

Rapport C.E.A. n° 229

Service de Physique Nucléaire

MESURES DE COINCIDENCES AVEC UTILISATION DE DETECTEURS
MESURANT L'ENERGIE DES RAYONNEMENTS
(Compteurs proportionnels et compteur à scintillations).

par

M. SARTORY

octobre 1953

ERRATA

Page	Ligne	Au lieu de	Lire
7	9	...si sa résistance est trop faible.	...si sa résistance de grille est trop forte.
8	7	(Figure 5) .	(Figure 4).
13	-1	50 g/cm ² ,	50 µg/cm ² ,
21	15	γ_K	α_K
"	-3	K/L + M	K/(L + M)
25	réf. 9)	Arkiv für Fysik	Arkiv for Fysik
"	réf. 10)	lire : B.A.P.S. <u>28</u> , 3 , complété par une communication privée.	

SOMMAIRE.

Dans le cadre de la réalisation d'une série de montages permettant des mesures de coïncidences entre rayonnements triés d'après leurs énergies, un montage comprenant un compteur proportionnel et un compteur à scintillations a été construit et mis au point. Il a été utilisé pour effectuer quelques mesures de coïncidences entre photons X_K et photons γ émis lors de la transformation radioactive du sélénium 75^K (capture électronique). L'efficacité du compteur proportionnel a été approximativement déterminée.

De plus, un compteur proportionnel d'angle solide voisin de 4π a pu être utilisé pour réaliser des mesures de coïncidences en n'effectuant qu'une sélection d'amplitudes : en effet, la simultanéité de la détection de deux rayonnements se manifeste par une impulsion dont l'amplitude est la somme des amplitudes des impulsions résultant de chacun des rayonnements étudiés. Cette méthode, appliquée aux coïncidences entre rayons X , a permis d'apporter des renseignements sur le schéma de désintégration de l'arsenic 73.

De plus, le coefficient de conversion interne d'une transition consécutive à cette désintégration a été évalué.

I. INTRODUCTION.

1.1 Nature des renseignements donnés par la méthode des coïncidences.

La méthode des coïncidences est couramment utilisée pour la détermination des schémas des transformations radioactives. Elle permet de mettre en évidence la simultanéité de l'émission de divers rayonnements dans les limites d'un temps de résolution dépendant des appareils utilisés.

Nous donnerons deux exemples :

a) le rayonnement de ^{60}Co comporte deux raies γ : l'existence de coïncidences γ - γ montre que les deux γ sont en filiation (figure 1);

b) la présence, dans le rayonnement de ^{113}Sn ($Z = 50$) (n'émettant pas de β^+) de rayons X de l'indium ($Z = 49$) et d'électrons de conversion correspondant à une transition de 390 keV convertie dans l'indium montre que cette transition est consécutive à une capture K de ^{113}Sn (figure 2). L'absence de coïncidences entre rayons X et photons de 390 keV montre que la vie moyenne de l'état excité de ^{113}In est très grande par rapport au pouvoir de résolution du circuit de coïncidences.

Dans le cas de rayonnements plus compliqués, l'existence de coïncidences peut être due à diverses filiations, et il faut identifier expérimentalement les rayonnements en coïncidence, par exemple en déterminant leurs énergies.

A l'époque où les détecteurs à impulsions utilisés étaient surtout des compteurs de Geiger-Müller (non sélectifs par rapport à l'énergie) on opérait en introduisant des écrans absorbants entre la source et ces détecteurs de sorte que seuls les rayonnements traversant ces écrans étaient susceptibles de donner lieu à une coïncidence.

Un article de MITCHELL (1) expose en détail cette méthode dont les résultats sont parfois très délicats à interpréter.

1.2 Utilisation d'appareils mesurant l'énergie.

L'utilisation de tels appareils (spectromètre β , compteur proportionnel, compteur à scintillations) permet d'obtenir des résultats plus facilement interprétables.

Le but du présent travail porte sur l'utilisation (pour des mesures de coïncidences) du compteur proportionnel (destiné à la détection de rayonnements X et d'électrons peu énergiques) et du compteur à scintillateur d'iodure de sodium (destiné à la détection des rayonnements γ).

Le dispositif de coïncidence utilisé, dont le principe est résumé par la figure 3, est fondé sur le principe suivant :

- le détecteur B est connecté à un sélecteur d'amplitudes à plusieurs canaux par l'intermédiaire d'un circuit (verrou) qui ferme l'entrée du sélecteur. Le verrou est ouvert lorsqu'une impulsion du détecteur A se produit en même temps qu'une impulsion du détecteur B ; celle-ci peut alors être enregistrée par le sélecteur d'amplitudes.

Si le détecteur A n'enregistre qu'un des rayonnements émis par la source, le sélecteur donnera le spectre d'amplitudes dû au rayonnement en coïncidence avec celui qui est enregistré par A. Le principe de ce dispositif est exposé dans (2). L'appareil utilisé sera décrit en détail par ailleurs (3).

La figure 5 en donne un schéma de principe .

2. DESCRIPTION DU MONTAGE DE COINCIDENCES ENTRE UN COMPTEUR PROPORTIONNEL ET UN COMPTEUR A SCINTILLATIONS.

2.1 Schéma d'ensemble.

Ce montage comprend 3 parties distinctes :

- le compteur proportionnel
- le compteur à scintillations et son boîtier
- un ensemble de pièces intermédiaires permettant de raccorder ces deux constituants principaux du montage.

Ces trois parties ont été représentées séparément et en coupe sur le schéma d'ensemble (figure 4).

La coque du compteur proportionnel est portée à la haute tension négative qui peut varier de 1500 à 2300 volts, suivant la pression de remplissage. Le boîtier du compteur à scintillations est à la masse. Par conséquent, il est nécessaire d'isoler soigneusement ces deux pièces : c'est pourquoi les pièces intermédiaires sont constituées par une matière isolante.

Cette matière, qui doit aussi être opaque afin de protéger le photomultiplicateur de la lumière, est du céloron.

2.2 Compteur proportionnel.

2.2.1 Construction. Il a été construit en laiton à cause de la facilité avec laquelle ce métal peut se souder, malgré l'inconvénient causé par la présence accidentelle des rayons X du cuivre dus à l'absorption, dans la paroi du compteur, d'X et d'électrons suffisamment énergiques émis par la source étudiée et non absorbés dans le gaz du compteur. Dans le cas où il est nécessaire de se débarrasser des rayons X du cuivre, il est possible de revêtir l'intérieur du compteur d'une épaisseur suffisante d'une métal de faible Z (aluminium ou béryllium), dont les rayons X sont très mous et sont produits avec une faible probabilité.

Pour permettre un démontage facile du fil, une des extrémités du compteur se ferme par une flasque de laiton qui comporte la canalisation permettant de vider et de remplir le compteur. L'autre extrémité est fermée par un disque d'araldite, coulée et polymérisée à froid. Ce disque est traversé par deux tubes concentriques de laiton, isolés électriquement, le fil étant fixé par soudure au tube intérieur.

Le compteur a un diamètre intérieur de 58 mm et une longueur totale de 330 mm.

Aux deux extrémités du fil, l'appareil est muni d'un anneau de garde destiné à :

- a) éviter que l'isolant en contact avec le fil soit soumis à une différence de potentiel* ;
- b) éviter les distorsions du champ aux extrémités du fil.

De plus, le porte-source comporte une canalisation grossière limitant la partie utile du fil à une longueur inférieure à la distance entre les deux anneaux de garde (figure 4 bis).

2.2.2 Essais du compteur proportionnel. Ils ont été effectués avec une source de ^{65}Zn , émettant les rayons X du cuivre. Le remplissage était composé d'argon sous une pression de quelques dizaines de centimètres de mercure et de CO_2 sous une pression de 2 centimètres de mercure.

Les constantes de temps d'intégration et de dérivation, introduites dans l'amplificateur, étaient toutes deux égales à 10 microsecondes.

*En réalité, lors de la construction, une mince couche d'araldite polymérisée à froid a recouvert l'anneau de garde à l'extérieur, assurant une continuité de l'isolant entre l'intérieur et l'extérieur de l'anneau de garde. Nous verrons plus loin les conséquences de ce défaut de construction, révélant que l'araldite ainsi préparée n'est pas aussi isolante que l'araldite préparée à chaud.

La tension était constamment contrôlée par une méthode de zéro.

En raison du défaut de construction signalé plus haut (2.2.1), un courant de fuite se produisait dans le circuit formé par la coque, le fil, la résistance de grille de la lampe d'entrée du préamplificateur (faible devant la résistance de l'anneau d'araldite) et la masse. Ce courant de fuite a été mesuré à l'aide du montage représenté par la figure 7, où on mesure le temps mis par le voltmètre (à partir de la fermeture de l'interrupteur) pour indiquer une tension donnée. L'effet du courant de fuite est de bloquer la lampe d'entrée du préamplificateur, si sa résistance est trop faible. L'emploi d'une résistance de 100 mégohms permet d'éviter cela, tout en introduisant une constante de temps de plus de 2 millisecondes, supérieure à celles de l'amplificateur, et par conséquent acceptable. Le compteur, tel qu'il est construit, est donc parfaitement utilisable.

Spectre de rayons X émis par ^{65}Zn .

La source mince de ^{65}Zn est recouverte par un écran d'aluminium de $5\ \mu$ pour arrêter les électrons Auger. Le compteur est rempli d'un mélange d'argon (pression 40 cm Hg) et de gaz carbonique (2 cm Hg). La tension est 1850 volts. Le gain de l'amplificateur est 4000 et les constantes de temps sont $I = D = 10^{-5}$ s.

Le montage électronique du compteur est indiqué par la figure 6. La figure 8 montre la courbe obtenue représentant la raie X_K du cuivre. Chaque point correspond au milieu d'un canal du sélecteur, le nombre total des impulsions comptées par canal est porté en ordonnées. Le "pic" aux environs de 5 keV s'explique de la façon suivante : les photons X de 8,05 keV, émis par la source, agissent par effet photoélectrique sur les atomes d'argon ; le photoélectron possède une énergie égale à la différence entre celle du photon incident et l'énergie de liaison de l'électron arraché. Si ce dernier appartient à la couche K, l'atome d'argon se réarrange avec émission de divers rayonnements, parmi lesquels des photons d'énergie voisine de 3 keV qui ont une probabilité appréciable de "s'échapper" du compteur : d'où "le pic d'échappement"

observé à 3 keV environ au-dessous du pic principal, correspondant au cas plus fréquent où toute l'énergie du photon détecté est abandonnée dans le compteur. La largeur à mi-hauteur du pic principal est voisine de 15%.

2.3 Compteur à scintillations.

2.3.1 Partie mécanique. La coupe de l'étui destiné à recevoir le photomultiplicateur et son câblage est visible sur le schéma d'ensemble (figure 5). A la partie supérieure, une collerette de laiton permet d'adapter les pièces intermédiaires.

Initialement, une pièce de centrage en céloron disposée entre le haut du phototube et l'étui avait été prévue. Mais le céloron ne présentait pas les garanties d'isolement nécessaires entre la photocathode (portée à la haute tension négative) et l'étui, surtout en présence d'humidité. Cette pièce a été remplacée par une rondelle de caoutchouc, la partie supérieure du phototube étant isolée électriquement par un cylindre de styroflex.

2.3.2 Partie optique. Afin d'améliorer la résolution (4), la photocathode est surmontée d'un court conduit de lumière de plexiglass (1 cm). Le cristal d'iodure de sodium est placé sur ce conduit de lumière. Les contacts optiques sont assurés entre le conduit et le tube d'une part, entre le cristal et le conduit d'autre part, par une mince couche d'huile de silicone.

