrée à temps mort imposé permettra de fixer cette erreur [5].

Limitation due aux erreurs statistiques.

Lorsqu'on effectue une mesure de faible activité à l'aide d'un compteur, le taux de comptage dû à la source se rapproche de celui dû au mouvement propre du compteur. Il est alors nécessaire d'effectuer la différence de deux grandeurs aléatoires. Il est possible de calculer [4] l'erreur commise en fonction du nombre d'impulsions comptées. Pour une probabilité 0,9 de ne pas dépasser cette erreur, la formule est :

$$\xi_{(p.100)} = \frac{165}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{(\lambda + 1)(\lambda + 2)}{\lambda^2}}$$

n : nombre total d'impulsions comptées

$\lambda = \frac{T}{M}$: rapport du taux de comptage T dû à la source au taux de comptage M dû au mouvement propre.

Cette formule permet, si l'on connaît λ , de déterminer le nombre d'impulsions minimales à compter pour rendre l'erreur inférieure à une certaine valeur $\xi_{(p.100)}$.

Supposons que nous voulions rendre l'erreur statistique inférieure à 5 p. 100 et que le temps de mesure soit limité à 1 heure. Le mouvement propre du compteur étant de l'ordre de 10 impulsion / mn, le taux de comptage devra être supérieur à 30 impulsion / mn.

Ayant fixé des limites raisonnables pour le taux de comptage :

$$30 \text{ impulsion / mn} < T < 10^4 \text{ impulsion / mn},$$

nous pouvons évaluer le domaine d'utilisation du compteur.

Activité minimale mesurable à 4 mm du compteur en prenant un rendement moyen de 5,2 p. 100 :
de l'ordre de 3.10^{-10} curies.

Activité maximale mesurable à 20 mm du compteur en prenant un rendement moyen de 1,6 p. 100 :
de l'ordre de 3.10^{-7} curies.

IX - ESSAIS DE REPRODUCTIBILITE -

Les mesures effectuées, figurant dans le tableau IV, permettent de conclure à une assez bonne reproductibilité et les rendements donnés par les courbes 7, 8, 9 et 10 peuvent être généralisés, en première approximation, à tous les compteurs du même type. L'erreur sera inférieure à 15 p. 100.

Manuscrit reçu le 4 avril 1961.

Tableau IV

	N° du compteur	7307	7116	7279	7107	6610
	épaisseur fenêtre	1,6 mg/cm ²	1,82 mg/cm ²	1,55 mg/cm ²	1,9 mg/cm ²	1,7 mg/cm ²
²⁰⁴ Tl		en p. 100	en p. 100	en p. 100	en p. 100	en p. 100
	dans l'axe (4 mm	12	11	11	11	12,5
	{ 20 mm	4,3	4	4,1	4,2	4,4
	1,6 cm de (4 mm	5,1	5,2	5,3	4,9	5,1
	l'axe { 20 mm	2,7	2,5	2,8	2,7	2,9
¹⁴⁷ Pm	dans l'axe (4 mm	7	6,5	6,5	6,6	7,5
	{ 20 mm	1,6	1,6	1,8	1,7	1,9
	1,6 cm de (4 mm	3,3	3,2	3,1	3,5	3
	l'axe { 20 mm	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - SHARPE, TAYLOR et CHATELET
Mesure et détection des rayonnements nucléaires.

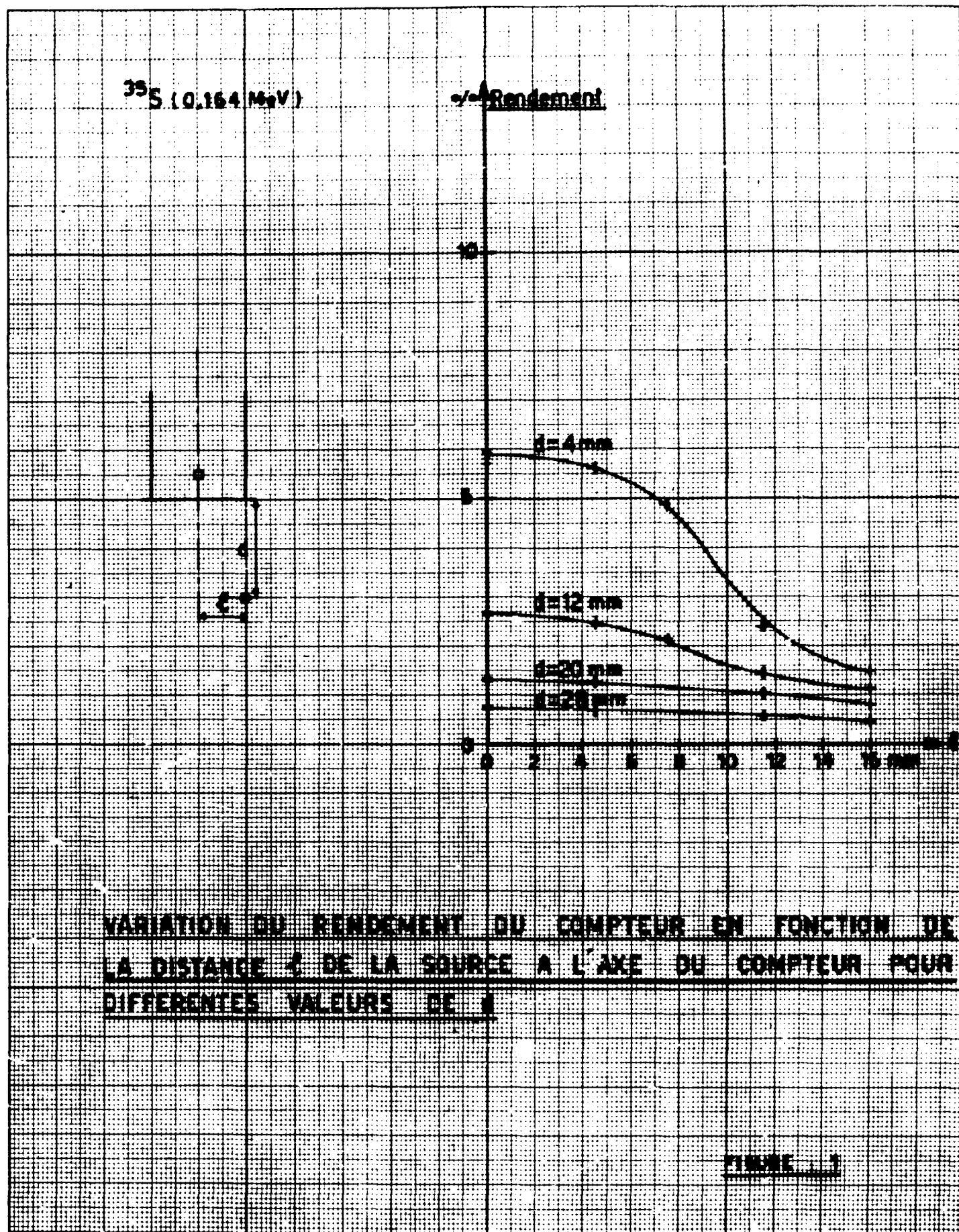
- [2] - EVANS
The Atomic Nucleus.
Mc Graw Hill - Book Company.

