

Caractéristiques du montage optique d'un scintillateur

Yves Koechlin

► **To cite this version:**

Yves Koechlin. Caractéristiques du montage optique d'un scintillateur. *J. Phys. Radium*, 1955, 16 (11), pp.849-853. <10.1051/jphysrad:019550016011084900>. <jpa-00235281>

HAL Id: jpa-00235281

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00235281>

Submitted on 1 Jan 1955

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CARACTÉRISTIQUES DU MONTAGE OPTIQUE D'UN SCINTILLATEUR

Par YVES KOECHLIN,

Service des Constructions électriques,
Centre d'Étude nucléaire de Saclay, Gif-sur-Yvette.

Sommaire. — Le problème du couplage optique d'un scintillateur sur un photomultiplicateur (P. M.) est étudié. On a cherché en particulier à déterminer dans quelle mesure la proportion p de lumière d'une scintillation, qui atteint la photocathode du P. M., dépend de la nature du revêtement du scintillateur, de la forme de ce dernier et de l'endroit où se produit la scintillation dans le scintillateur.

Introduction. — On sait que le scintillateur et le photomultiplicateur (P. M.) constituent les deux parties essentielles du détecteur à scintillations [1]. Or, la réalisation de ce dernier impose non seulement l'étude des problèmes relatifs à chacun de ces deux éléments, mais encore la mise au point du montage optique du scintillateur sur le P. M., montage particulièrement délicat lorsque le détecteur à scintillations est utilisé dans le but de tracer le spectre énergétique des particules qu'il détecte. L'étude de quelques aspects de ce problème a été abordé et les résultats en sont résumés ici.

1. Fonctionnement du détecteur à scintillations. — Lorsqu'une particule chargée perd une énergie E le long de son parcours dans le scintillateur, il apparaît à l'anode du P. M. une impulsion de charge Q , reliée à E par la relation suivante [1] :

$$Q = E r p \gamma \sigma^m, \quad (1)$$

dans laquelle r est le rapport $\frac{N}{E}$, N étant le nombre de photons lumineux produits dans le scintillateur par la particule d'énergie E ; p la proportion de ces N photons qui atteint la photocathode du P. M.; γ le rendement quantique de celle-ci et σ le coefficient d'émission secondaire des m dynodes du P. M.. Q est affecté de fluctuations statistiques [2], [3], introduites par r , γ et σ et l'on peut écrire la relation (2) qui donne l'écart quadratique moyen relatif

$$\frac{\overline{\Delta Q^2}}{Q^2} = \frac{1}{N} + \frac{1}{\gamma p N} + \frac{1}{\sigma \gamma p N} + \frac{1}{\sigma^2 \gamma p N} + \dots + \frac{1}{\sigma^m \gamma p N}. \quad (2)$$

Dans les deux formules précédentes, les quatre grandeurs r , γ , σ et p jouent un rôle distinct. Alors que les trois premières dépendent uniquement de la nature du scintillateur ou du P. M., la grandeur p est déterminée essentiellement par les conditions optiques du montage du scintillateur sur le P. M. Nous ne nous occuperons dans ce qui suit que de p , en admettant que les trois autres grandeurs ont déjà fait l'objet de réglages appropriés. Dans le cas où le détecteur à scintillations doit fournir des renseignements précis sur l'énergie des particules qu'il détecte, il doit répondre en particulier aux condi-

tions suivantes : 1° $\frac{Q}{E}$ ne doit pas varier, c'est-à-dire que p doit être constant et 2° $\frac{\overline{\Delta Q^2}}{Q^2}$ doit être aussi réduit que possible, c'est-à-dire que p doit être grand.

Autrement dit il faut faire parvenir à la photocathode du P. M. une fraction aussi grande que possible des photons émis lors d'une scintillation et rendre cette fraction indépendante du lieu où cette scintillation s'est produite. La solution généralement adoptée [4] consiste à disposer sur un scintillateur parfaitement transparent un revêtement diffusant. Nous en tenant à cette solution, nous avons cherché à déterminer dans quelle mesure p était fonction de la nature du pigment diffusant, de la forme du scintillateur, et de l'endroit où se fait la scintillation dans ce dernier.

