

CEA-N-1944

- Note CEA-N-1944 -

INDIS
CEA

PR 770 587

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Services d'Electronique de Saclay
Service d'Electronique pour la Recherche Fondamentale
Laboratoire d'Etudes et de Détecteurs pour la Biophysique

INVESTIGATIONS CONCERNANT LA REALISATION
D'UN SCINTILLATEUR TRES LUMINEUX
A PARTIR DE XENON CONDENSE

par

Alain LANSIART, Alain SEIGNEUR,
Jean-Luc MORETTI, Jean-Pierre MORUCCI

- Décembre 1976 -

Note CEA-N-1944

DESCRIPTION-MATIERE (mots clefs extraits du thesaurus SIDON/INIS)

en français

DETECTION DU RAYONNEMENT GAMMA
DETECTEURS A SCINTILLATEUR LIQUIDE
XENON
SCINTILLATEURS LIQUIDES
SPECIFICATIONS
PERFORMANCE
RESOLUTION EN ENERGIE
GAIN

en anglais

GAMMA DETECTION
LIQUID SCINTILLATION DETECTORS
XENON
LIQUID SCINTILLATORS
SPECIFICATIONS
PERFORMANCE
ENERGY RESOLUTION
GAIN

Note CEA-N-1944 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Services d'Electronique de Saclay
Service d'Electronique pour la Recherche Fondamentale
Laboratoire d'Etudes et de Détecteurs pour la Biophysique

INVESTIGATIONS CONCERNANT LA REALISATION
D'UN SCINTILLATEUR TRES LUMINEUX
A PARTIR DE XENON CONDENSE

par

Alain LANSIART, Alain SEIGNEUR,
Jean-Luc MORETTI*, Jean-Pierre MORUCCI**

* Conseiller Scientifiques des SES/SERF - Professeur au C.H.U.
Henri Mondor à CRETEIL

** Professeur au G.B.M.-C.H.U. de RANGUEIL à TOULOUSE

CEA-N-1944 - LANSIART Alain, SEIGNEUR Alain, MORETTI Jean-Luc,
MORUCCI Jean-Pierre

INVESTIGATIONS CONCERNANT LA REALISATION D'UN SCINTILLATEUR TRES
LUMINEUX A PARTIR DU XENON CONDENSE.

Sommaire.- Nous avons étudié les moyens de produire une quantité maximale de lumière en absorbant un rayonnement gamma dans du xénon condensé. L'une de ces méthodes consiste à produire dans le xénon liquide de la lumière autour de fils portés à un potentiel de plusieurs milliers de volts. L'autre méthode utilise la vapeur saturante surmontant le xénon solide ; grâce au champ électrique, les électrons sont extraits du solide et accélérés dans la phase gazeuse où par suite de chocs inélastiques, ils provoquent une émission lumineuse.

1976

19 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-N-1944 - LANSIART Alain, SEIGNEUR Alain, MORETTI Jean-Luc,
MORUCCI Jean-Pierre

DEVELOPMENT RESEARCH ON A HIGHLY LUMINOUS CONDENSED XENON SCINTILLATOR

Summary.- The authors have investigated the means of creating a maximal amount of light by absorption of gamma radiation in condensed xenon. One of the methods relies on the light production around wires in liquid xenon when several kilovolts are applied to them. An other method uses the saturating vapour present over solid xenon ; the electric field pulls out electrons from the solid and accelerates them in the gas phase so they produce light by inelastic collisions.

1976

19 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

INVESTIGATIONS CONCERNANT LA REALISATION
D'UN SCINTILLATEUR TRES LUMINEUX A PARTIR
DE XENON CONDENSE

INTRODUCTION :

Le xénon solide a un pouvoir d'arrêt des rayons gammas très voisin de celui de l'iodure de sodium. L'effet photoélectrique est sensiblement le même dans les deux matériaux car les numéros atomiques de l'iode et du xénon sont voisins. Le xénon est un liquide bouillant à la pression atmosphérique à la température de 165 K, sa masse volumique est de 3 g/cm^3 ; il est solide à 160 K, et sa masse volumique est alors de $3,6 \text{ g/cm}^3$. La collection des charges produites dans le xénon liquide ou solide est possible en raison de la mobilité des électrons et une purification poussée permet de négliger l'attachement pour des parcours électroniques inférieurs au centimètre. Dans le xénon liquide, l'énergie moyenne d'ionisation est de 16,5 eV[1] et le facteur de Fano mesuré dans le gaz est de 0,20 [2] ; si ces deux facteurs intervenaient seuls, il serait possible d'obtenir un spectre énergé-