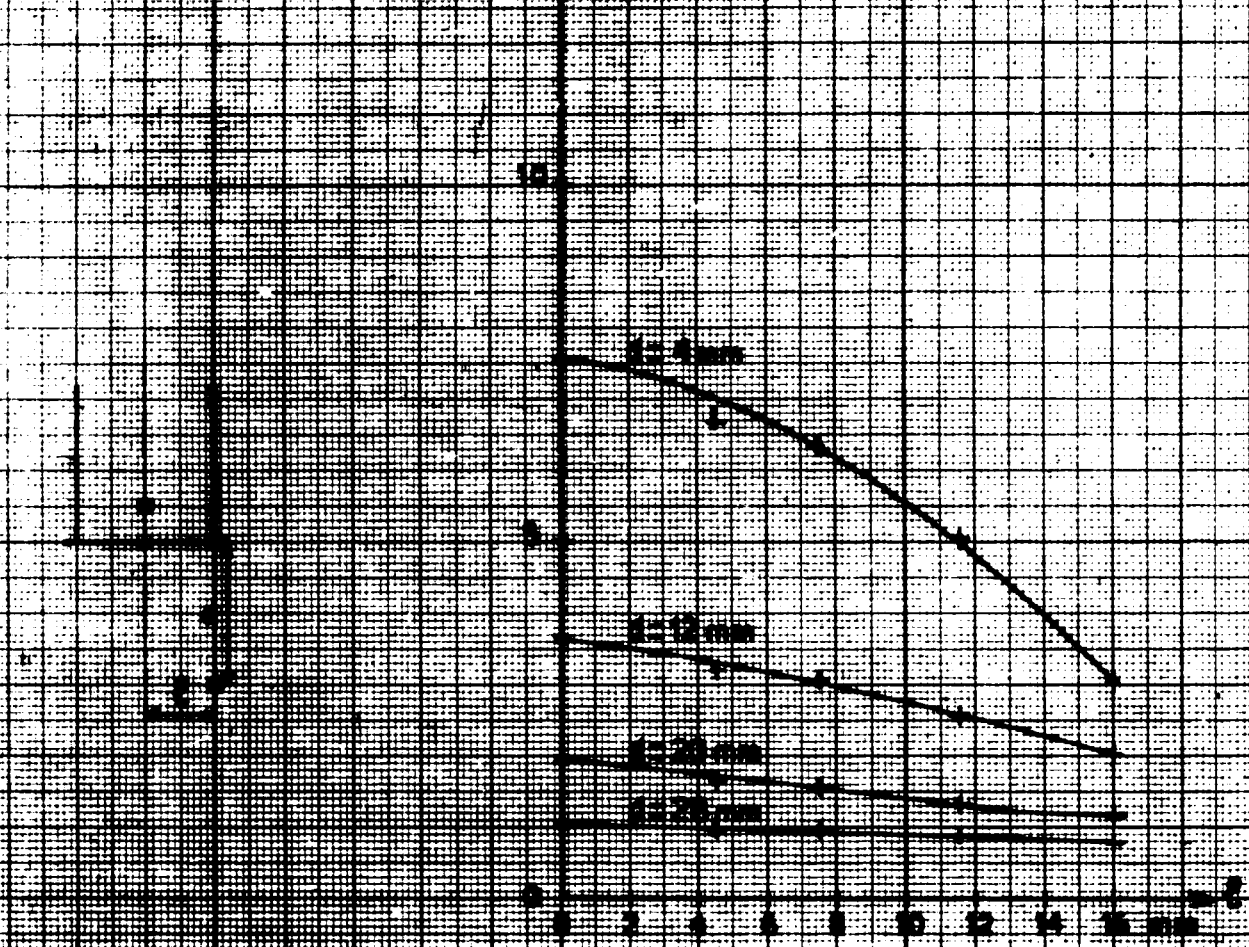
- [3] - LAMOTTE et LE BAUD
Compteur G. M. et temps mort imposé.
Rapport CEA 1340.

- [4] - CLUCHET
Evaluation de l'incertitude statistique affectant un comptage.
Note CEA n° 312.

- [5] - Bulletin d'Informations Scientifiques et Techniques.
CEA n° 37 - Février 1950.