L'ensemble du cristal et du conduit de lumière est recouvert par un réflecteur constitué par une coupelle de verre enduite d'une couche de magnésie très fine, déposée immédiatement avant l'utilisation. Un desséchant est disposé dans l'enceinte, autour du réflecteur.

2.3.3 Partie électrique. Le câblage du phototube est indiqué par le schéma de la figure 9. Les dernières dynodes, non représentées sur la figure, sont réunies à la plaque. (Dans le cas où il n'y a pas de "loupe" intercalée entre l'amplificateur et le sélecteur d'amplitudes, le montage de la figure 10 doit être réalisé si le sélecteur n'a pas été spécialement adapté aux impulsions rapides des compteurs à scintillations).

La présence accidentelle d'impulsions parasites, observées en l'absence de scintillateur, a été attribuée à la présence d'humidité dans la région du culot. Le fait de faire le vide dans l'enceinte, ou d'y introduire un desséchant, fait disparaître ces impulsions.

2.3.4 Essai du compteur avec une source de ^{198}Au . ^{198}Au se transforme par émission de β^- d'énergie maximum 920 keV, suivis d'une transition de 410 keV. Cette transition étant partiellement convertie dans la couche K, la source émet aussi les rayons X_K du mercure (80 keV). Le compteur à scintillations détecte donc des photons de 410 keV et de 80 keV.

La haute tension assurant les meilleures conditions de fonctionnement, choisie après plusieurs essais à différentes tensions, est de 1700 volts. Le montage électronique est celui de la figure 9.

Le graphique de la figure 11, représentant les résultats obtenus, a été établi à l'aide d'une succession de mesures : seule la courbe reliant les points obtenus au nombre d'une vingtaine a été tracée. Les chiffres portés en ordonnées représentent l'ordre de grandeur des nombres d'impulsions comptées dans les différents canaux.

On distingue sur ce graphique :

- le "pic" dû à la raie X du mercure à 80 keV ;
- le pic dû à l'effet photoélectrique produit sur l'iode par les rayons γ de 410 keV ;
- entre ces deux maxima, un maximum plus faible dû aux électrons Compton produits dans le cristal par les γ de 410 keV.

Stabilité.

Le cristal d'iodure de sodium est très hygroscopique. L'humidité produit à sa surface une croûte jaunâtre qui altère sa transparence et cause une diminution considérable du rendement lumineux et du pouvoir séparateur.

Pour obtenir un fonctionnement satisfaisant du compteur, il est indispensable de bien nettoyer le cristal par lavage à l'acétone, puis au méthylal ; lorsque le cristal est devenu limpide, il importe de l'isoler de l'humidité atmosphérique par une couche d'huile de silicone.

Pour mesurer la stabilité du gain et du pouvoir séparateur, le cristal était monté une fois pour toutes sur son conduit de lumière ; on effectue des mesures de position du pic γ de ^{198}Au , espacées dans le temps. Malgré la présence d'un desséchant (sodium) aux environs du scintillateur, la stabilité n'est pas très satisfaisante.

Après les premiers essais, il a été possible de disposer de cristaux scellés à l'avance dans un boîtier, formant réflecteur, fermé par une rondelle de verre transparent au proche ultra-violet : les résultats illustrés par la figure 11 se sont ainsi trouvés légèrement améliorés.

3. EXECUTION DE MESURES DE COINCIDENCES X γ .

3.1 Mise au point du montage électronique.

La détecteur à scintillations joue le rôle de détecteur B, le compteur proportionnel celui du détecteur A (cf 1.2, figure 3) ;

- les impulsions de B sont bloquées en l'absence d'impulsions venant de A.

Le verrouillage est assuré par une loupe électronique du type construit en série par le C.E.A.

Entre la sortie de l'amplificateur du compteur proportionnel et l'entrée de la loupe est intercalé un discriminateur, dont la fonction est double :

- a) il sert à la mise en forme des impulsions de déblocage ;
- b) il permet de couper toutes les impulsions d'amplitude inférieure à un seuil réglable. Ainsi, pour obtenir un spectre γ en coïncidence avec un rayonnement X, nous opérerons en effectuant deux séries de mesures. La première série en réglant le seuil du discriminateur de façon à supprimer toutes les impulsions du compteur au-dessous de la raie X, la deuxième en augmentant ce seuil de façon à ne laisser passer que les impulsions d'amplitude supérieure à la raie X. Ce mode opératoire nous permet de vérifier que les coïncidences observées sont bien des coïncidences entre rayons γ et rayons X.

Étalonnage du discriminateur par rapport au sélecteur.

La raie X de l'élément étudié est obtenue à l'aide du sélecteur, et la hauteur des impulsions en volts, après amplification, se déduit du seuil et de la largeur des canaux du sélecteur. Pour placer convenablement le seuil du discriminateur successivement au-dessous et au-dessus de la raie X, il est indispensable que les indications des deux appareils soient concordantes. L'étalonnage est représenté par la figure 12.

Constantes de temps.

A cause du temps de collection des ions dans le compteur proportionnel, la montée de l'impulsion sortant du compteur proportionnel est de l'ordre de 10^{-5} s, alors que les impulsions produites par le détecteur à scintillations ont un temps de montée de l'ordre de 5×10^{-7} s.

Dans le fonctionnement normal, les constantes de temps de l'amplificateur utilisé avec le compteur proportionnel sont : $I = D = 10^{-5}$ s et celles de l'amplificateur du photomultiplicateur : $I = D = 3 \times 10^{-6}$ s. Supposons que l'on réalise le montage en coïncidences avec ces constantes de temps. Si un rayon X et un rayon γ sont émis simultanément par la source, l'impulsion produite par le rayon γ sera déjà terminée, alors que l'impulsion due au rayon X n'aura pas encore débloqué le verrou : le dispositif d'enregistrement de la coïncidence ne peut alors pas fonctionner.

Pour parvenir à un fonctionnement satisfaisant, deux modifications ont été réalisées simultanément.

a) Accroissement des constantes de temps de l'amplificateur du détecteur à scintillations : les valeurs adoptées sont : $I = D = 10^{-5}$ s. Le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant dans ces conditions.

b) Diminution des constantes de temps de l'amplificateur du compteur proportionnel permettant d'utiliser au maximum la vitesse de réponse de ce détecteur. Les valeurs choisies sont $I = D = 3 \times 10^{-6}$ s. Toutefois, avec de telles constantes de temps, la montée de l'impulsion ne peut pas s'effectuer complètement et le spectre obtenu du sélecteur se trouve déplacé d'environ 20% vers les basses amplitudes. Les deux graphiques de la figure 13 représentent de façon schématique les résultats obtenus dans les deux cas, pour deux mesures de même durée. Les coordonnées sont telles que les deux "pics" aient sensiblement la même surface. La largeur de la raie (15% environ) est peu modifiée par la diminution des constantes de temps.

3.2 Mesures effectuées sur le rayonnement de $^{75}_{34}\text{Se}$.

3.2.1 ^{75}Se se transforme par capture K en donnant naissance à ^{75}As .

L'étude du spectre γ de ^{75}Se a permis de mettre en évidence 11 transitions dont les énergies mesurées antérieurement par spectrométrie magnétique de précision (5), sont les suivantes :

0,0247	0,1212	0,2801
0,0662	0,1362	0,3050
0,0808	0,1988	0,4019
0,0968	0,2652	

Des mesures plus anciennes (6) n'avaient décelé qu'un nombre plus restreint de transitions, d'énergies voisines de 0,97 ; 0,12 ; 0,135 ; 0,265 et 0,4 MeV.

3.2.2 Préparation de la source de ^{75}Se . ^{75}Se est produit par réaction (n, γ) à partir de ^{74}Se . Cette réaction a déjà été utilisée par plusieurs chercheurs (6).

Pour l'obtenir, il suffit d'irradier du sélénium naturel par le flux de neutrons thermiques de la pile, bien que le sélénium naturel contienne d'autres isotopes que ^{74}Se . En effet, la période de ^{75}Se est environ 127 jours, alors que celle de l'isotope radioactif à plus longue période en dehors de ^{75}Se est de 25 minutes.

Un premier essai a été effectué en partant de séléniate de sodium hydraté cristallisé de formule $\text{SeO}_4\text{Na}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Mais les dépôts obtenus étaient peu réguliers. Un dépôt convenable a pu être obtenu à partir de sélénium métalloïde, par évaporation thermique sous vide.

La masse superficielle des dépôts irradiés est voisine de $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, l'épaisseur étant uniforme à 10% près environ. Tous les dépôts ont été effectués sur une membrane de formose de $50 \text{ g}/\text{cm}^2$, tendue sur un cadre d'aluminium.

3.2.3 Etude au compteur proportionnel des rayons X de ^{75}Se .

Plusieurs mesures ont été effectuées dans différentes conditions de remplissage (pression d'argon : 1 atmosphère ou 40 cm Hg).

Nous en indiquons une à titre d'exemple.

La source est recouverte d'un écran de béryllium d'épaisseur 45/100 mm destiné à arrêter les électrons d'énergie inférieure à 295 keV. Les résultats obtenus sont représentés par la figure 14, les chiffres portés en ordonnées représentant l'ordre de grandeur des nombres d'impulsions comptées dans les divers canaux, ces derniers étant sensiblement répartis comme dans la figure 8. Le "pic" secondaire vers 8 keV, dû à l'"échappement" (cf 2.2.2) et aux rayons X du cuivre produits par effet de paroi (cf 2.2.1) montre que la proportion de ces derniers est peu importante.

3.2.4 Etude au compteur à scintillations de la source de ^{75}Se .

L'amplitude maximum des impulsions pour laquelle le sélecteur reste linéaire ne permet pas d'obtenir le spectre complet de ^{75}Se en utilisant un seul gain de l'amplificateur.

Deux mesures successives ont été effectuées sans utiliser de loupe entre l'amplificateur et le sélecteur d'amplitudes. Les impulsions sortant de l'amplificateur sont reçues directement par le sélecteur.

La haute tension est 1700 volts, les constantes de temps sont $I = D = 10^{-5}$ s. Les résultats obtenus sont représentés par la figure 16 ; les positions des "pics" (comparées aux résultats que donne une source d'or 198) correspondent approximativement à 130, 270 et un peu plus de 400 keV ; chaque pic est recouvert par 5 à 10 canaux du sélecteur d'amplitudes, les chiffres portés en ordonnées représentent, en unités arbitraires, les nombres d'impulsions enregistrées par unité de temps dans les divers canaux (les fluctuations sont de l'ordre de quelques %.)

3.2.5 Mesures de coïncidences. L'étude du spectre γ de ^{75}Se en coïncidence avec des rayons X est effectuée à l'aide de 3 séries de mesures correspondant aux trois groupes de γ mis en évidence par la figure 16.

Chaque mesure de coïncidences est encadrée par deux mesures du spectre γ total effectuées en interposant une loupe électronique (sans fonctionnement du dispositif de blocage) entre l'amplificateur du compteur à scintillations et le sélecteur d'amplitudes.

Ainsi qu'il a déjà été dit (3.1) deux séries de mesures étaient effectuées, le discriminateur placé derrière le compteur proportionnel laissant ou non passer les impulsions dues aux rayons X. Un contrôle du spectre donné par le compteur proportionnel étant effectué à chaque mesure, le graphique de la figure 15* représente grossièrement la région où se placent les résultats de ces contrôles. Les deux positions du discriminateur sont notées sur la figure 12, et correspondent aux deux tensions repérées sur la figure 15.

Dans ces conditions, et compte tenu de l'activité de la source, les mesures du spectre γ total ont une durée d'une demi-heure, et les mesures du spectre en coïncidences une durée d'une heure.