.../

tique ayant une largeur à mi-hauteur de 1,2 % pour le Technetium 99 m qui est un émetteur gamma de 140 Kev largement utilisé en médecine nucléaire. Certains auteurs [3] ont réalisé une caméra multifils avec du xénon liquide comme milieu détecteur. Avec des diamètres de fil compris entre 3,5 et 5 microns, nécessaires pour obtenir une bonne multiplication électronique, une largeur à mi-hauteur n'a pas été trouvée inférieure à 20 %. Ce résultat est imputé à un champ électrique hétérogène en liaison vraisemblable avec la variabilité des diamètres des fils. Aussi, pour obtenir une bonne résolution en énergie, nous avons réalisé un détecteur multifils avec du xénon liquide et des fils de diamètre plus élevé (20 et 50 microns). Avec ces fils, il se produit des micro claquages en augmentant la tension avant que la multiplication électronique soit obtenue. Dans le présent travail, nous avons fait fonctionner le détecteur à des tensions plus basses et observé la lumière produite par les états excités au voisinage des fils avec un photomultiplicateur (P.M.). La deuxième méthode est inspirée des travaux de Zaklad [3] et de Dolgesheim [4]. Ces deux équipes ont montré qu'il était possible de faire passer les électrons du xénon liquide vers le xénon gazeux. Le mélange biphasique solide-gaz présente trois caractéristiques intéressantes pour un détecteur :

- son fonctionnement est indépendant de sa position,
- une avalanche lumineuse sans multiplication électronique [2, 5, 12] en fait un scintillateur très lumineux qui peut être couplé à un tube électronique,
- l'absence de multiplication électronique évite la formation d'une charge d'espace à l'interface solide-gaz et permet ainsi des mesures spectrométriques.

LE XENON LIQUIDE. MATERIEL et METHODES :

Le détecteur et son enceinte réfrigérés sont semblables à ceux décrits par Gadenne [1]. Le détecteur est dégazé

.../...

sous vide secondaire à la température de 110° C durant 48 heures avant d'être rempli. Le xénon est de la qualité N25*, il contient 0,5 % de krypton. Pour alléger la manipulation, le xénon est purifié par une capsule d'oxysorb** retenant principalement l'oxygène et la vapeur d'eau.

Les modifications apportées au premier montage [1] sont les suivants (figure n° 1).

Le détecteur est muni vers le bas d'une fenêtre en verre. Un trou ménagé dans le polystyrène expansé permet d'insérer un conduit de lumière en plexiglas long de 60 mm. Ce conduit est monté, grâce à un joint optique, sur un photomultiplicateur*** isolé ainsi de la source de froid. Sur la cathode en forme de coupelle une source de rayonnement α (Américium 241), d'un diamètre de 3 mm est déposée au centre. Un fil tendu parallèlement à la cathode et au hublot est porté à une haute tension positive. Un écran circulaire de salicylate de sodium de 15 mm de diamètre est déposé sur le hublot et convertit la lumière ultraviolette en lumière bleue qui excite la photocathode du P.M.

RESULTATS :

Quand une particule α est émise, le P.M. perçoit successivement la scintillation produite au niveau de la cathode puis celle due aux électrons qui ont échappé à la recombinaison et à l'attachement et émettent sous un champ intense des photons à proximité du fil. Le premier signal de

* dénomination de la Société Air Liquide.

** nom de marque de MESSER GRIESHEIM GMBH 4 Düsseldorf. Homberger Strasse 12. Les matériaux de base sont le gel de silice et le trioxyde de chrome.

*** P.M. Radiotechnique 53 AVP

scintillation sert de référence pour mesurer l'autre. La mesure de la quantité de charges permet de connaître le nombre de photons produit par électron et d'estimer la quantité de lumière qui serait obtenue avec une source gamma.

Les études ont été menées en faisant varier trois paramètres : la distance b séparant le fil de la cathode, la pression P de vapeur au-dessus du liquide et le diamètre d des fils.

Cas a) : $b = 0,9$ mm ; $d = 50$ microns

A 168 K et 130 kPa, la tension maximale admissible est de 5,5 kV. Le champ sur le fil est évalué à 0,5 MV/cm. Bien qu'aucune multiplication électronique [7] ne se produise pour un tel champ, un claquage se produit entre le fil et la cathode dès qu'on augmente la tension. Suspectant ce phénomène lié à la formation de bulles, nous avons augmenté la pression, en introduisant rapidement une surpression de gaz ou en faisant varier la température.

Pour une même pression de 200 kPa, à 168 ou 180 K, la tension peut être montée à 6 kV. A 193 K et 380 kPa, la tension sans claquage est de 6,5 kV. Les résultats présentés sur la figure 2 sont obtenus à 6 kV. Une grande dispersion du temps d'apparition de la deuxième scintillation est visible : 360 ns pour les plus rapides, 900 ns pour les plus lentes. Cette dispersion est due aux dimensions de la source α .