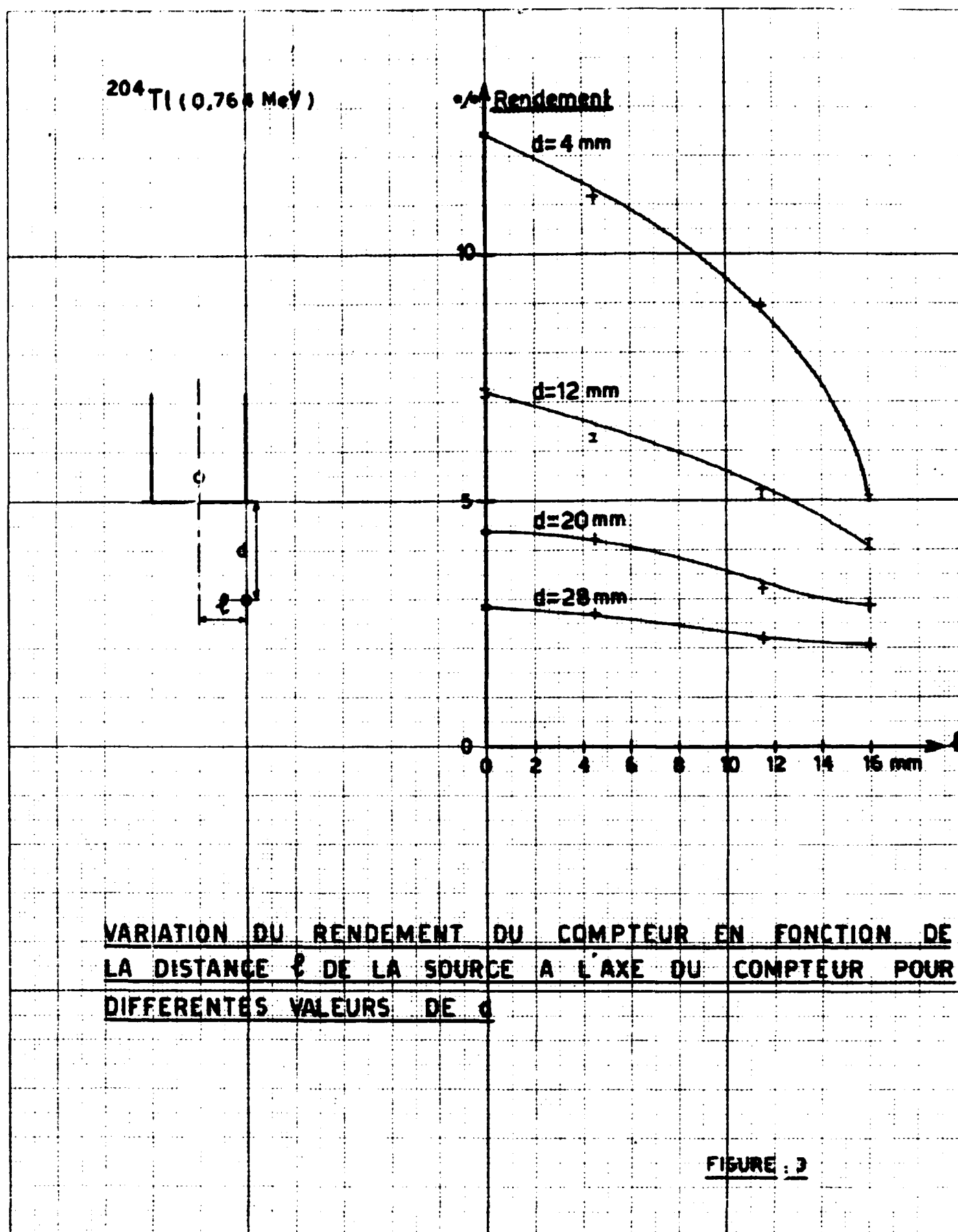
- [6] - ABIB HUSAIN et PUTMAN J. L.
The absorption of particles as a function of Atomic
Number - Pross. Phys. Society.
G.B., 1957, 448 A, Part. IV.