2. Comparaison de pigments diffusants. — Cette comparaison porte sur les propriétés diffu-

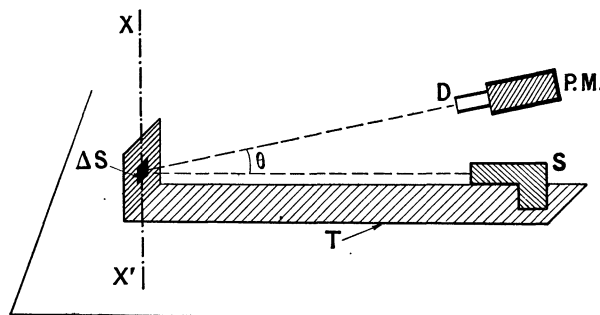


Fig. 1 — Appareillage pour la comparaison de pigments diffusants.

Un pinceau de lumière bleue est fourni par S, et tombe perpendiculairement sur le centre de la surface à étudier ΔS . Cette surface est fixée ainsi que S, à un bâti T qui peut tourner autour d'un axe XX' passant par le centre de ΔS . La photocathode d'un P. M. 931 A-R. C. A. reçoit la lumière renvoyée par ΔS dans un angle solide $\Delta\Omega$ délimité par un diaphragme D. On peut faire varier l'angle θ que fait le faisceau incident avec le faisceau réfléchi intercepté par le P. M. L'ensemble est disposé dans une enceinte noire.

santes et absorbantes de plusieurs échantillons dont le tableau I donne la liste. Le pigment à étudier est déposé sur une plaque en verre constituant une

petite surface ΔS qu'un faisceau lumineux, de longueur d'onde comprise entre 3 500 et 5 000 Å et d'intensité constante, éclaire perpendiculairement. La mesure consiste à noter le courant Δi_θ débité par un P. M. placé comme l'indique la figure 1. Ce courant est alors proportionnel à l'intensité lumineuse I_θ renvoyée par ΔS dans l'angle solide $\Delta\Omega$ et dans la direction faisant l'angle θ avec le faisceau incident.

TABLEAU I.
Pigments étudiés.

N° de référence des pigments.	Nature du pigment.
1.....	Magnésie Prolabo fixée à l'acétone
2.....	Magnésie Prolabo fixée par un mélange de collodion et d'acétate d'amyle
3.....	Magnésie Prolabo fixée par du polystyrène dissous
4.....	Magnésie déposée par combustion de magnésium
5.....	Alumine fixée à l'alcool
6.....	Sulfate de zinc fixé à l'acétone
7.....	Carbonate de plomb fixé à l'alcool
8.....	Carton bristol blanc

a. *Propriétés diffusantes.* — Les résultats groupés dans le tableau II permettent de tracer l'indicatrice (1) de ΔS relative à chaque pigment, et de comparer ainsi leur propriétés diffusantes.

Nous avons trouvé que ces indicatrices suivent pratiquement la loi en $\cos \theta$ et nous avons représenté sur la figure 2 celle correspondant au pigment 1 (référence du tableau I).

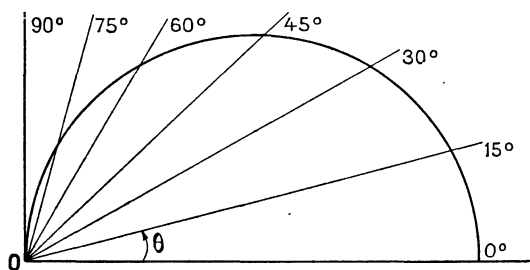


Fig. 2. — Indicatrice du pigment 1 (Référence du tableau I).

Représentation en coordonnées polaires du courant Δi_θ en fonction de l'angle θ . 1 cm correspond à 10^{-7} A.

b. *Propriétés absorbantes.* — Les pigments diffèrent cependant les uns des autres par leur absorption A définie par l'expression (3)

$$A = 1 - \frac{\Phi}{\Phi_1}, \quad (3)$$

(1) On porte dans chaque direction, à partir de ΔS , un vecteur de longueur proportionnelle à l'intensité I correspondante. Le lieu des extrémités de ces vecteurs est par définition l'indicatrice d'émission de ΔS .

dans laquelle Φ est le flux renvoyé par la surface ΔS dans un angle solide 2π , lorsque cette dernière reçoit le flux incident Φ_1 (fig. 1). Φ est l'intégrale de l'expression (4)

$$\Delta\Phi_\theta = 2\pi I_\theta \sin \theta \Delta\theta, \quad (4)$$

où le produit $I_\theta \Delta\theta$ représente le flux renvoyé par ΔS dans l'angle solide délimité par les deux cônes d'ouverture θ et $(\theta + \Delta\theta)$. En admettant que le

TABLEAU II.