Si nous appelons respectivement V_c la tension et E_c le champ électrique sur le fil pour lesquels la deuxième scintillation commence à être perçue, le travail fourni à un électron par le champ à partir de E_c est :

$$\Delta V = \int_x^{d/2} - E dx = \frac{V}{\log \frac{4b}{d}} \log \frac{V}{V_c}$$

.../...

Avec : $V_c = 4$ kV, $E_c = 0,37$ MV/cm, $V = 6$ KV, $\Delta V = 560$ V.

Cas b) : $b = 4,1$ mm ; $d = 50$ microns

A 13 kV, les impulsions provenant du fil sont mieux groupées (figure 3 l'échelle des temps est multipliée par 2,5 par rapport au diagramme précédent).

Avec $V_c = 10$ kV et $E_c = 0,69$ MV/cm pour $V = 13$ kV, $\Delta V = 580$ V. Les claquages commencent vers 18 kV à la température de 189 k (pression 360 kPa) soit encore pour un champ sur le fil de 1,25 MV/cm.

A 17 kV, on constate une saturation de la lumière émise au voisinage des fils sur la figure 4. Les impulsions les plus grandes valent 2 fois celles de la scintillation cathodique au lieu de 1,6 fois à 13 kV.

Cas c) : $b = 4,1$ mm ; $d = 20$ microns

A 8 kV, avec $V_c = 5$ kV, $E_c = 0,75$ MV/cm, $\Delta V = 560$ volts. Les claquages apparaissent vers 10kV pour $T = 89$ k et $P = 320$ kPa. Les impulsions en provenance du fil sont mieux groupées en amplitude (figure 5).

A partir des résultats a,b,c, deux constatations sont à énoncer :

- l'éloignement du fil par rapport à la cathode permet d'atteindre sans claquage des champs plus importants sur le fil,
- la diminution du diamètre du fil permet d'obtenir une même quantité de lumière pour une tension plus faible.

ESTIMATION DES RESULTATS EN RAYONNEMENT GAMMA :

Les mesures effectuées avec les particules α de l'Amercium 241 permettent une extrapolation estimative des

.../...

résultats qui seraient obtenus avec des rayons γ .

Une particule α produit une ionisation initiale qui disparaît en grande partie par recombinaison. Cet effet diminue avec l'augmentation de la valeur du champ. Pour un champ supposé infini, le nombre de charges produit par une particule α serait le même que celui produit par un rayon γ de même énergie et totalement absorbé.

La courbe reliant l'inverse du nombre maximum de charges reçues et l'inverse du champ maximum est représentée sur la figure 6. Le point A en champ infini est calculé en prenant 16,5 eV comme énergie moyenne de création d'un électron. En joignant ce point aux derniers points de mesure, on trace une droite. Ceci permet d'effectuer une extrapolation pour a, b, c. Les mesures en collection de charge indiquées sur la courbe vont respectivement jusqu'à 5,5 - 12 et 6 KV. Celles qui sont faites en collection de lumière avec le P.M. vont respectivement jusqu'à 6 - 17 et 9 kV. Les mesures de charge ne sont en effet plus possibles en raison des micro-claquages à partir d'une certaine tension alors que les mesures avec le P.M. le sont encore. On peut calculer ensuite le rapport entre le nombre de charges produit par un champ tendant vers l'infini et celui fourni par extrapolation. Il est alors possible d'estimer l'amplitude du signal qui serait obtenu avec un photon gamma. En divisant le résultat par l'amplitude du signal provenant de la cathode, on obtient le gain en lumière (G) dû au champ électrique. Le tableau I donne pour quelques tensions les résultats dans les trois cas a, b, et c.

.../...

a)		b)		c)	
V	G	V	G	V	G
6 kV	7,2	13 kV	9,4	8 kV	13
		17 kV	9,4	9 kV	14,5

Les résultats les plus intéressants sont ceux du cas c correspondant à la distance fil cathode la plus grande et à un petit diamètre de fil.

DISCUSSION :

Le champ maximum sur la cathode utilisé pour le calcul est : $E = - \frac{V}{\log \frac{4b}{a}} \cdot \frac{2}{b}$.

Il correspond au champ au centre de la source en supposant que celui-ci est donné uniquement par le fil. Cette approximation semble correcte pour $b = 0,9$ mm. Nous avons représenté en tireté les mesures de Konno et als prises dans la figure 6 de la référence 8. Elles nous paraissent en bon accord avec nos mesures. Toutefois, lorsque $b = 4,1$ mm, la formule ci-dessus donnant le champ sur la cathode n'est plus utilisable. En effet, le fil est soudé sur un anneau cuivre de 13 mm de diamètre intérieur dont l'influence ne peut être négligée. Dans ce cas, on se sert de la courbe précédente pour estimer le champ à partir de la mesure de charge pour la tension appliquée la plus faible. On reporte sur le graphique les autres points de mesure (figurés par des croix figure 6). On constate une bonne concordance avec les mesures obtenues pour $b = 0,9$ mm.