La haute tension appliquée au photomultiplicateur est constamment surveillée au millivoltmètre par la méthode d'opposition.

La haute tension appliquée au compteur proportionnel, fournie par une alimentation stabilisée, est vérifiée par la même méthode au début et à la fin de chaque mesure.

*Rappelons que, pour les mesures de coïncidences, les constantes de temps de l'amplificateur du compteur proportionnel sont égales à 3 microsecondes (cf 3.1).

Résultats.

Les spectres γ obtenus en coïncidence sont représentés, en même temps que les spectres γ totaux correspondants, sur les figures 17, 18 et 19. Les ordonnées se rapportent aux nombres des coïncidences enregistrées dans chaque canal.

Les graphiques sont tracés en coordonnées semi-logarithmiques de façon à permettre une détermination graphique simple du rapport $\frac{\text{coïncidence}}{\text{comptage } \gamma \text{ total}} = R$.

La courbe représentant le spectre γ total a d'abord été tracée (I). Puis, il a été constaté que, pour les 3 groupes de γ , les points expérimentaux obtenus en coïncidence se plaçaient très bien sur une courbe (II) déduite de la première par une translation.

La mesure de cette translation sur le graphique fournit les rapports suivants :

$$\begin{aligned} \text{pour le premier groupe de } \gamma &: R_1 = 0,057 \pm 0,005 \\ \text{" " second " " " } &: R_2 = 0,060 \pm 0,007 \\ \text{" " troisième " " " } &: R_3 = 0,050 \pm 0,007. \end{aligned}$$

Ces mesures ne révèlent pas de γ qui ne soit pas en coïncidence avec au moins un rayon X_K : aucun des photons γ les plus abondantes dans ce rayonnement n'est donc émis par un état métastable de ^{75}As .

D'autre part, d'après (5), la transition de 0,4019 MeV est subie par le plus excité des états de ^{75}As formés par radioactivité de ^{75}Se . Dans ce cas, R_3 doit être égal à la probabilité pour qu'une capture K de ^{75}Se soit enregistrée par le compteur proportionnel. Le paragraphe 3.3 montre que c'est approximativement le cas, ce qui constitue un contrôle du dispositif utilisé.

Enfin, aux erreurs expérimentales près, les trois rapports R mesurés sont égaux. Ce résultat signifie que les divers γ participant de façon appréciable aux trois "pics" de la figure 16 sont en coïncidence avec le même nombre de rayons X_K , c'est-à-dire qu'aucun de ces γ n'a une probabilité appréciable d'être en coïncidence avec une transition fortement convertie dans la couche K. Ceci s'accorde bien avec des résultats publiés récemment (8), alors que le présent travail était en cours.

3.3 Evaluation du rendement du compteur proportionnel.

La méthode adoptée a consisté à utiliser une source mince de ^{65}Zn , dont le rayonnement était mesuré d'une part à l'aide du compteur ci-dessus, d'autre part à l'aide du compteur "4π" de M. BARLOUTAUD, dont il sera question plus loin. Le rendement de ce compteur a pu être calculé à partir de considérations géométriques, grâce à la participation de M. MERCIER et de Mlle ROY, du service de Physique Mathématique du Commissariat à l'Energie Atomique. Le résultat était 0,42 pour un certain remplissage, en l'absence d'absorption des rayons X, soit par la source, soit par un écran.

Pour les mesures, les électrons Auger étaient évidemment arrêtés par un écran.

Le choix de ^{65}Zn pour cet étalonnage était justifié par le fait que ce corps n'émet pratiquement qu'un rayon X par désintégration, et que son rayonnement ne produit pas de rayons X_K du cuivre dans les parois des compteurs.

Du rapport des taux de comptage des deux compteurs, on déduit la probabilité pour qu'un rayon X_K du cuivre, émis par la source, soit détecté par le compteur à étalonner : des corrections sont effectuées pour tenir compte de l'absorption par les écrans traversés*.

*Ces corrections doivent tenir compte, au moins approximativement, de l'inclinaison des rayonnements dans la traversée des écrans

En multipliant cette probabilité par les deux facteurs suivants : a) rapport tenant compte de la différence d'absorption entre les X_K du cuivre et ceux de l'arsenic ; b) rapport tenant compte de l'effet Auger (7) dans l'arsenic et des proportions de captures K et L (12) dans ^{75}Se , on obtient la probabilité pour qu'une désintégration de ^{75}Se soit enregistrée par le compteur étudié. Le résultat : $0,052 \pm 0,007$, est en accord avec les rapports R définis ci-dessus (3.2.5). A défaut de pouvoir utiliser des sources extrêmement minces et assez intenses, des mesures très précises de coïncidences sur des rayonnements de schéma simple et bien connu constituent pour l'instant la méthode la plus sûre pour évaluer l'efficacité du compteur (par détermination graphique, comme dans les figures 17 et 18).

4. MESURES DE COINCIDENCES PAR ADDITION DES AMPLITUDES D'IMPULSIONS SIMULTANÉES.

4.1 Principe de ces mesures de coïncidences.

En raison de son angle solide voisin de 4π , le compteur proportionnel double à fils connectés entre eux (dont une coupe schématique est représentée par la figure 20 et dont une description détaillée sera publiée ultérieurement*) permet de mettre facilement en évidence la "simultanéité" de rayonnements détectés dans un intervalle de temps assez court par rapport à la durée d'une impulsion due à une seule particule. En effet, si deux transformations en cascade sont enregistrées par le même compteur proportionnel en un temps assez bref vis-à-vis des constantes de temps électroniques, les amplitudes des impulsions qu'elles donneraient séparément s'additionnent pour donner une seule impulsion. Si ces deux transformations sont enregistrées par le compteur avec des probabilités respectives k_1 et k_2 , il y a une probabilité $k_1 k_2$ pour qu'il se produise une telle impulsion "somme". L'intérêt du compteur utilisé est qu'il est construit de sorte que k_1 et k_2 ont la plus grande valeur possible, pour un remplissage donné.

Par exemple, les figures 21 et 22** obtenues avec un remplissage d'argon (1 atmosphère) + CO_2 (2 cm), reproduisent les spectres d'amplitudes obtenus avec une source de ^{73}As , dont la préparation est décrite plus loin (4.5). Dans le cas de la figure 21, le compteur n'enregistre que des rayons X, la source étant protégée par des écrans convenables ; le premier "pic" correspond à la détection d'un seul photon X, le deuxième (d'amplitude double) correspond à la détection de deux photons X émis simultanément. Dans le cas de la figure 22, le compteur enregistre des rayons X et des électrons ; on retrouve deux "pics" analogues à ceux de la figure 21 (non tracés sur la figure 22 et trois autres pics compatibles avec l'un des schémas des figures

* R. BARLOUTAUD (à paraître)

** Les deux graphiques des figures 21 et 22 ont été tracés avec deux sources différentes de faible intensité. Les chiffres en ordonnées représentent les nombres d'impulsions par canal et par minute, les fluctuations n'excédant pas quelques %. Chaque "pic" est recouvert par 7 à 8 canaux.

23 et 24. Le premier de ces pics correspond à la détection d'un électron de conversion K de γ_2 ; le deuxième correspond, soit à la détection d'un électron de conversion L de γ_2 et du photon X_L correspondant (très absorbable), soit d'un électron de conversion K de γ_2 et du photon X_K correspondant (la participation des photons γ_2 est négligeable) ; le troisième "pic" correspond à l'un des cas qui donnent naissance au deuxième pic, se produisant simultanément avec la détection d'une transition γ_1 convertie dans l'une des couches K, L ou M. Il est à noter que l'on n'observe pas de pic correspondant à la coïncidence "instantanée" (vis-à-vis des constantes de temps) de γ_1 , γ_2 et d'une capture K conduisant au deuxième état excité de ^{73}Ge .

Il y a là une façon pratique d'effectuer des mesures de coïncidences avec enregistrement de l'énergie, sans mettre en oeuvre des circuits de coïncidences assez compliqués.

Ci-après, l'exemple des mesures de coïncidences XX dans le rayonnement de ^{73}As montre que l'on peut en tirer des données quantitatives, qui ont permis d'apporter des renseignements nouveaux sur le schéma de transformation radioactive de cet isotope.

4.2 Mesures de coïncidences XX dans le rayonnement de ^{73}As .

Une mesure a été effectuée avec une source plus intense que celle qui a permis de construire la figure 21. Le résultat, représenté par la figure 26, permet d'évaluer à $37 \pm 1,5$ le rapport \mathcal{R} du nombre des rayons X détectés isolément au nombre de paires de rayons X détectés "simultanément" (bruit de fond déduit).

Il y a lieu de faire deux remarques au sujet de cette valeur :

a) c'est une valeur maximum, car le "pouvoir de résolution" n'est pas infiniment grand par rapport à la période de l'état excité de ^{73}Ge (4,5 μs) et une partie des coïncidences a pu échapper à l'observation : cette partie est d'ailleurs faible, car le "pic" dû à la détection d'un seul photon X n'est pas dissymétrique, et le creux entre les deux "pics" X et XX est nettement marqué.

b) La valeur mesurée de \mathcal{O} ne s'est pratiquement pas modifiée au cours de plusieurs semaines, ce qui (en plus des précautions prises pour la préparation de la source (cf 4.5) constitue un bon argument pour exclure la possibilité de rayonnements parasites émettant des rayons X d'énergie voisine de ceux qu'émet la source de ^{73}As .

4.3 Conversion interne de γ_2

Une limite inférieure du coefficient de conversion K de γ_2 a été déterminée en essayant de détecter les photons γ_2 , à l'aide du compteur proportionnel double rempli de krypton sous 1 atmosphère (la probabilité de détection de ces photons étant alors environ 5%). Les électrons étaient absorbés par $5,9 \text{ mg/cm}^2$ d'aluminium. Il n'y a plus apparence de pic à 54 keV. Néanmoins, entre 34 et 55 keV, une activité de 3 ± 1 impulsions par minute, supérieure aux fluctuations statistiques, a été trouvée. Sans pouvoir en déduire une valeur précise du coefficient de conversion α_K de γ_2 , on peut cependant conclure que $\gamma_K \gtrsim 7$.

Cette mesure a été reprise par la suite par M. Barloutaud, qui a détecté les γ à l'aide d'un compteur à scintillations : la valeur obtenue, assez peu précise, est de l'ordre de 8 : elle est en bon accord avec les premiers résultats cités ci-dessus, et plus élevée que la valeur citée dans (10).

4.4 Interprétation de ces résultats.

Sur la base du schéma de la figure 24, résultant de (10), nos mesures de coïncidences XX permettent de déterminer le rapport $K/L + M$ des coefficients de conversion interne de γ_1 : la valeur obtenue est voisine de 0,7.

Cependant, les résultats suivants sont publiés dans (9) :

$$\frac{K_2}{L_2 + M_2} = 5,6 \pm 0,3 \quad (\text{résultat bien établi, concordant avec des travaux antérieurs})$$

$$J_1 = \frac{L_1 + M_1}{\text{électrons Auger}} = 0,77$$

$$J_2 = \frac{K_2 + L_2 + M_2}{L_1 + M_1} = 1,2$$

} sans précision indiquée

$$\frac{K_1}{L_1 + M_1} \lesssim 0,4$$

Il est montré dans (11) que, pour faire concorder avec les nôtres (et ceux de 10) les trois derniers résultats énumérés ci-dessus, on est conduit à faire l'hypothèse du schéma de la figure 23 (la proportion des transitions de ^{73}As au premier état excité de ^{73}Ge étant de l'ordre de 10%).

Il faut donc, soit adopter le schéma de la figure 23 en admettant que les auteurs de (10) ont laissé échapper les coïncidences différées entre rayons X de capture K et électrons de conversion de γ_1 , soit adopter le schéma de la figure 24 et mettre en cause les résultats numériques de JOHANSSON.