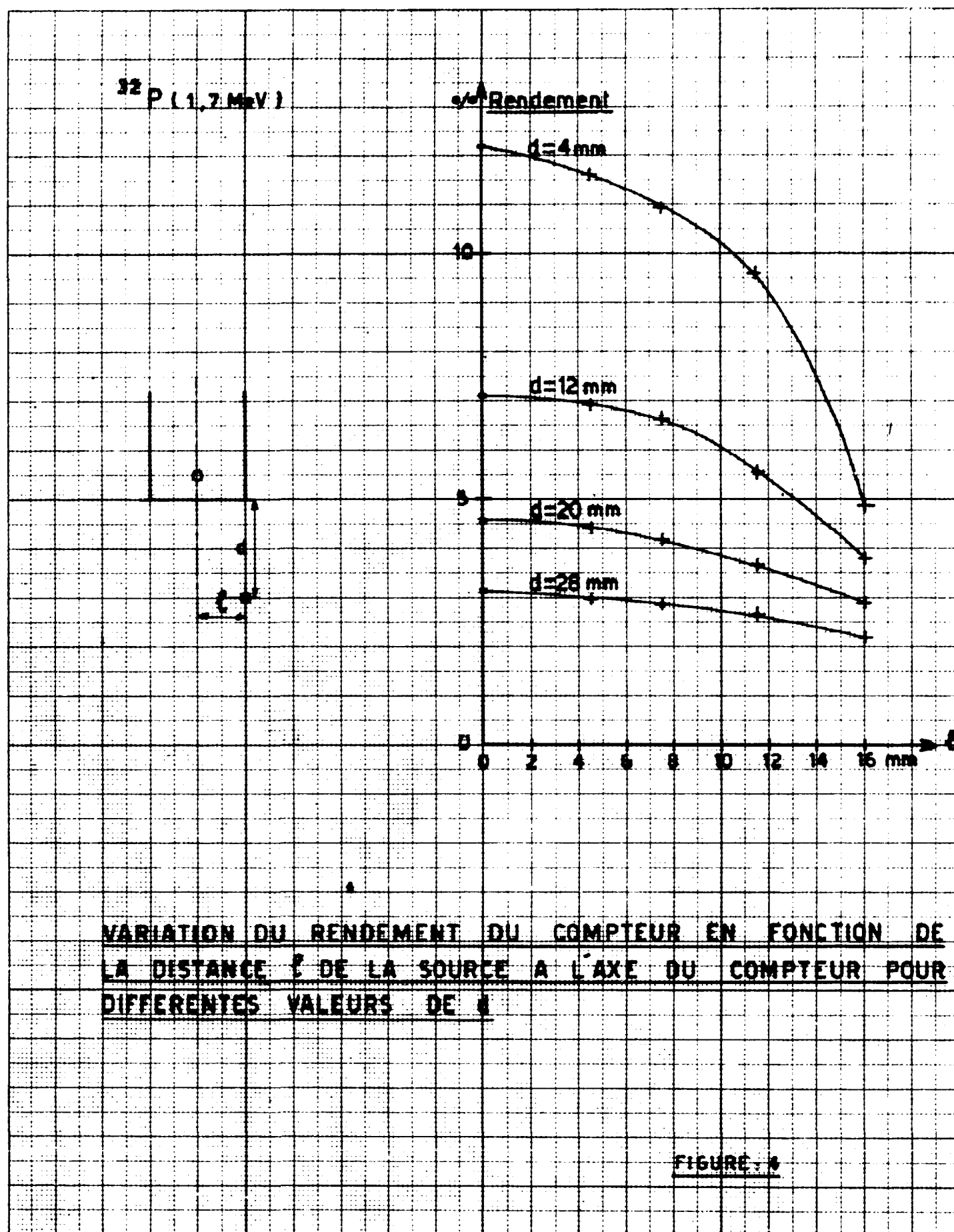




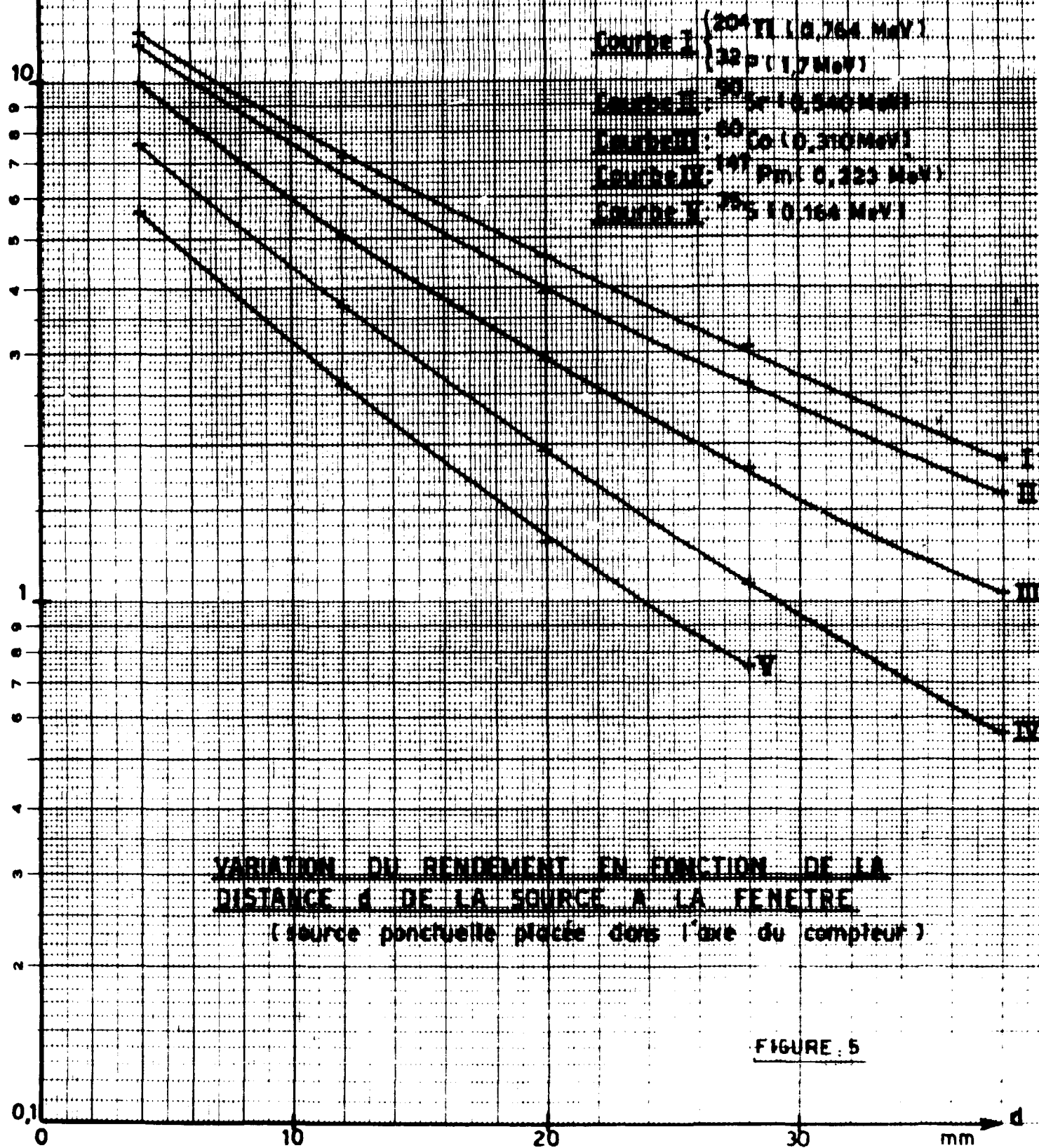
VARIATION DU RENDEMENT DU COMPTEUR EN FONCTION DE LA DISTANCE x DE LA SOURCE A L'AXE DU COMPTEUR POUR DIFFERENTES VALEURS DE r