.../...

L'estimation du nombre de photons produits au voisinage du fil est difficile. Le fil fait écran à la lumière qui emprunte pour une part le trajet direct vers le hublot distant du fil de 5 mm et se réfléchit pour une autre part sur la cathode en acier inoxydable dépoli. Le nombre de photon émis en scintillation dans le xénon liquide a été étudié par différents auteurs [9, 10]. Il faudrait entre 30 et 50 eV pour obtenir un photon frappant le P.M. après conversion de la lumière ultra-violette en visible avec le diphénylstilbène (D.P.S.).

MILIEU XENON SOLIDE-GAZ :

A) Matériel et méthodes :

Le précédent montage subit les modifications suivantes : le fil est supprimé ; le hublot est remplacé par un verre recouvert d'un dépôt conducteur et transparent. Le salicylate est déposé sur la cathode et une grille est plaquée dessus pour permettre l'écoulement des charges. Nous utilisons un collimateur et une source de Cobalt 60 (gammes de 1,17 et 1,33 Mev). La dimension du faisceau est de 150 x 5 mm².

Avec ce montage, on peut directement évaluer le gain en lumière G par rapport à la scintillation sans champ électrique.

B) Résultats et comparaison des milieux solide-gaz et liquide-gaz :

Le tableau II résume les résultats.

TABLEAU II

Milieu liquide-gaz		Milieu solide-gaz			
Pression en kPa :	158		67		
tension en kV	10	12	2,5	5	9
E_{gaz} en kV/cm	12,1	14,5	3,1	6,25	11,2
$E_{\text{l,s}}$ en kV/cm	6,5	7,8	1,5	3,1	5,6
G	110	290	2	10	42

Les champs électriques sont calculés en prenant pour constante diélectrique relative 1,85 pour le liquide (E_l), 2,0 pour le solide (E_s). Ces valeurs sont estimées à partir des résultats de Marcoux [11].

Le P.M. reçoit en l'absence de champ électrique 1,8 fois moins de lumière en milieu solide qu'en milieu liquide. Cette perte nous paraît provenir de l'interface solide-gaz qui est diffusante. Or, sur ce montage, la lumière provenant du salicylate doit la traverser pour atteindre le P.M.

DISCUSSION GENERALE :

Les premiers essais en liquide-gaz ont été faits avec la source α sur la cathode, une distance interélectrode de 4mm et une hauteur liquide d'environ 2 mm. Dans ces conditions on obtient seulement un gain de 1,4 pour une tension de 4 kV et un champ dans le gaz estimé à 12,9 kV/cm. La pré-

.../...

sence de charges positives dans le gaz semble être un obstacle à l'amplification lumineuse. A l'aide des courbes de Kruthoff et Penning [13], il est possible de calculer la multiplication M produite par les champs E_g du tableau I.

TABLEAU III

	Liquide-gaz			solide-gaz			
E_g en kV/cm	12,1	14,7	17*	3,1	6,25	11,2	12,5*
M	1,5	2,7	128	1	1,6	1 800	73 000

*microclaquages.

Les valeurs de M calculées dans le milieu liquide-gaz ne sont pas en contradiction avec les mesures de G, elles sont plausibles. Il n'en est pas de même dans le milieu solide-gaz. Si M valait 1 800 à 9 kV, G devrait être plus grand que 42. Le champ réel dans le gaz au-dessus du solide est plus faible que le champ calculé. Il doit être possible d'obtenir davantage de lumière en milieu solide-gaz mais cela nécessite de réaliser un solide dans de meilleures conditions de purification et en des temps plus longs. Dans les expériences que nous avons menées, la solidification était acquise en 2 h. ; le xénon était remis en bouteille le soir, ce qui évitait de prévoir des sécurités en cas de réchauffement.

CONCLUSION :

Ces résultats préliminaires confirment la validité de nos hypothèses. La quantité de lumière produite dans le xénon liquide autour de fils de 20 microns de diamètre est

.../...

suffisante pour tester la résolution en énergie. Avec un champ calculé de 1,5 kV/cm, les électrons passent du xénon solide dans le gaz. Une amplification lumineuse de 42 a été constatée. Il est raisonnable d'attendre un gain plus élevé avec un meilleur solide.

Nos expériences en cours de réalisation permettront de mesurer la résolution en énergie du détecteur xénon liquide avec des sources de rayonnement gamma collimatées d'énergie inférieure à 30 keV. Un solide de meilleure qualité pourra être produit grâce au contrôle du gradient de température et à l'utilisation d'un purificateur aux vapeurs de baryum.