Courant débité par le P. M. en 10^{-7} A.

θ° , N°...	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
0....	20	19	19	18	20	18,7	19	19,5
15....	19,5	18,2	18,5	17,5	18,7	17,5	18,2	16,5
30....	17,5	16	16,2	15,5	16,7	15,2	16	13,7
45....	13,8	12,7	12,7	12,5	13,2	11,7	13	11,7
60....	9	9	9	9	9	8,5	9	7,5
75....	4,7	4,5	4,5	4,7	4,7	4,2	4,5	3,7
90....	1	1	1	1	0,7	0,5	1	1

carbonate de plomb fixé à l'alcool présente une absorption A de 12 pour 100 environ (2), nous avons calculé par comparaison les valeurs de A correspondant aux autres pigments, à l'aide des valeurs du tableau II et des expressions (3) et (4).

Les valeurs de A ainsi calculées sont groupées dans le tableau III.

TABLEAU III.

Absorption A des différents pigments.

N° de référence des pigments...	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
A (pour 100)....	7	12	12	13	10	18	12	15

c. *Influence de A sur p .* — Considérons une scintillation qui se produit dans un scintillateur à parois diffusantes (fig. 3). Une fraction α_0 de la lumière émise tombe directement sur la photocathode du P. M. tandis que le reste est envoyé sur les parois

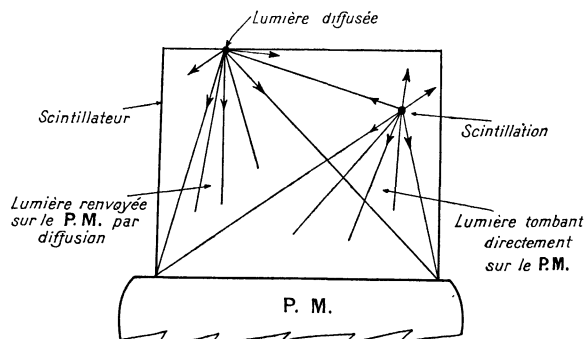


Fig. 3. — Cheminement de la lumière dans un scintillateur.

(2) Valeur tirée du *Handbook of Chemistry and Physics*, 33° édit., p. 2451.

du scintillateur. Celles-ci absorbent une partie A et rediffusent le reste $(1-A)$, en partie sur la photocathode, et en partie sur les parois. Ce processus recommence jusqu'à la disparition des photons qui sont ainsi absorbés peu à peu par la photocathode et les parois du scintillateur. On peut admettre que la fraction de lumière $\alpha(1-A)$ renvoyée par l'ensemble des parois diffusantes sur la photocathode est la même à chaque processus, ce qui permet de calculer la relation (5) donnant p en fonction de A :

$$p = \alpha_0 + \frac{1 - \alpha_0}{1 + \frac{A}{\alpha(1-A)}} \quad (5)$$

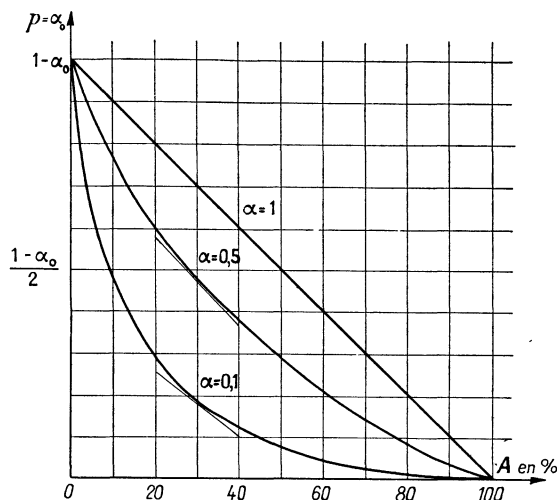


Fig. 4. — Représentation de la fonction $f(A) = p - \alpha_0$.

La figure 4 représente la fonction $f(A) = p - \alpha_0$ avec α comme paramètre.

On voit que pour les valeurs de A groupées dans le tableau III, les variations de p par rapport à A deviennent importantes si α est petit.