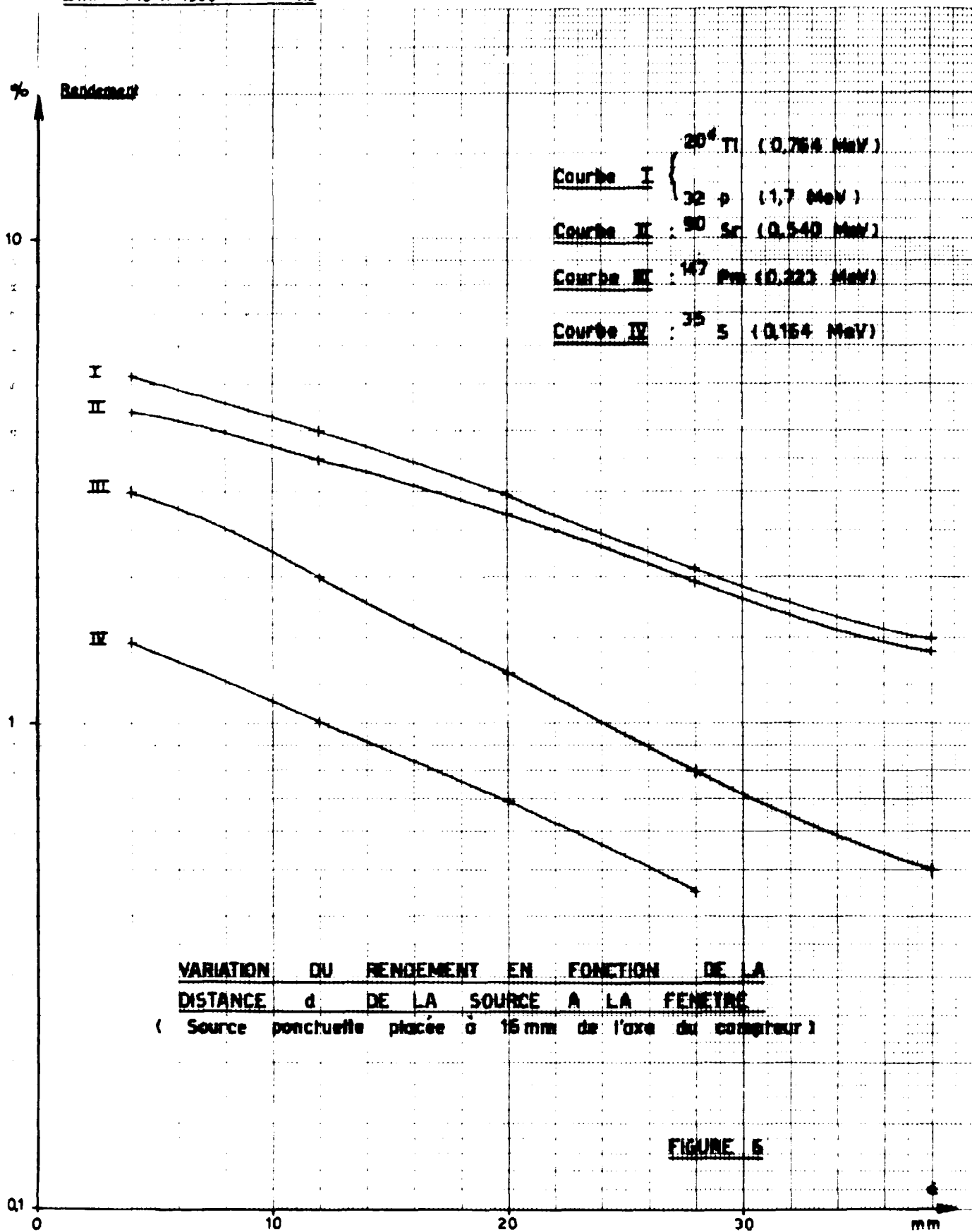
FIGURE - 2



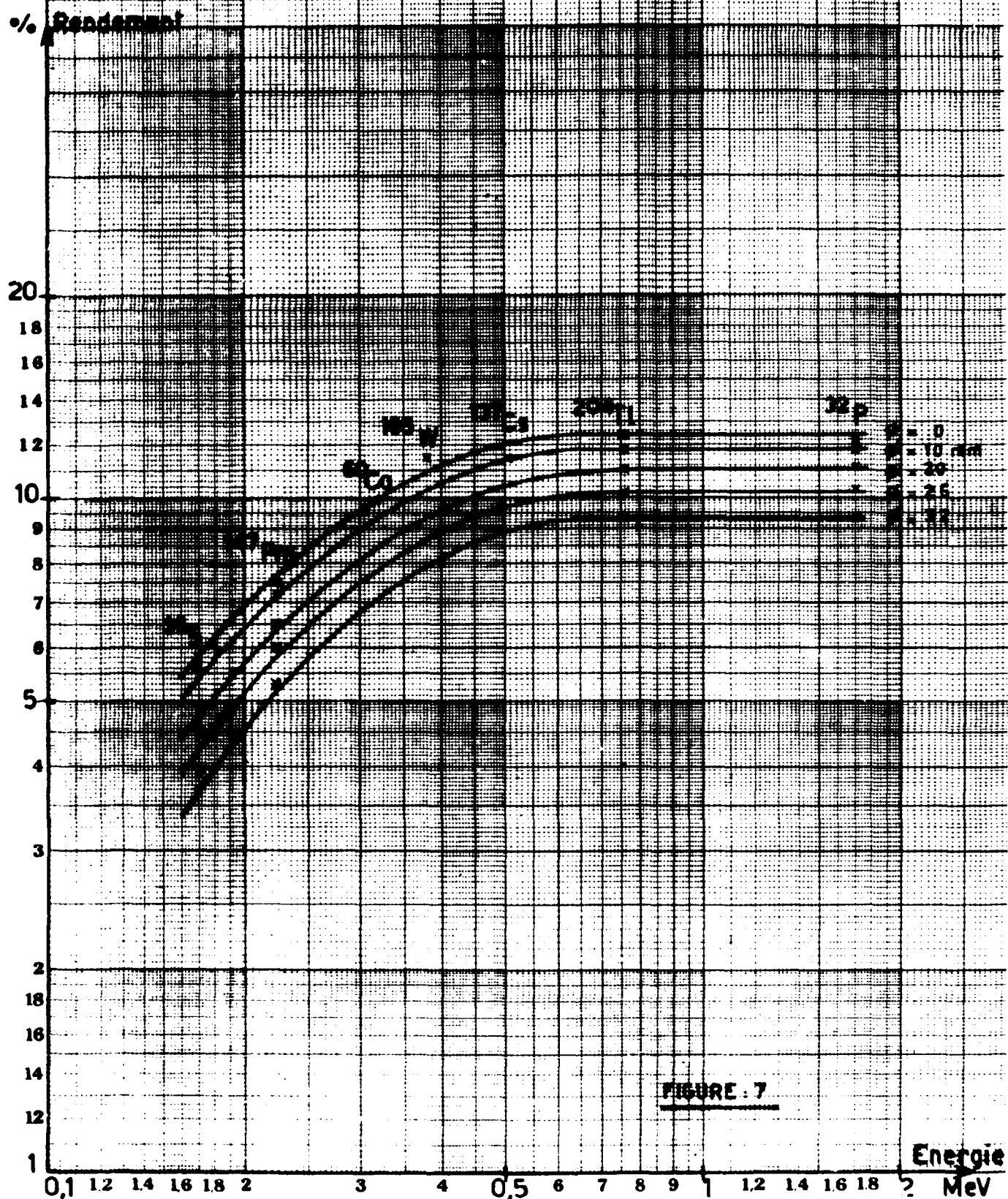


% Rendement