R E F E R E N C E S

- [1] M.C. Gadenne et al - Nuclear Inst. and Methods 124
(1975) 521 - 526.
- [2] A.J.P.L. Policarpo et al - Nuclear Inst. and Methods 102
(1972) 337 - 348.
- [3] H. Zaklad et al - LBL 3 000
- [4] B.A. Dolgosheim et al - Sov. J. Particles Nucl. Vol. 4
n° 1 (July-Sept. 1973) 70 - 77.
- [5] H.E. Palmer, L.A. Braby - Nuclear Inst. and Methods 116
(1974) 587 - 589.
- [6] E. Durand - Electrostatique tome II - Masson
(1966) 265.
- [7] S.E. Derenzo et al. - LBL 1313
- [8] S. Konno and S. Kobayashi - Sci. Papers I.P.C.R. vol. 67
n° 2 (1973).
- [9] L. Lavoie - ANL 8080
(May 17 1973).
- [10] J.A. Northrop et al. - IRE Trans. N 55
(1958) 81-87.
- [11] J. Marcoux - Can. J. of Physics Vol. 48
(1970) 244.
- [12] J.P. Morucci - CEA - R - 3967
(1970).
- [13] L.B. Loeb - Basic processes of gaseous electronics
(1960) 687 (Univ. Ca. Press.).