4.5 Préparation de la source de ^{73}As .

^{73}As est préparé par la réaction $^{72}\text{Ge} (d, n)^{73}\text{As}$, effectuée au cyclotron du Collège de France. Au cours de l'irradiation, il se forme également ^{74}As (de période 18 jours) dont l'intensité à la fin de la réaction est beaucoup plus importante que celle de ^{73}As . Pour obtenir une source de ^{73}As , il est donc commode d'effectuer une séparation isotopique ; de plus, ce procédé permet d'obtenir un dépôt pratiquement immatériel.

La partie active a d'abord été séparée chimiquement de la cible de germanium : la faible quantité de produit actif ainsi obtenu a rendu nécessaire l'addition d'arsenic ordinaire (isotope 75) jouant le rôle d'entraîneur pour effectuer la séparation isotopique.

Celle-ci a duré 4 heures et a permis d'obtenir, sur 0,01 mm d'aluminium, un dépôt extrêmement mince de ^{73}As , sans entraîneur et débarrassé de ^{74}As .

4.6 Essai de mise en évidence d'une transition de période très longue dans ^{73}Ge (préparable par réaction dp sur ^{72}Ge .)

La cible de germanium, irradiée au cyclotron et d'où l'arsenic avait été extrait par voie chimique, a été étudiée à l'aide du compteur proportionnel : les résultats sont donnés par la figure 25, les chiffres portés en ordonnées représentant le nombre d'impulsions enregistrées par canal.

Il n'y a aucune trace visible de rayonnements autres que des rayons X (ceux de ^{71}Ge de période 11 jours, seul isotope pouvant subsister, parmi les isotopes connus produits par réaction dp sur le germanium, à la date de la mesure).

Il est à noter que la source utilisée n'était pas très mince, et que des électrons de quelques keV auraient pu, par autoabsorption, échapper à l'observation.

Je remercie vivement Monsieur Berthelot, sous la direction de qui ce travail a été effectué dans les laboratoires du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay.

J'exprime également ma reconnaissance à Monsieur Ballini, qui m'a apporté au cours de ce travail l'aide de ses conseils et de ses suggestions.

J'assure de ma gratitude Monsieur Barloutaud, qui a été pour moi un guide quotidien dont l'appui a été particulièrement précieux.

Je remercie les membres de divers laboratoires du Commissariat à l'Energie Atomique, qui m'ont aidé à effectuer un certain nombre de préparations. En particulier, Monsieur Prugne, Monsieur Fiehrer et leurs collaborateurs m'ont fréquemment apporté leur concours pour la réalisation du compteur proportionnel et pour la mise au point de l'appareillage électronique.

Je remercie enfin les membres du Service de Documentation qui ont assuré la présentation rapide de ce rapport.

M. SARTORI

Manuscrit reçu le 25 Août 1953

REFERENCES.

- 1) MITCHELL Rev. modern Phys. 1948, 20, 296
 - 2) BALLINI, CHAMINADE, DESNEIGES, GRJEBINE, QUIDORT et WAHL - Rapport C.E.A. n° 177 (1953)
 - 3) CHAMINADE et QUIDORT (à paraître)
 - 4) CHAMINADE et KOICKI (communication privée)
 - 5) CORK, RUTLEDGE, BRANYAN, STODDARD et LE BLANC Phys. Rev. 1950, 79, 889
 - 6) KENT, CORK et WADEY Phys. Rev. 1942, 61, 389
GEST et GLENDENIN N.N.E.S. IV, 9, p. 327
FRIEDLANDER, SEREN et TURKEL Phys. Rev. 1947, 72, 23
JENSEN, LASLETT et PRATT AECD 1836 (1948)
DEUTSCH et OSBORNE : non publié
 - 7) BROYLES, THOMAS et HAYNES Phys. Rev. 1953, 89, 715
 - 8) JENSEN, LASLETT, MARTIN, HUGHES et PRATT Phys. Rev. 1953, 90, 557
 - 9) JOHANSSON Arkiv für Fysik 1952, 4, 273
 - 10) WELKER, SCHARDT, HOWLAND et FRIEDLANDER B.A.P.S. 1953, 28, 3
 - 11) BARLOUTAUD, BALLINI et SARTORI (à paraître)
 - 12) ROSE et JACKSON Phys. Rev. 1949, 76, 1540
-

TABLE DES MATIERES.

1. Introduction (page 3).
 - 1.1 Renseignements donnés par la méthode des coïncidences.
 - 1.2 Principe des mesures de coïncidences entre détecteurs sélectifs en énergie.

2. Description du montage (page 5)
 - 2.1 Schéma d'ensemble.
 - 2.2 Compteur proportionnel.
 - 2.3 Compteur à scintillations.

3. Exécution des mesures de coïncidences X - γ (page 11)
 - 3.1 Mise au point du montage électronique.
 - 3.2 Mesures effectuées sur le rayonnement de ^{75}Se .
 - 3.3 Rendement du compteur proportionnel.

4. Mesures de coïncidences par addition d'amplitudes d'impulsions simultanées (page 19)
 - 4.1 Principe. Coïncidences entre électrons et rayons X émis par ^{73}As .
 - 4.2 Résultats des mesures de coïncidences $X_{\text{K}} X_{\text{K}}$ dans ^{73}As .
 - 4.3 Mesure du coefficient de conversion interne de la transition de 54 keV dans la couche K.
 - 4.4 Interprétation de ces résultats.
 - 4.5 Préparation de la source de ^{73}As .
 - 4.6 Essai de mise en évidence d'une transition de période très longue dans ^{73}Ge .

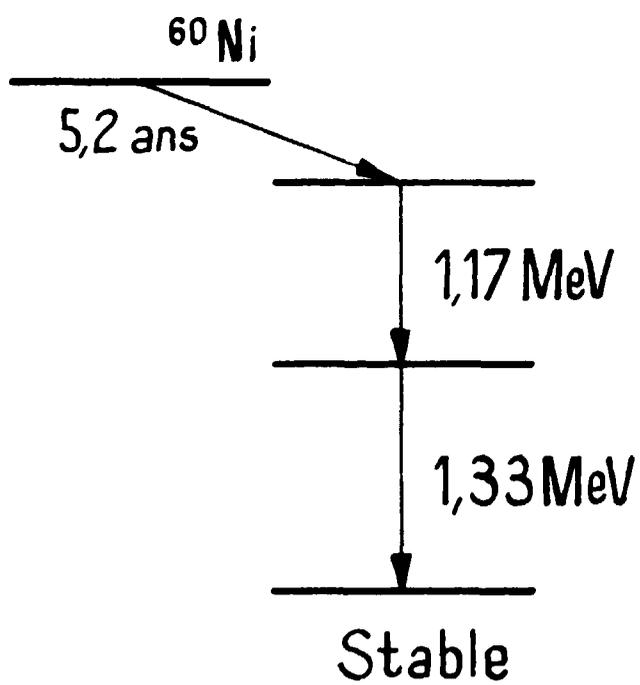


fig.1_ Schéma de ^{60}Co

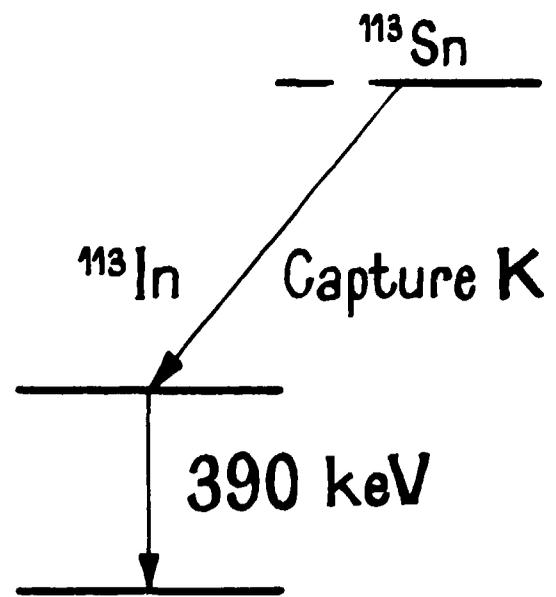


fig.2

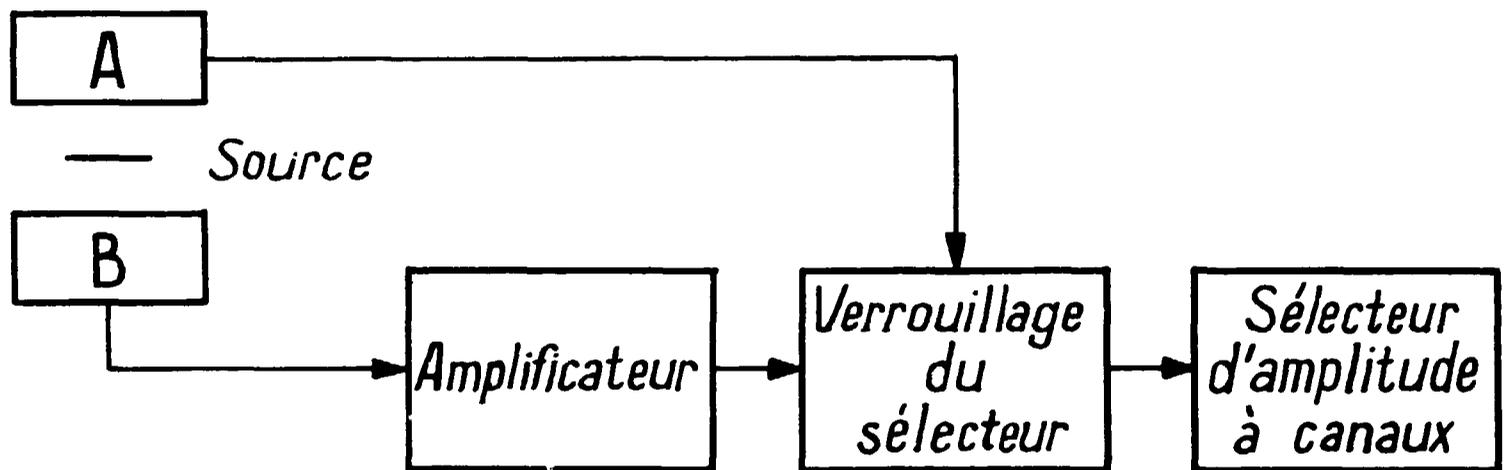
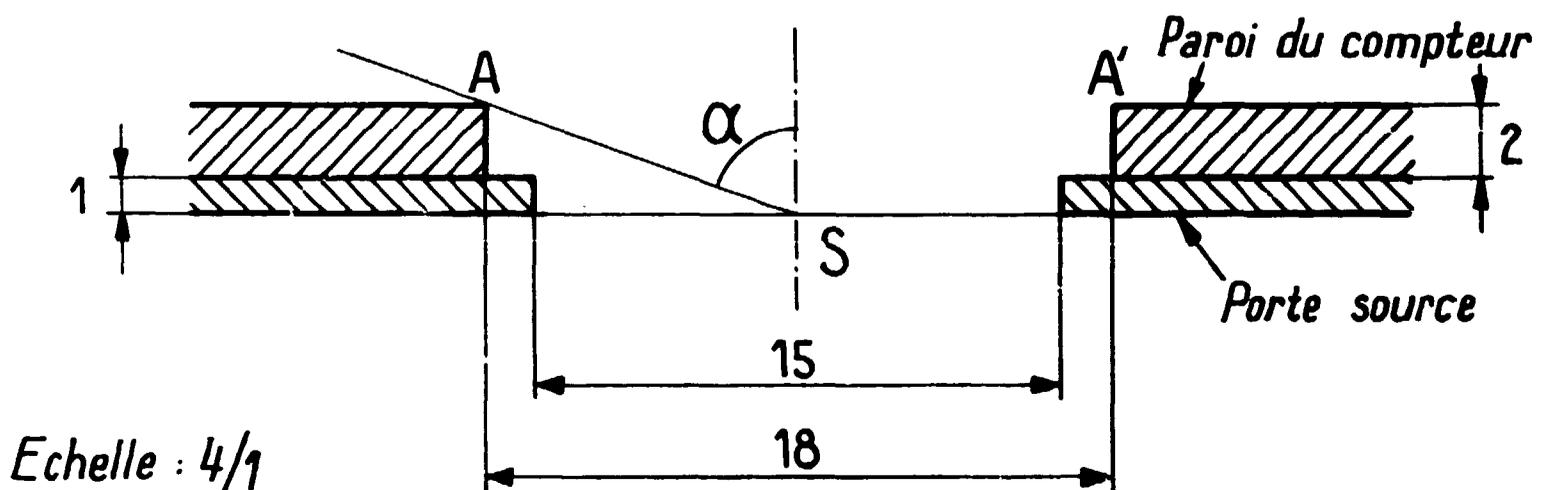