RENDMENT DU COMPTEUR EN FONCTION DE
L'ENERGIE POUR UNE SOURCE DIAMETRE 2
SITUÉE A 4mm DE LA FENÊTRE



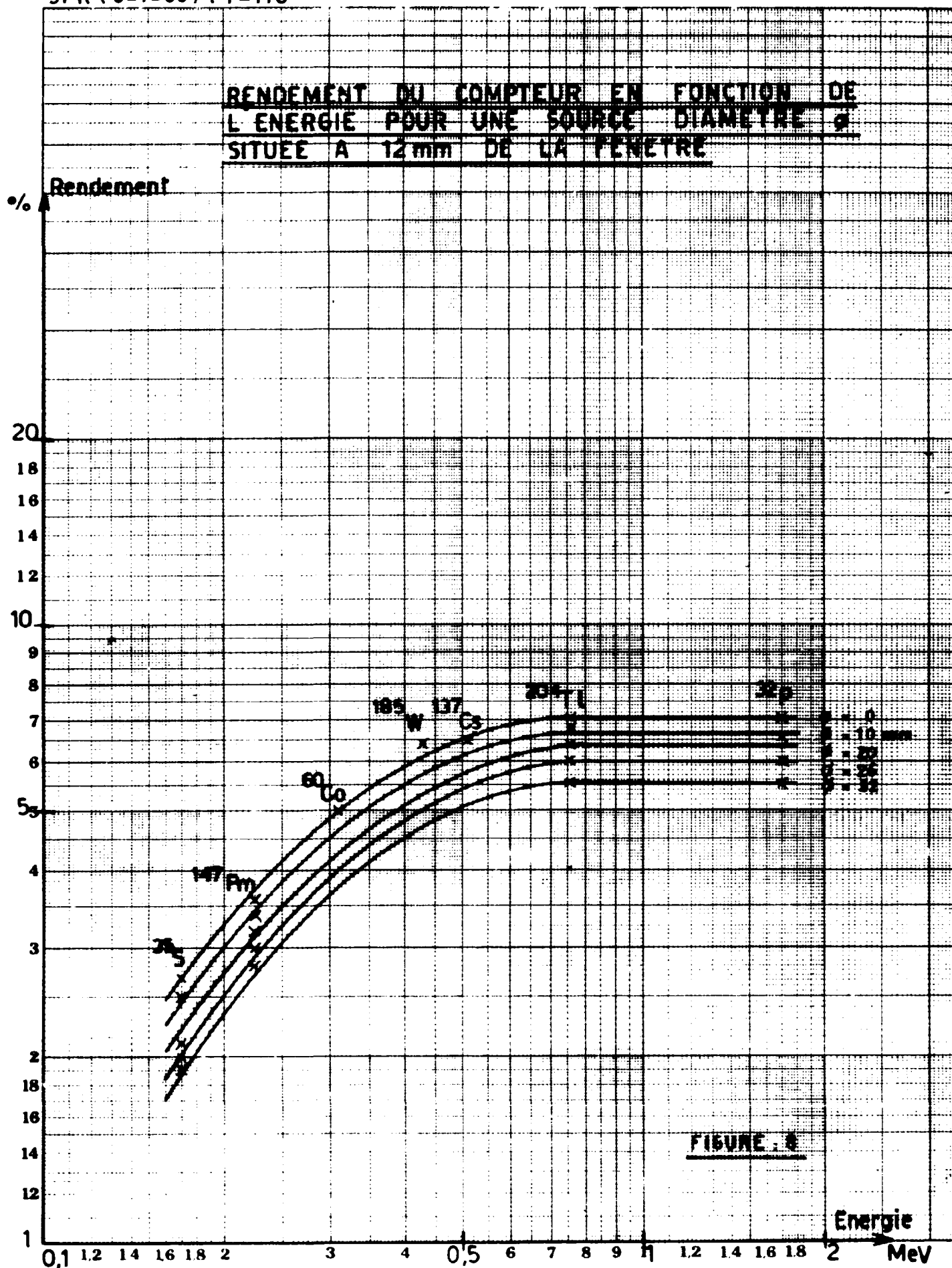
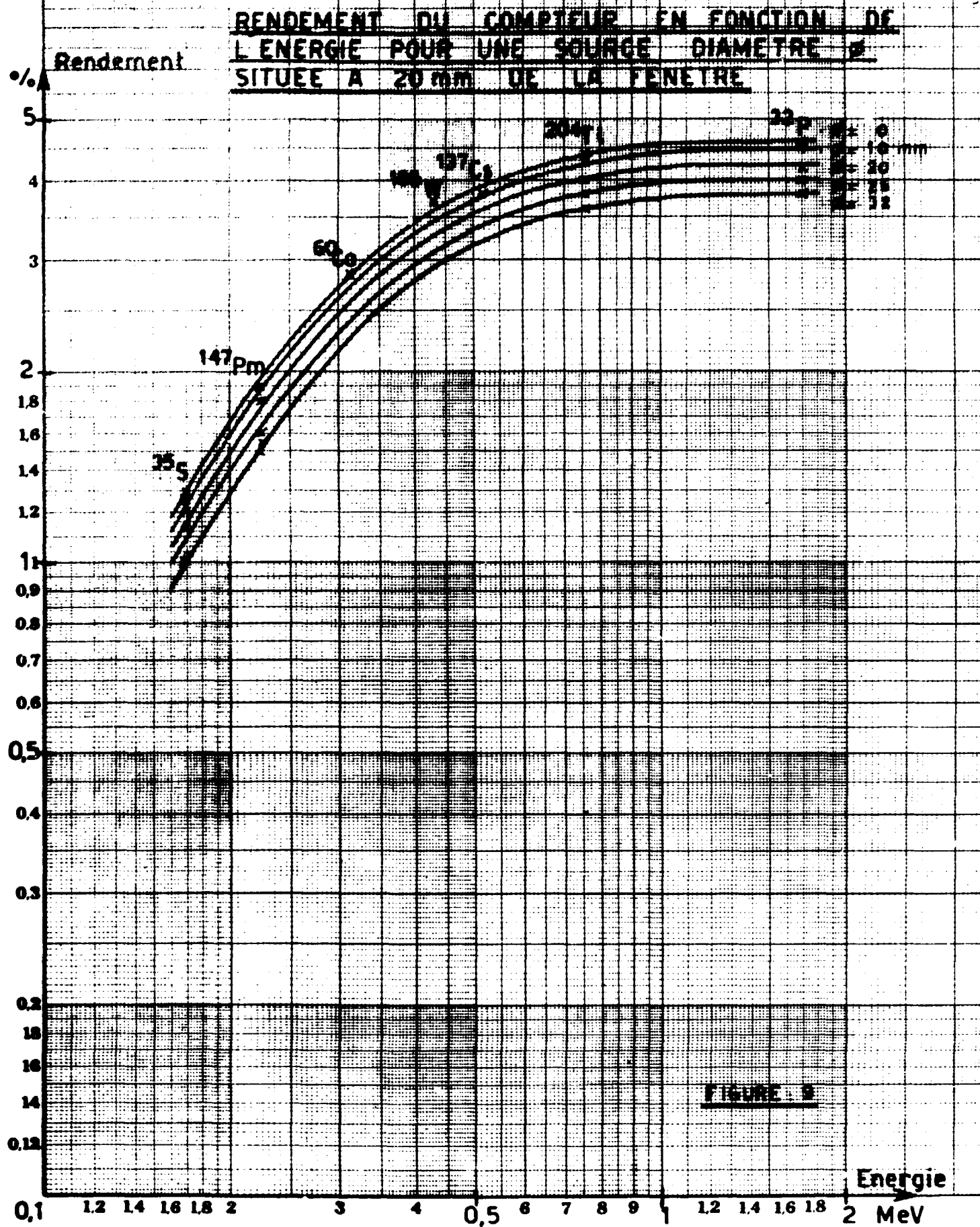
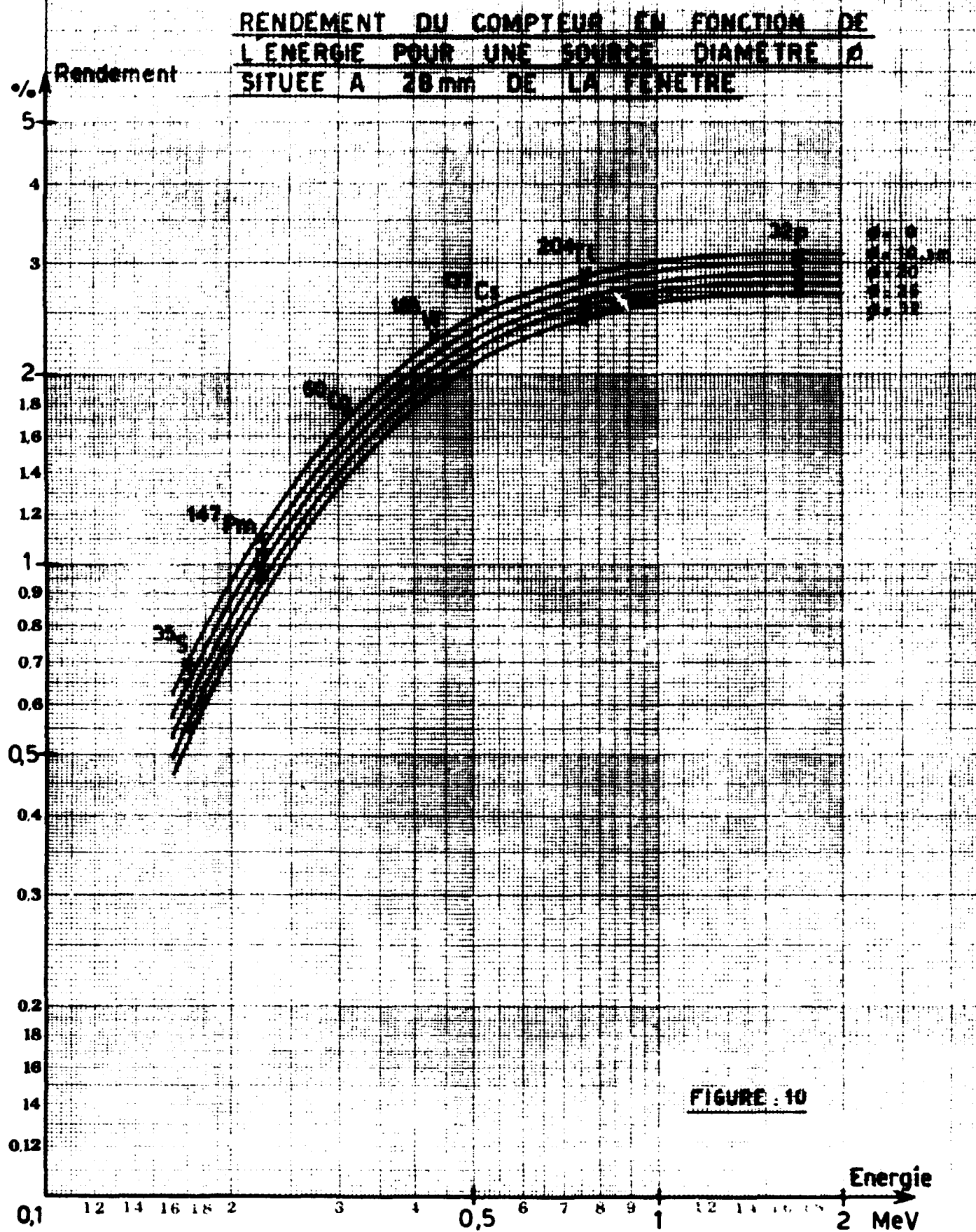