3. Influence de la forme du scintillateur et

du lieu de la scintillation. — Afin de déterminer les variations de la grandeur P en fonction du lieu où la scintillation se produit dans le scintillateur, nous avons réalisé les mesures suivantes : on note le courant débité par une cellule photoélectrique, au-dessus de laquelle est placée une source lumineuse suffisamment ponctuelle et qui figure une scintillation. Autour de l'ensemble source-cellule est disposé un diffuseur constitué par une forme creuse recouverte intérieurement de lait de magnésie, et représentant les parois du scintillateur. Les mesures se font en fonction de la position de la lampe, à l'aide de l'appareillage décrit dans la légende de la figure 5.

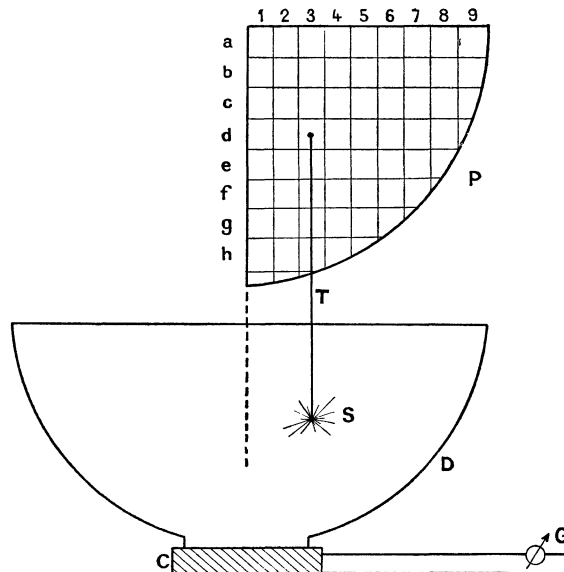


Fig. 5. — Appareillage pour l'étude de diffuseurs. La source de lumière S est un néon alimenté à travers 75 kΩ par une tension de 100 V. Elle est fixée à une tige verticale T dont l'extrémité est maintenue sur un panneau vertical P. Les positions de la source S dans l'enceinte diffusante D sont repérées sur ce dernier à l'aide d'un quadrillage. La verticale 1 est située dans l'axe de symétrie des diffuseurs. Le courant débité par la cellule C est lu sur un galvanomètre G.

Hémisphère									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	100	94	97	94	94	92	92	91	90
b	101	96	100	96	97	96	94	94	90
c	101	97	103	99	99	96	96		
d	104	101	106	100	100	97	94		
e	110	104	110	101	101	101	99		
f	121	112	116	108	104	100			
g	137	127	125	108	106				
h	167	103	125	116					

Cône						
	1	2	3	4	5	6
a	100	93	98	90	93	90
b	100	95	100	93	95	
c	106	100	95	95	98	
d	110	108	110	100		
e	120	120	120	112		
f	140	145	135			
g	200	185				

Cylindre				
	1	2	3	4
a	100	99	99	95
b	107	107	106	102
c	116	116	116	114
d	125	125	124	114
e	139	139	137	125
f	150	148	146	134
g	173	164	141	134

Fig. 6. — Résultats des mesures obtenues avec différents diffuseurs.

On a représenté dans chaque cas le panneau P de la figure 5. Les valeurs qui figurent dans les cases correspondent au courant de la cellule, rapportée à la valeur 100 pour la case 1 a.

Nous avons choisi trois diffuseurs de forme simple : hémisphérique, conique et cylindrique. Les résultats des mesures sont groupés dans la figure 6, et nous en avons tiré les courbes de la figure 7, qui permettent de comparer les diffuseurs entre eux. On voit que les trois diffuseurs présentent des caractéristiques analogues, et que les variations de p sont très atténuées. En effet p ne varie que d'un facteur 2 lorsque S passe des positions 1a à 1g, alors que sans diffuseur il varierait d'un facteur 16.

4. Application à différents scintillateurs usuels et à un conduit de lumière. — La méthode de mesure employée dans cette étude ne permet pas de tenir compte de l'indice de réfraction du scintillateur non plus que de son pouvoir absorbant vis-à-vis de la lumière émise par les scintillations qui s'y produisent. Cette lumière ne peut s'échapper librement du scintillateur par suite des réflexions totales qu'elle subit au niveau des surfaces de séparation entre le scintillateur et le milieu extérieur à lui, quand celui-ci est d'indice plus faible. Nous avons donc résumé dans le tableau IV quelques

TABLEAU IV.