fig.3_ Schéma de principe du dispositif à coïncidences



Echelle : 4/1

fig.4^{bis}

Détail du porte source du compteur proportionnel

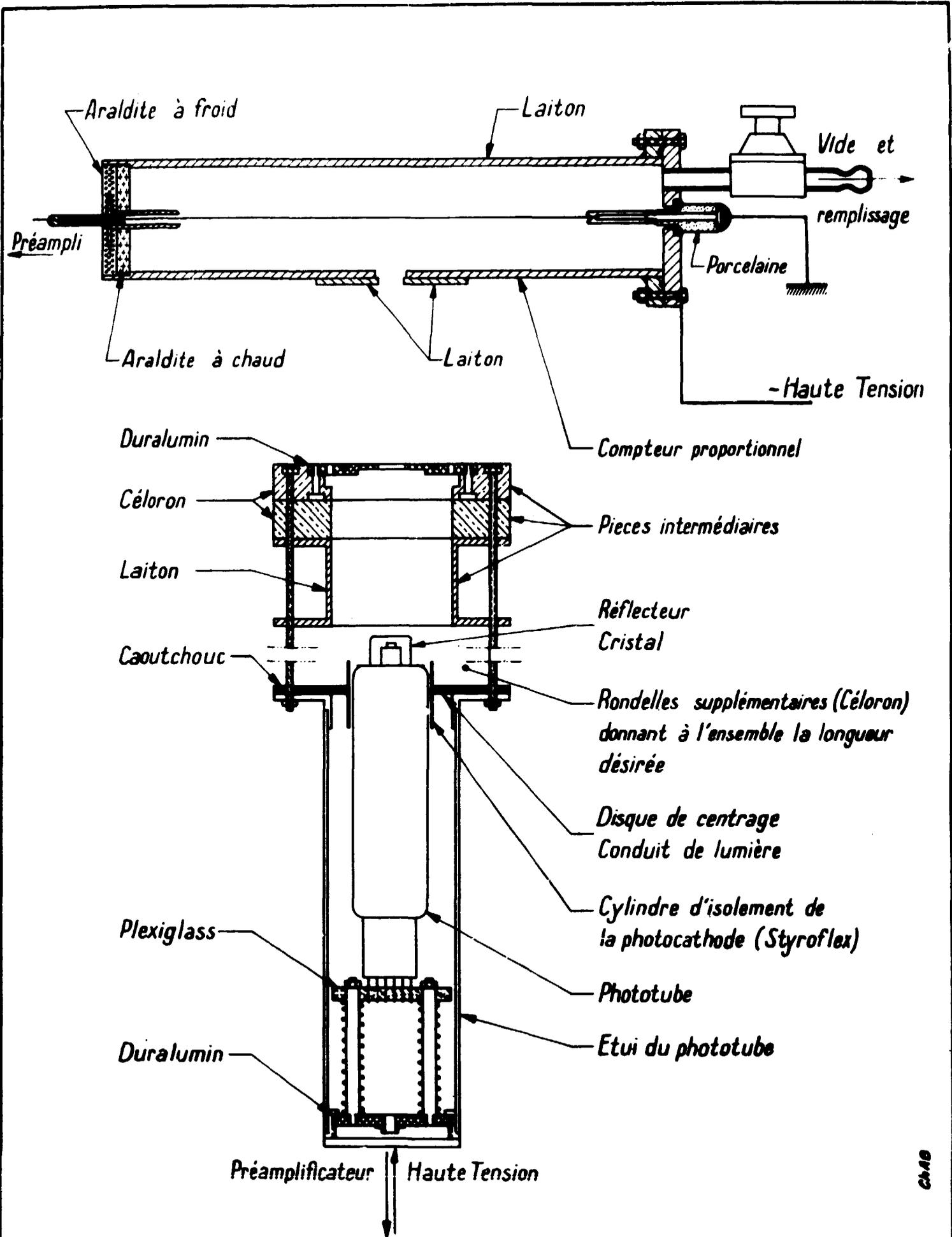


fig. 4

Dispositif pour coïncidences entre compteur proportionnel et détecteur à scintillations