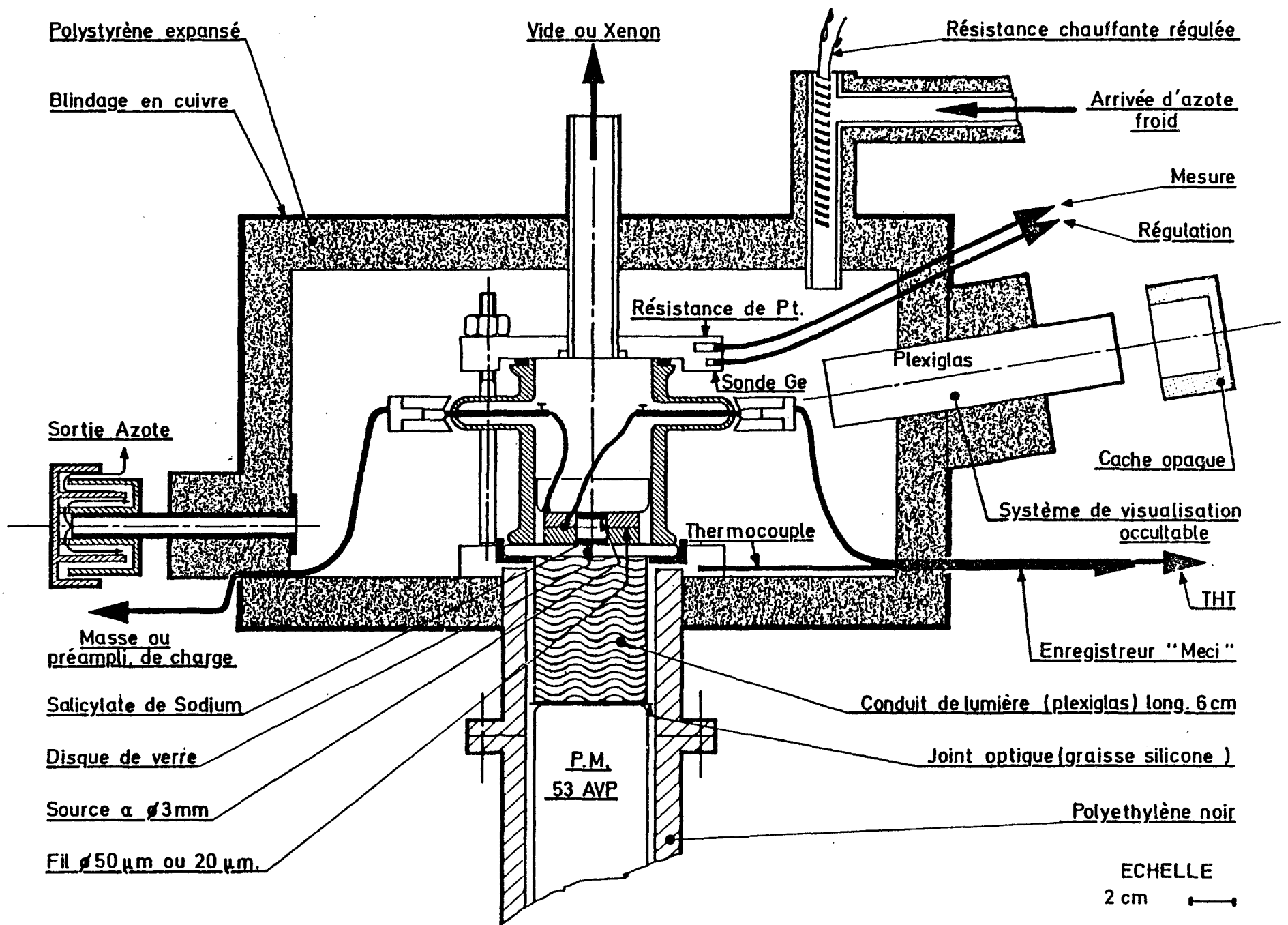


Fig:1. SCHEMA DU MONTAGE DU XENON LIQUIDE

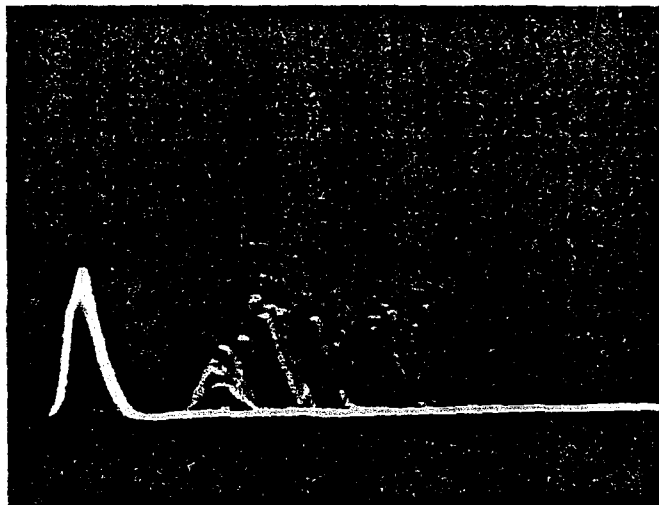


Fig:2 SIGNAL DU P.M.
 $b=0,9\text{mm}$; $\rho=25\mu\text{m}$
 $\sqrt{}=6\text{KVolts}$
Balayage horizontal = 200ns/division

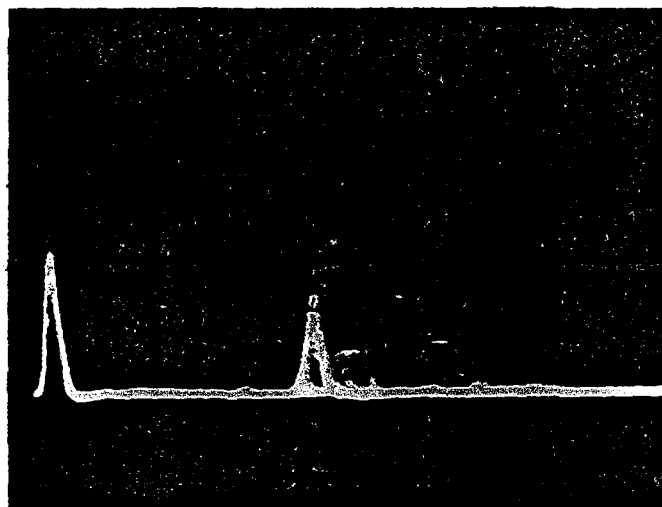


Fig:3 SIGNAL DU P.M.
 $b=4,1\text{mm}$; $\rho=2,5\mu\text{m}$
 $\sqrt{}=13\text{KVolts}$
Balayage horizontal = 500ns/division

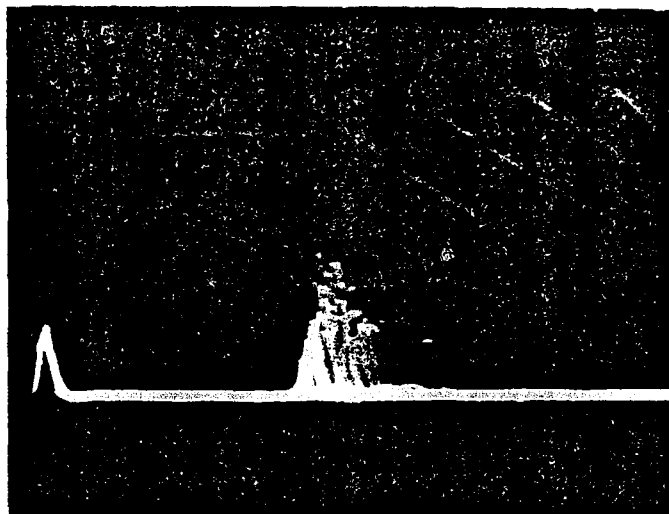


Fig:4 SIGNAL DU P.M.
 $b = 4,1\text{mm}$; $\rho = 25\ \mu\text{m}$
 $\sqrt{} = 17\ \text{KVolts}$
Balayage horizontal = 500ns/division