Caractéristiques optiques de différents scintillateurs et du plexiglass de forme parallélépipédique.

	<i>a.</i>	<i>n.</i>	<i>f.</i> (pour 100).
Liquides fluorescents...	10 pour 100 pour 10 cm	1,5	12,7
Plastiques fluorescents..	10 pour 100 pour 10 cm	1,6	11
Na I (Tl).....	Négligeable (*)	1,77	8,7
Anthracène.....	»	1,59	11
Plexiglass.....	Inférieur à 10 pour 100 pour 10 cm	1,5	12,7

(*) Pour les dimensions réalisables actuellement.

a. Absorption pour une lumière dont la longueur d'onde est de 4 500 Å environ.

n. Indice de réfraction moyen.

f. Fraction de lumière sortant par face en contact avec l'air [5].

Nota. — La fraction f devient voisine de 100 pour 100 lorsque la face du scintillateur est en contact optique avec la face de la photocathode d'un E. M. I.-6260, dont l'indice de réfraction est de l'ordre de 1,5 (borosilicate mou).

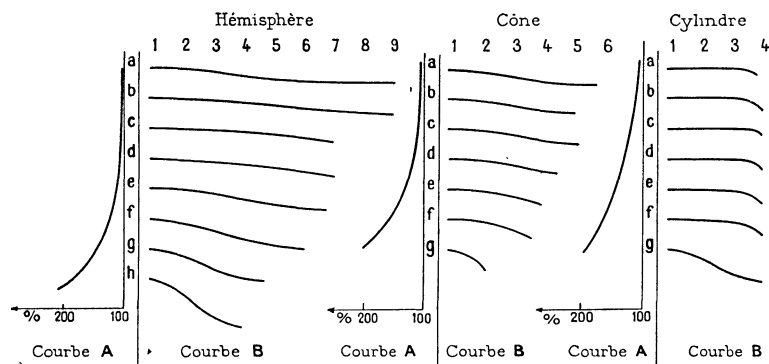


Fig. 7. — Courbes obtenues avec les résultats de la figure 6.

Les courbes A représentent les variations du courant de la cellule en fonction des positions de S sur la verticale 1; les valeurs indiquées sont celles de la figure 5. Les courbes B représentent les variations du courant de la cellule en fonction des positions de S sur chaque horizontale; les valeurs indiquées sont en pour-cent des valeurs correspondantes de la verticale 1 de la figure 5. 1 cm correspond à une variation de 20 pour 100.

données relatives aux caractéristiques optiques de différents scintillateurs usuels. Nous avons en outre mesuré la hauteur des impulsions que délivre l'anode d'un P. M. E. M. I. 6260⁽³⁾, dont la photocathode voit les scintillations provoquées par les γ du ¹³⁷Cs dans un cylindre de NaI(Tl), en fonction de différentes conditions de couplage optique avec le P. M. Le tableau V groupe les résultats de ces mesures.

Nous avons d'autre part déterminé les caractéristiques d'un conduit de lumière adapté au P. M. de l'Observatoire de Paris, à cathode sur le côté. Ce P. M. est en effet logé dans un boîtier étanche

(3) Le gain du P.M. était de 10⁶, la résistance d'anode de 150 kΩ, et la capacité de 50 pF environ.

TABLEAU V.

Comparaison des couplages optiques du NaI(Tl) et d'un E. M. I.-6260.

Dispositions optiques.	Amplitudes des impulsions en volts
NaI(Tl) sans revêtement et posé à sec sur la photocathode.....	1
NaI(Tl) sans revêtement et posé par l'intermédiaire d'huile silicone sur la photocathode.....	1,6
NaI(Tl) avec revêtement MgO et posé à sec sur la photocathode.....	1,4
NaI(Tl) avec revêtement MgO et posé par l'intermédiaire d'huile silicone sur la photocathode.	2,6

cylindrique et il est difficile de lui adjoindre directement un scintillateur. Nous avons donc mesuré

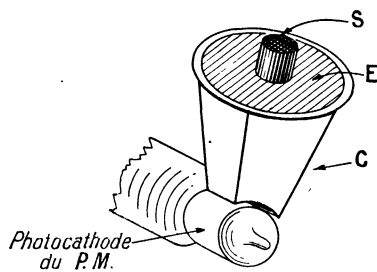


Fig. 8. — Appareillage de mesure des caractéristiques d'un conduit de lumière.