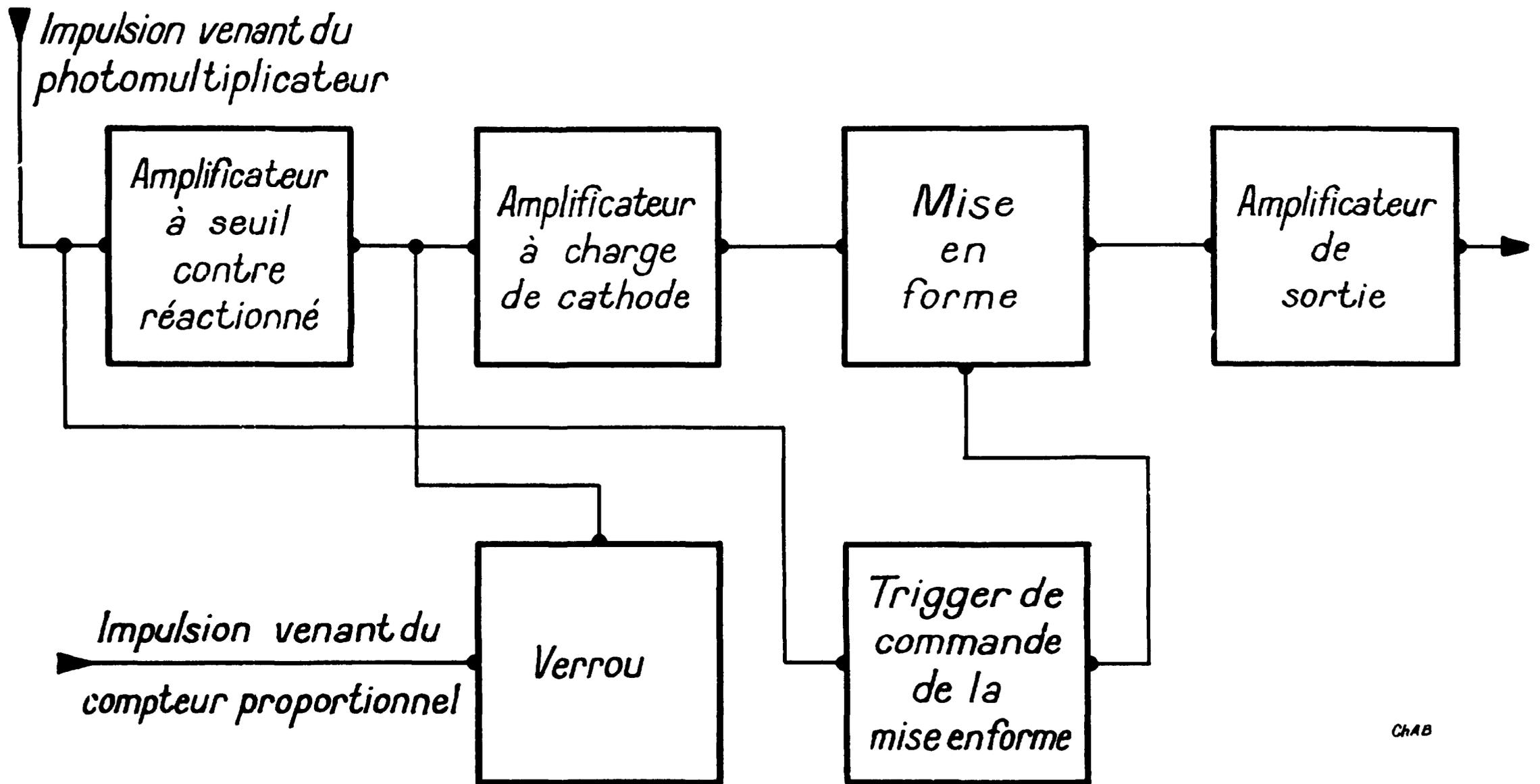


fig. 5 Schéma de principe du dispositif de verrouillage

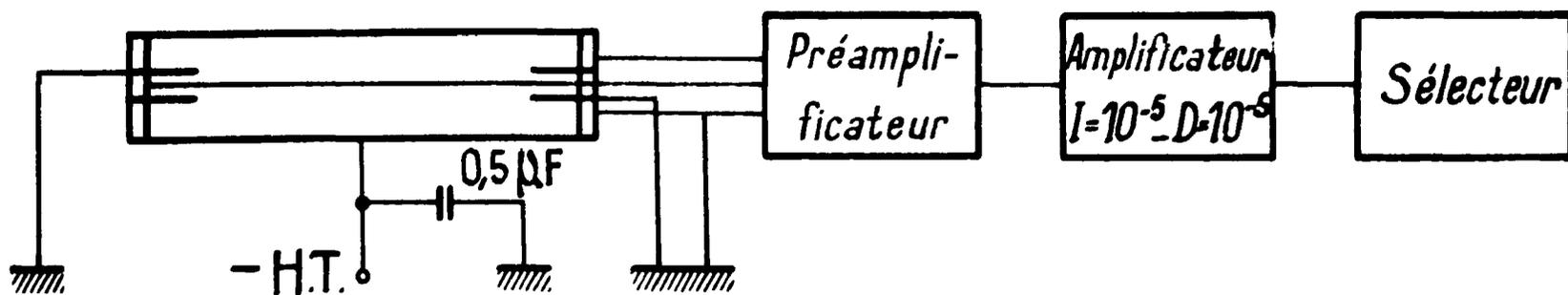


fig.6

Schéma de montage électronique du compteur proportionnel

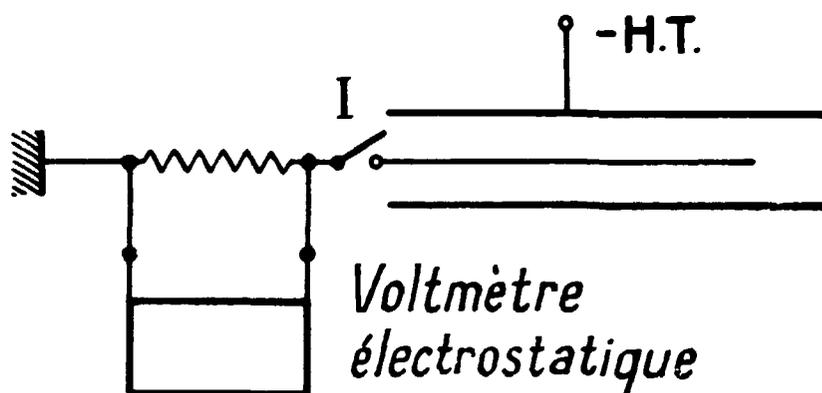


fig.7_ Principe de la recherche du courant de fuite du compteur proportionnel

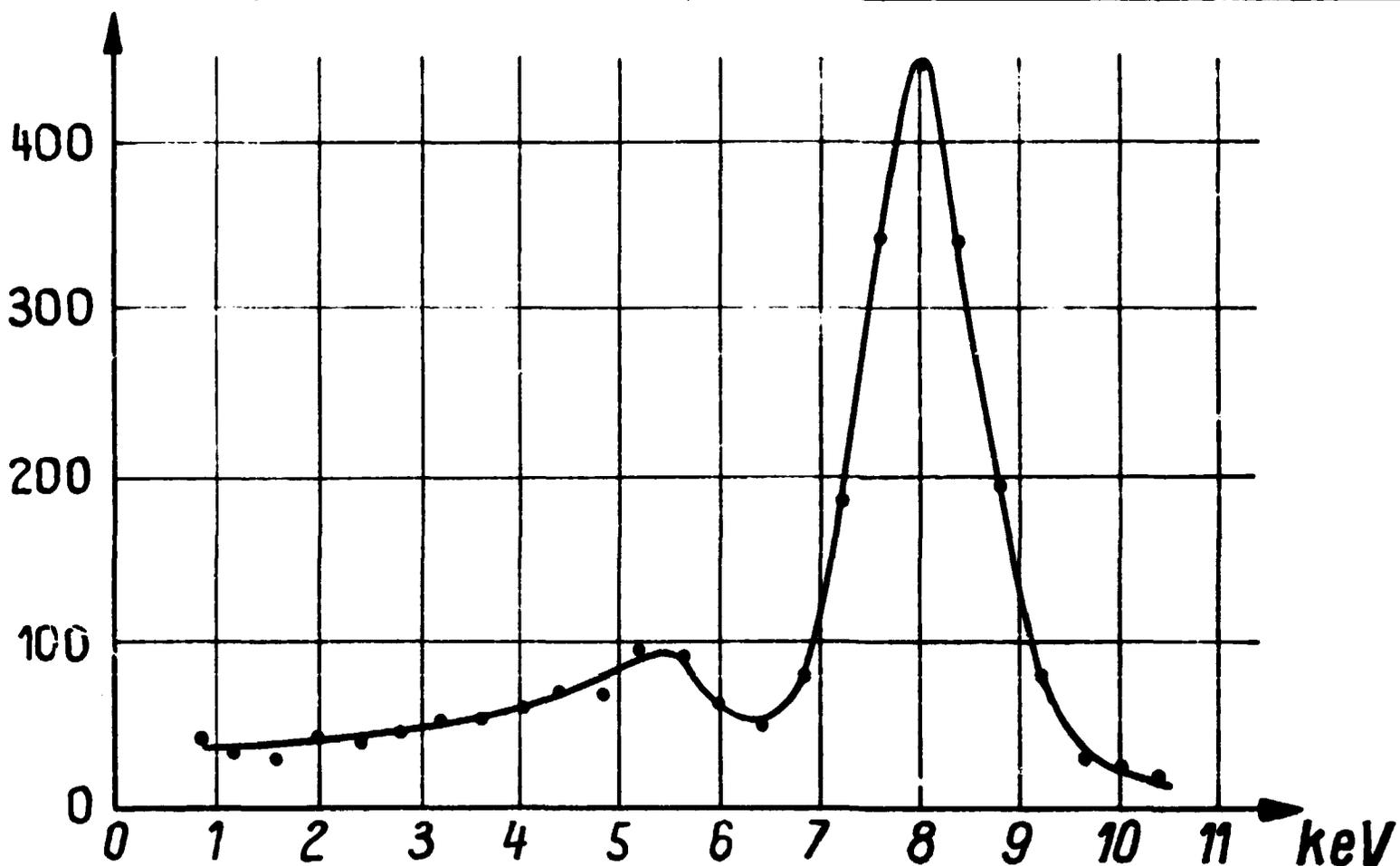


fig.8_ Source de Zn

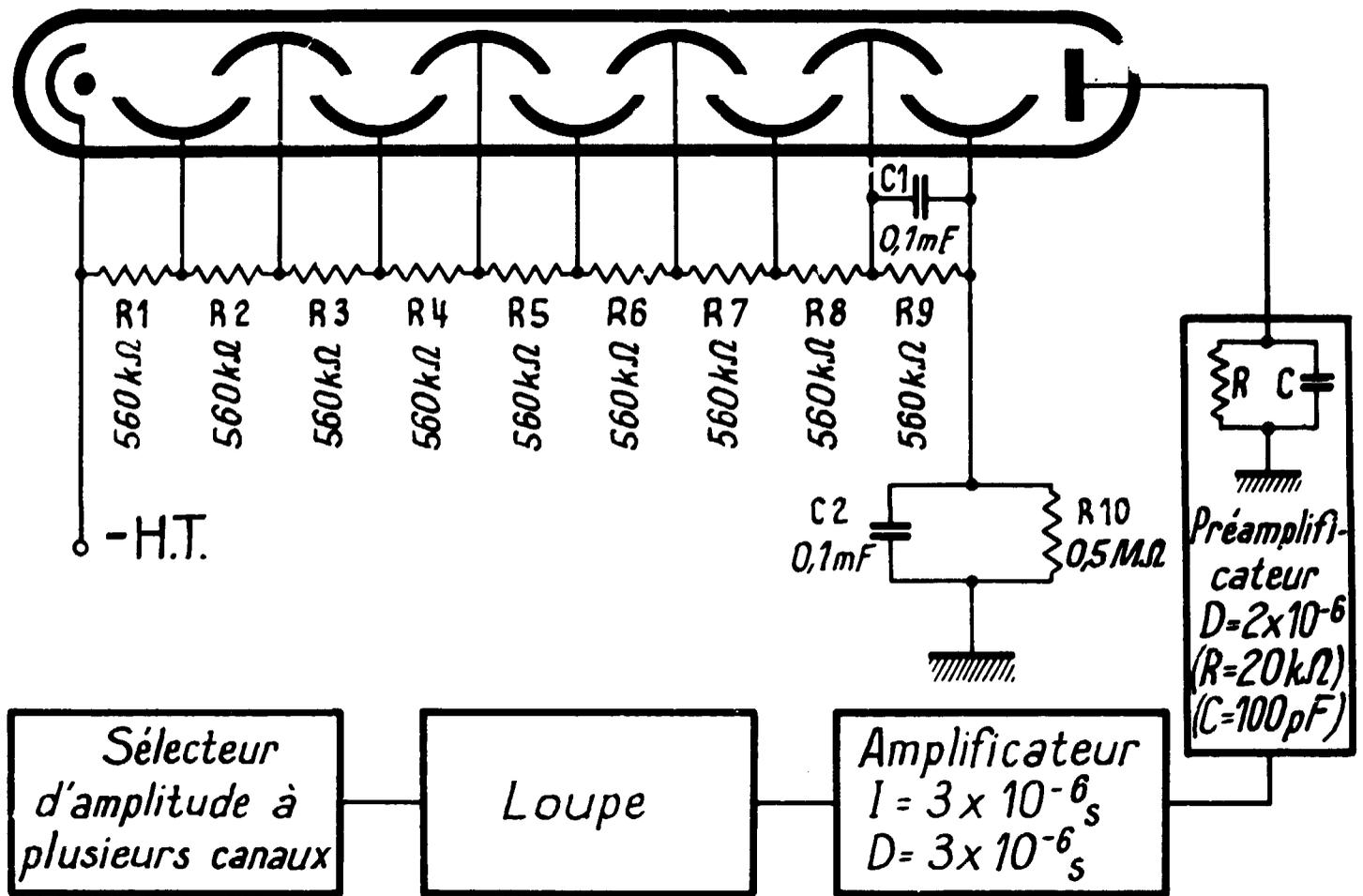


fig.9

Schéma de montage électronique du photomultiplicateur (avec loupe)

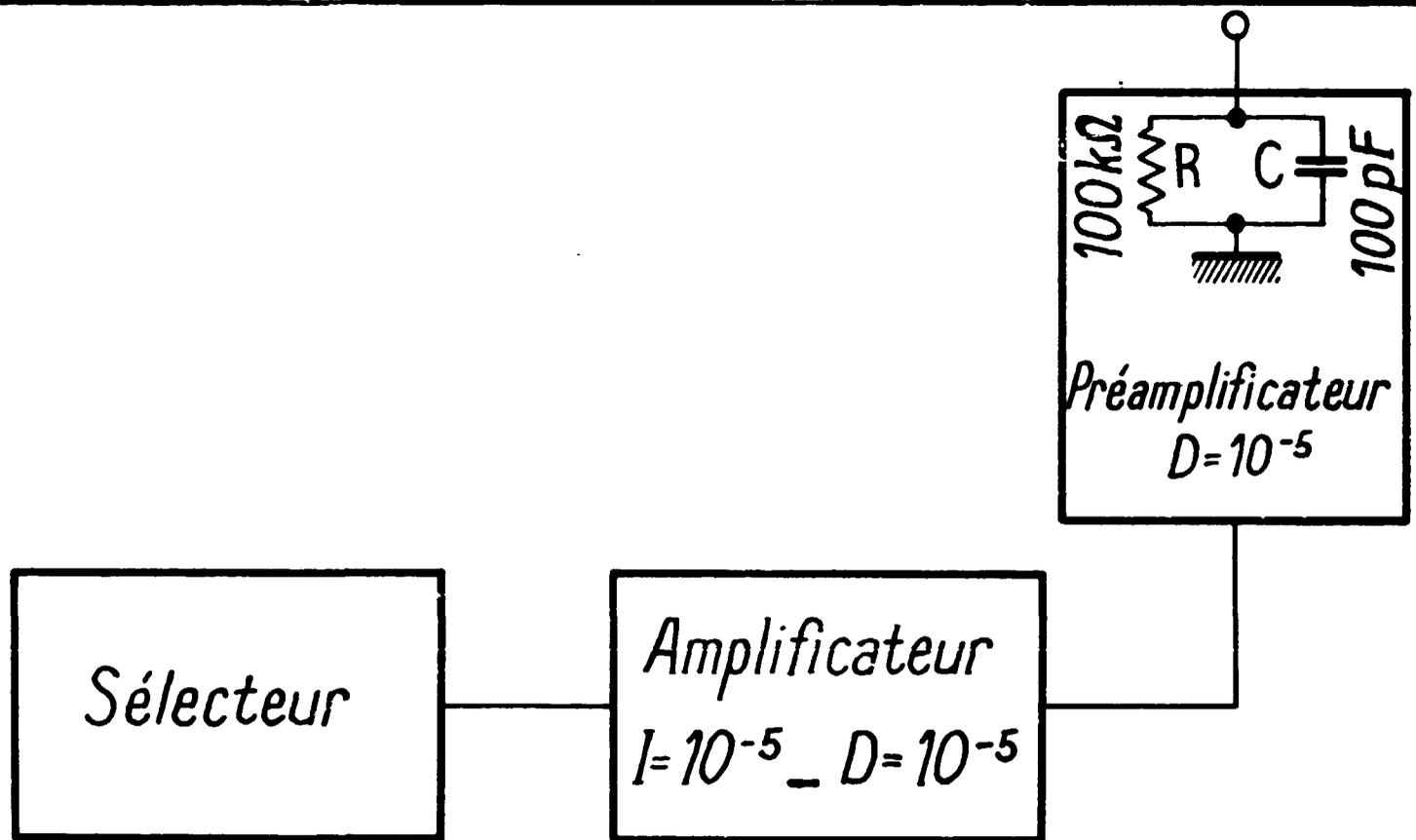


fig.10.