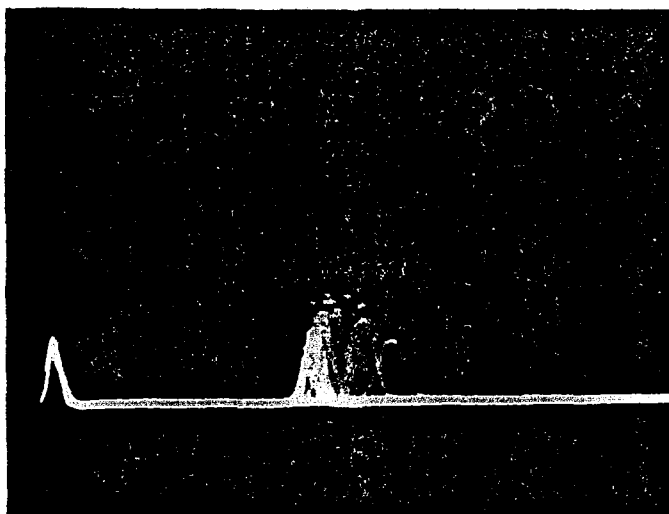


Fig:5 SIGNAL DU P.M.
 $b = 4,1\text{mm}$; $\rho = 10\ \mu\text{m}$
 $\sqrt{} = 8\ \text{KVolts}$
Balayage horizontal = 500ns/division