La source canalisée S (particules α) est disposée au-dessus de l'écran E au sulfure de zinc, lui-même placé contre la surface plane du conduit de lumière C. La fixation de C au P. M. est réalisée par du fluide silicone. Un galvanomètre placé dans le circuit anodique du P. M. permet la lecture du courant.

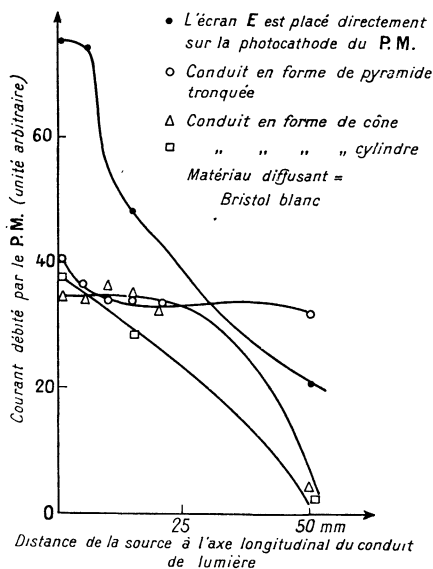


Fig. 9. — Influence de l'emplacement de la scintillation sur l'écran diffusant et de la forme du conduit de lumière.

son courant anodique lorsque sa photocathode voit une source lumineuse ponctuelle à travers le conduit étudié. Les mesures se font en fonction de l'empla-

cement de cette source, constituée par un écran de ZnS-Ag au-dessus duquel est disposée une source canalisée de particules α (fig. 8). Les courbes des figures 9 et 10 résument les résultats des mesures. La figure 9 montre que c'est en utilisant le conduit de lumière en forme de pyramide tronquée que p reste le plus constant. La figure 10 représente les courbes relatives à un conduit de lumière en plexi-

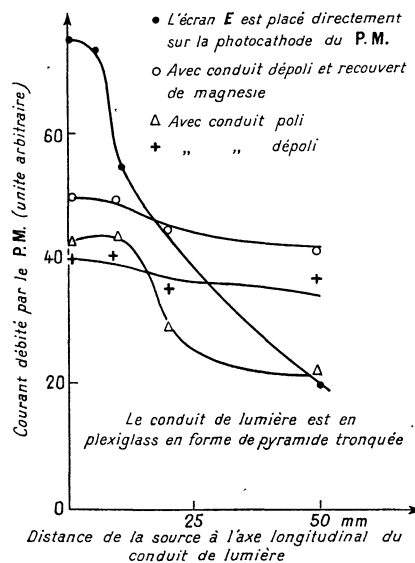


Fig. 10. — Influence de l'emplacement de la scintillation sur l'écran scintillant et de la nature de la surface diffusante.

glass, taillé en forme de pyramide tronquée et parfaitement jointif au P. M. Les résultats sont différents suivant que le conduit est poli, dépoli, ou dépoli et recouvert de magnésie.

L'ensemble de cette étude montre que le fait de recouvrir un scintillateur par un pigment diffusant permet : 1° d'augmenter d'un facteur 2 environ la proportion de lumière collectée par la photocathode du P. M.; 2° d'utiliser un scintillateur de forme quelconque, et 3° d'homogénéiser la réponse du compteur à scintillations, suivant le lieu où naît la scintillation dans le scintillateur.

Manuscrit reçu le 7 mai 1955.

BIBLIOGRAPHIE.

[1] BIRKS J. B. — Scintillation Counters, Pergamon Press, London, 1953.
 [2] MORTON G. A. — Photomultipliers for Scintillation Counting. *R. C. A. Review*, 1949, 10, n° 4.
 [3] MAIGNAN P., BLANC D. et DETÈUF J. F. — *J. Physique Rad.*, 1952, 13, 661.
 [4] HARSHAW J. A. — N.Y.O. 1577. Technical Information Service, Oak Ridge, Tennessee.
 [5] SHURCLIFF et CLARK JONES R. — *J. Opt. Soc. Amer.*, 1949, 11, 912.