Schéma de montage du photomultiplicateur (sans loupe)

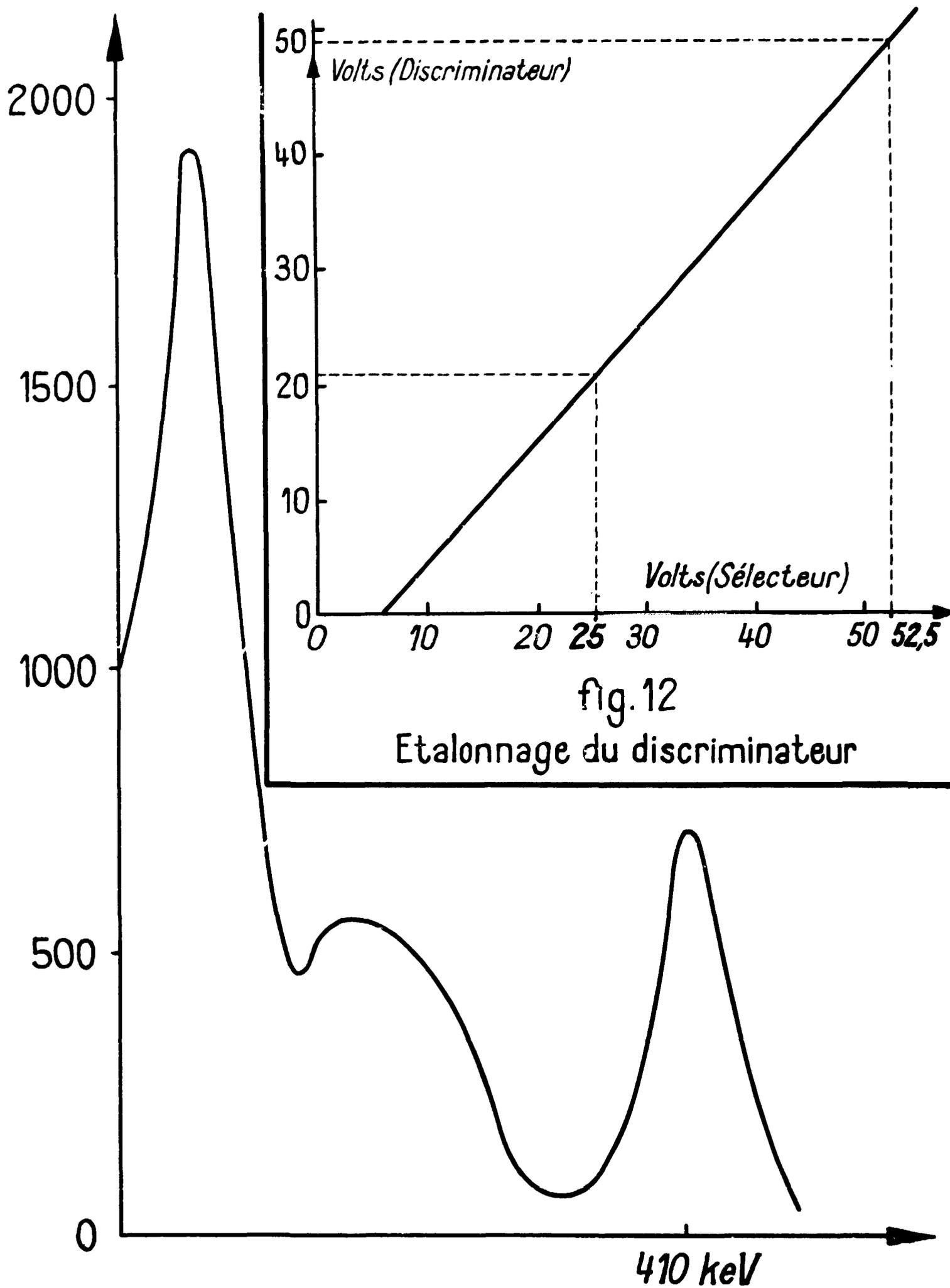


fig.11 - ^{198}Au

Compteur à scintillations

^{65}Zn . Ecran Al 5μ . Compteur proportionnel

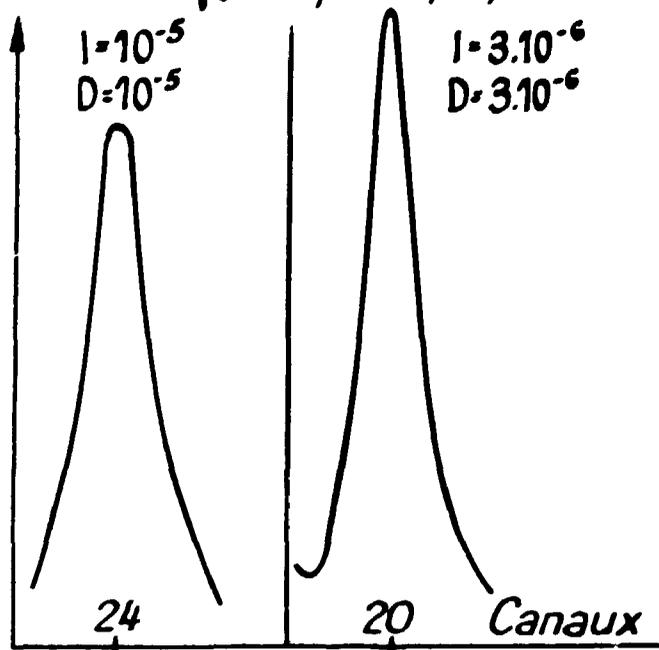


fig.13. Influence des constantes de temps de l'amplificateur sur l'amplitude des impulsions