FIGURE 8





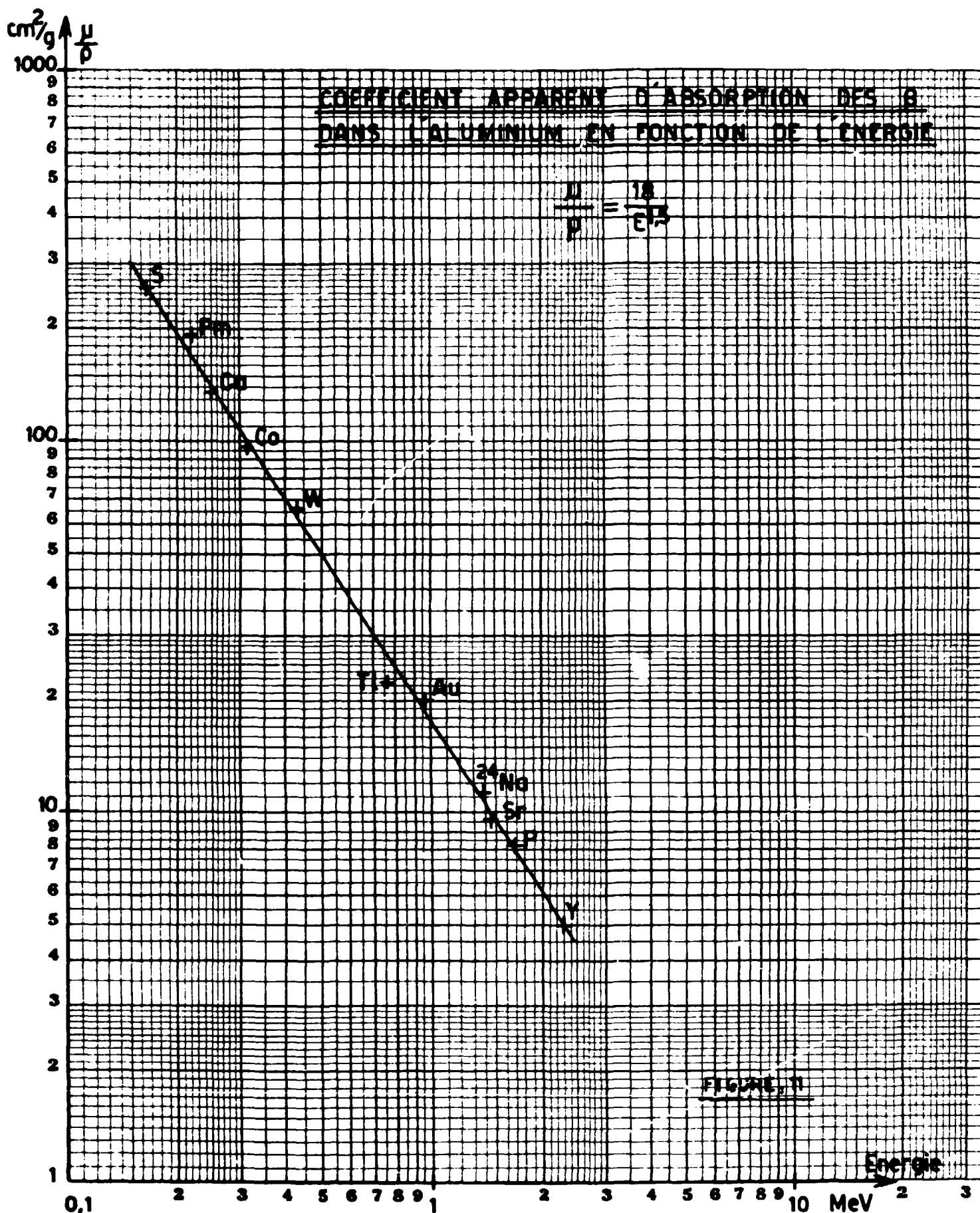


FIGURE 11

FIN