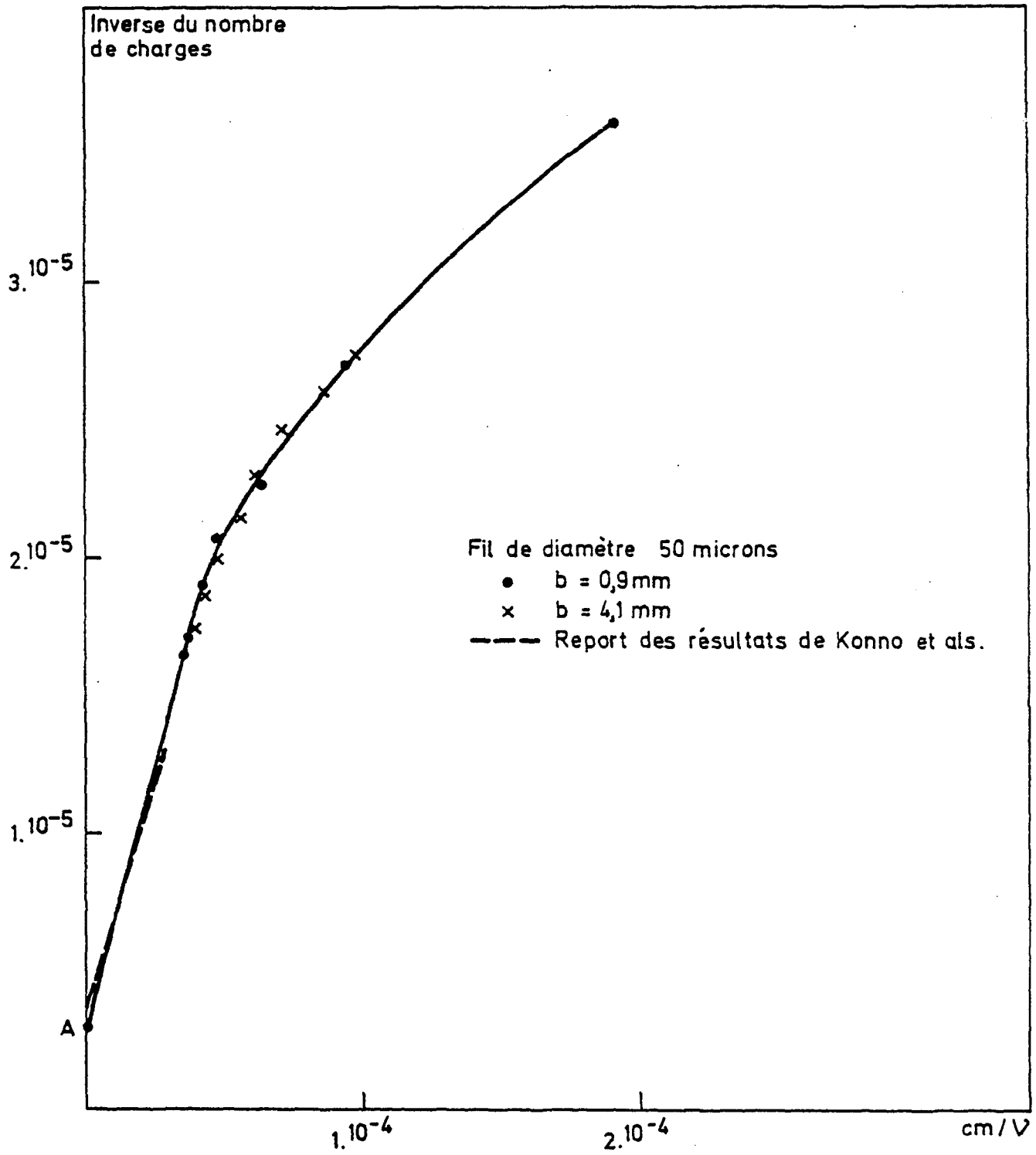


Fig:6 NOMBRE DE CHARGES EN FONCTION
DU CHAMP ELECTRIQUE

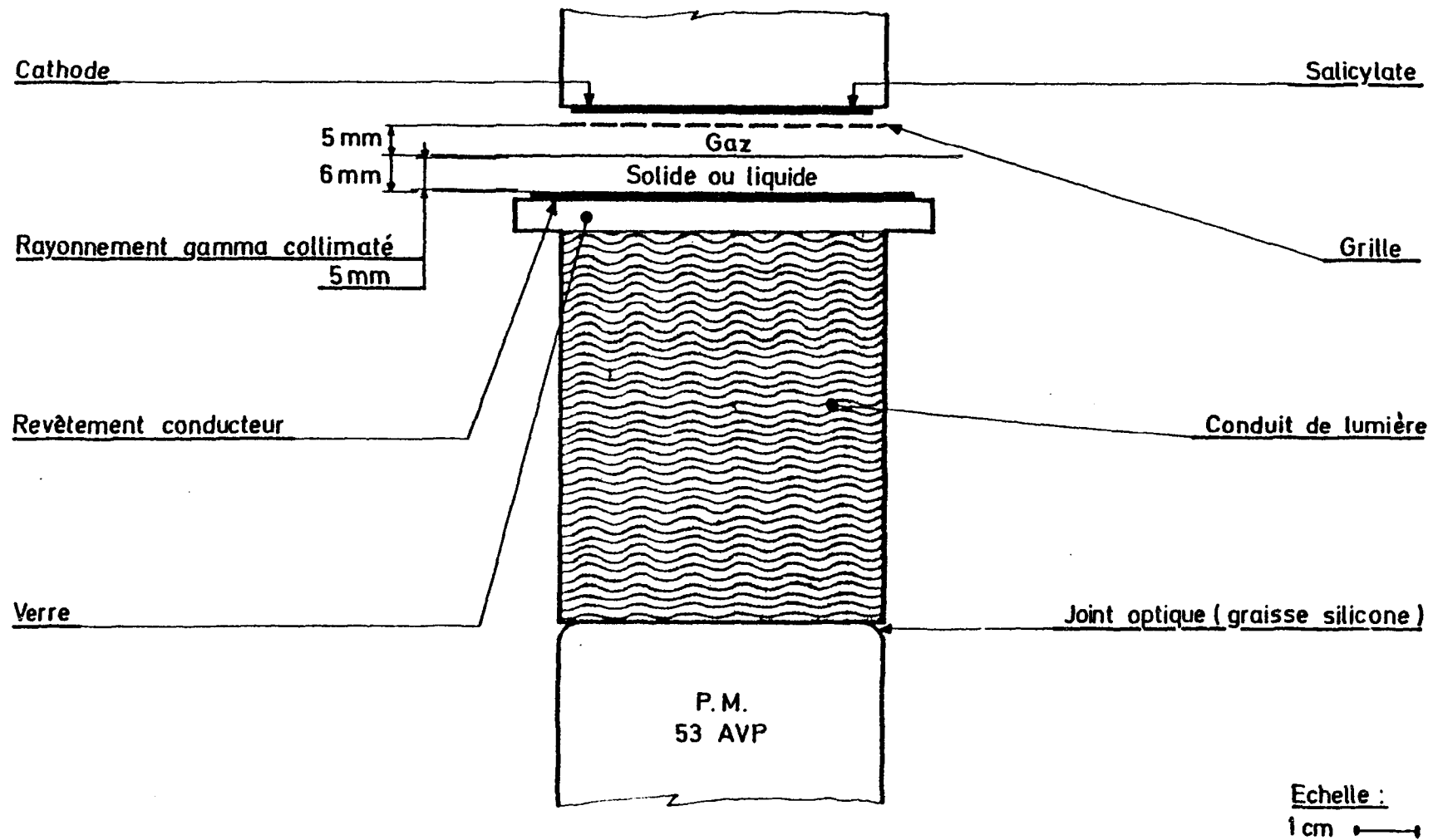


Fig:7 SCHEMA DU DETECTEUR XENON SOLIDE GAZ.

Edité par
le Service de Documentation
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Boîte Postale n° 2
91190 - Gif-sur-YVETTE (France)