Remplissage { Argon 76cm
CO₂ 2cm

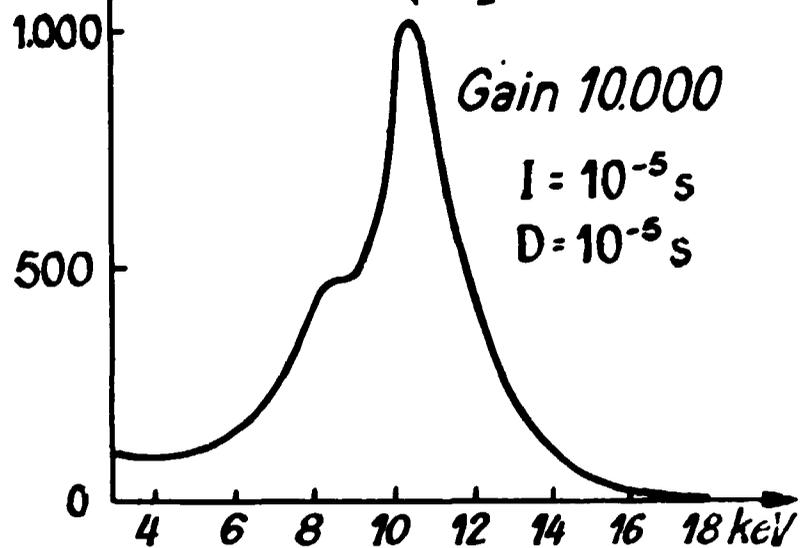


fig.14
Source de ^{75}Se . Ecran de Béryllium



fig.15
Détermination des seuils de discrimination

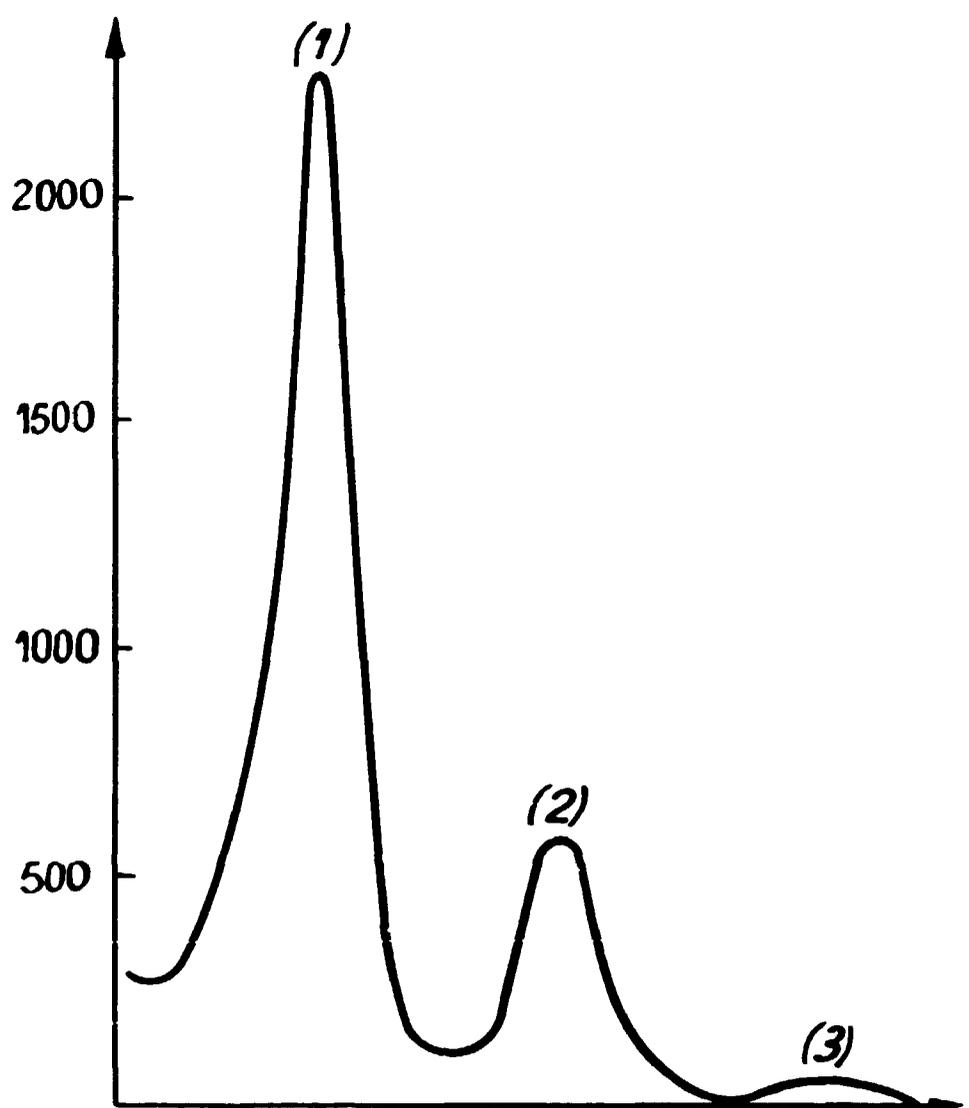


fig.16 Spectre γ de ^{75}Se

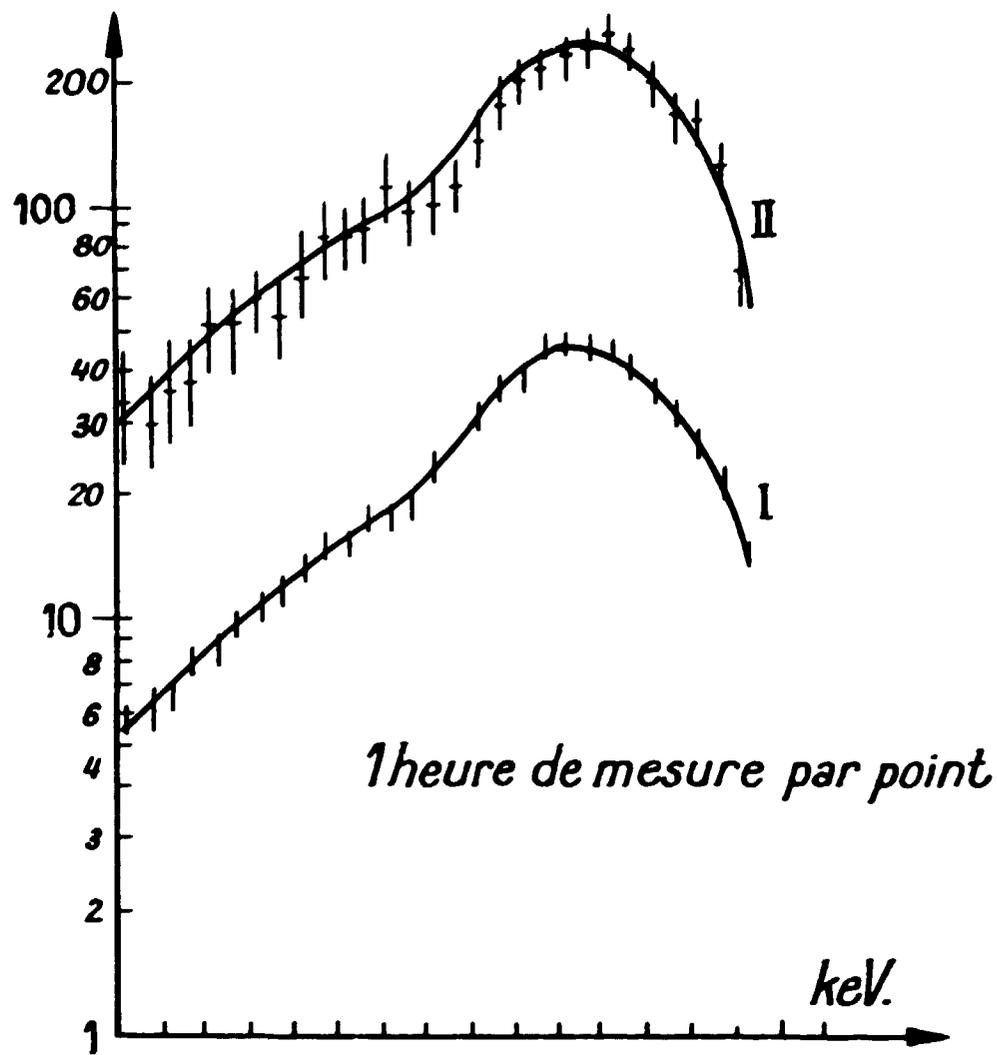


fig.17 - 1^{er} groupe de γ de ^{75}Se .

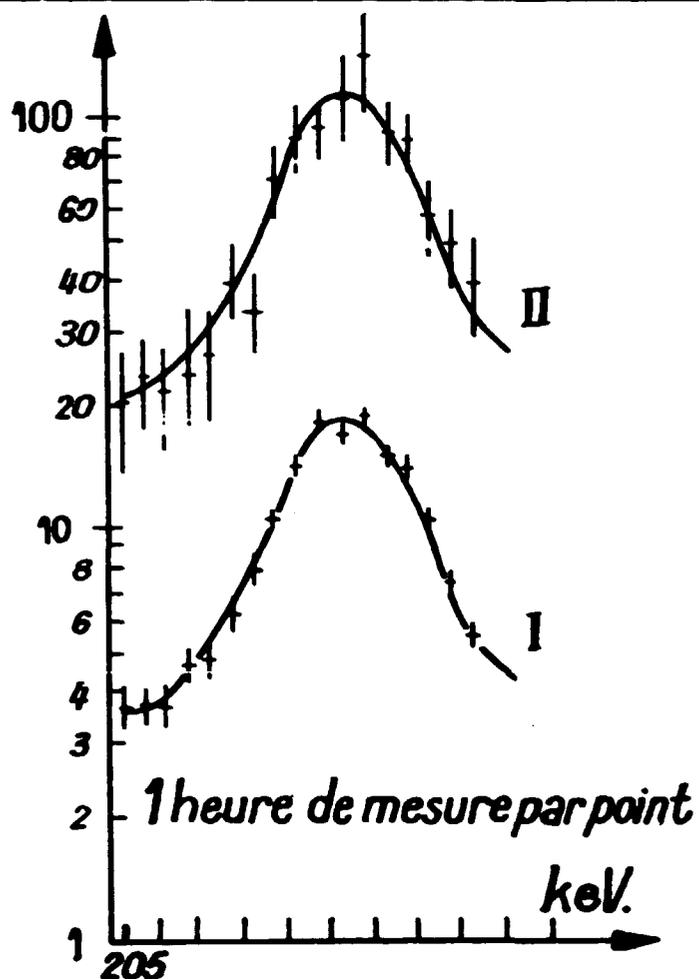


fig.18 - 2^{eme} groupe de γ de ^{75}Se

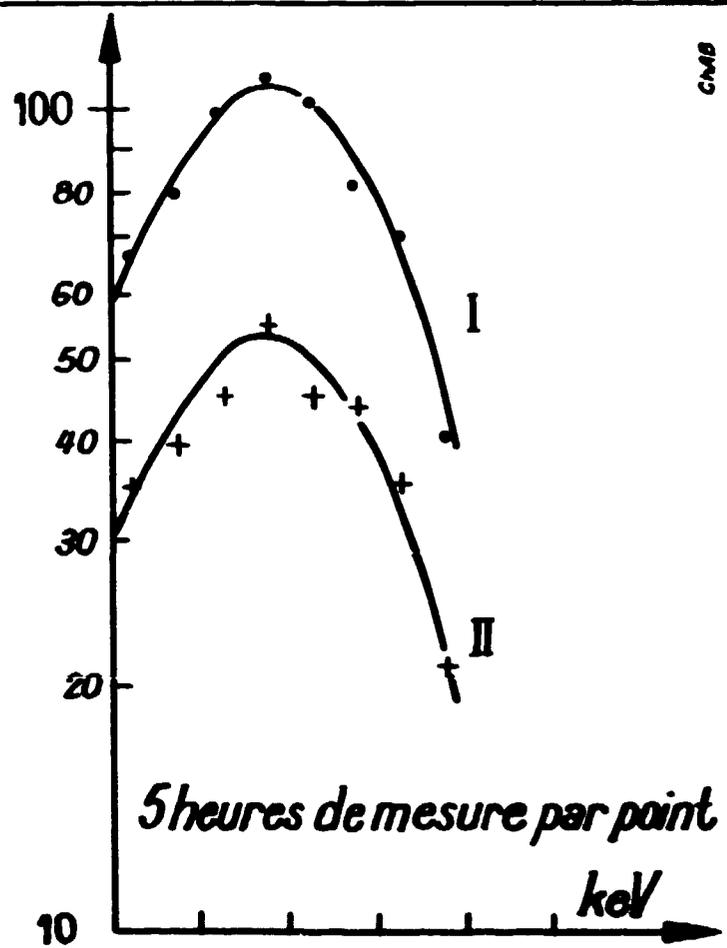


fig.19 - 3^{eme} groupe de γ de ^{75}Se

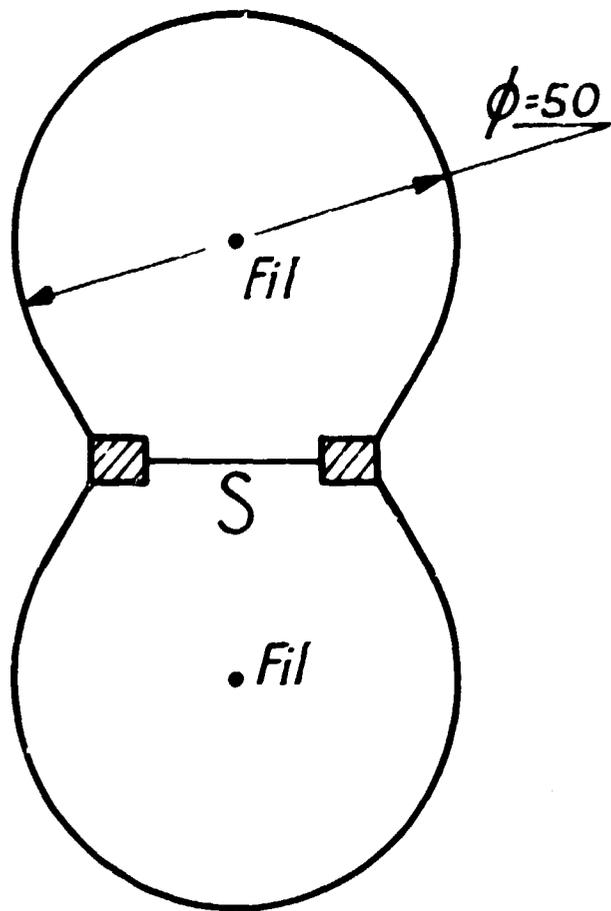


fig.20

Coupe du compteur double
ayant servi à l'étude de ^{73}As

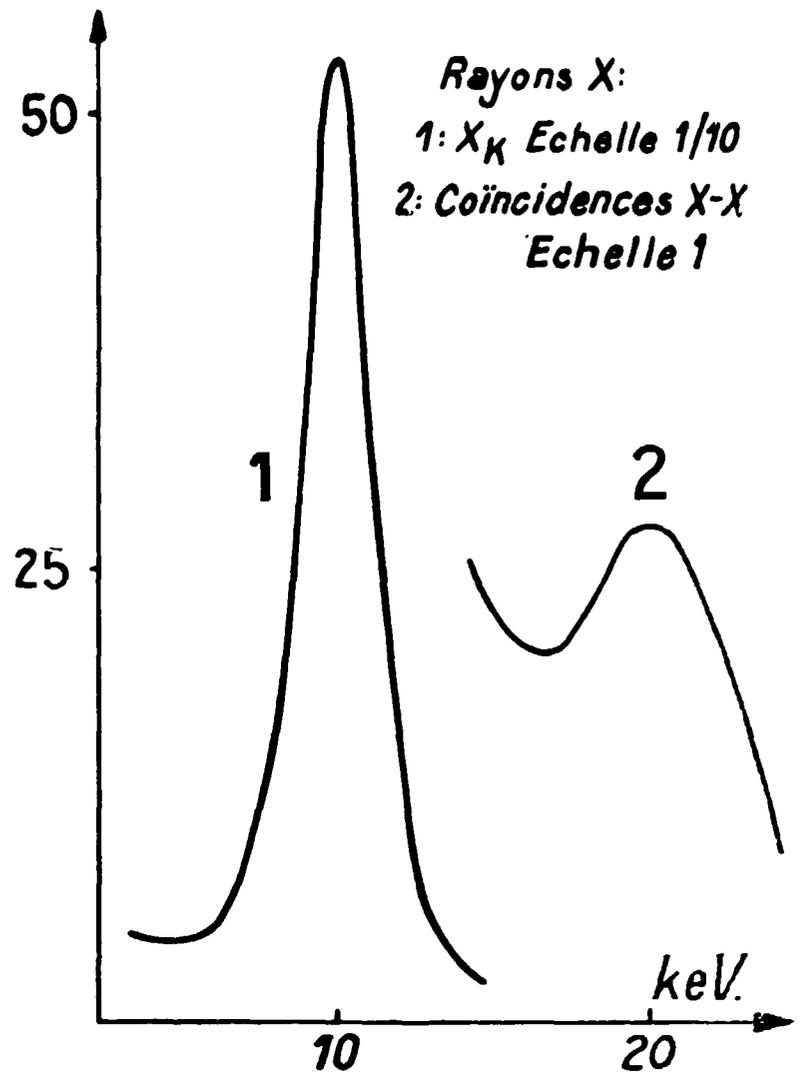


fig.21

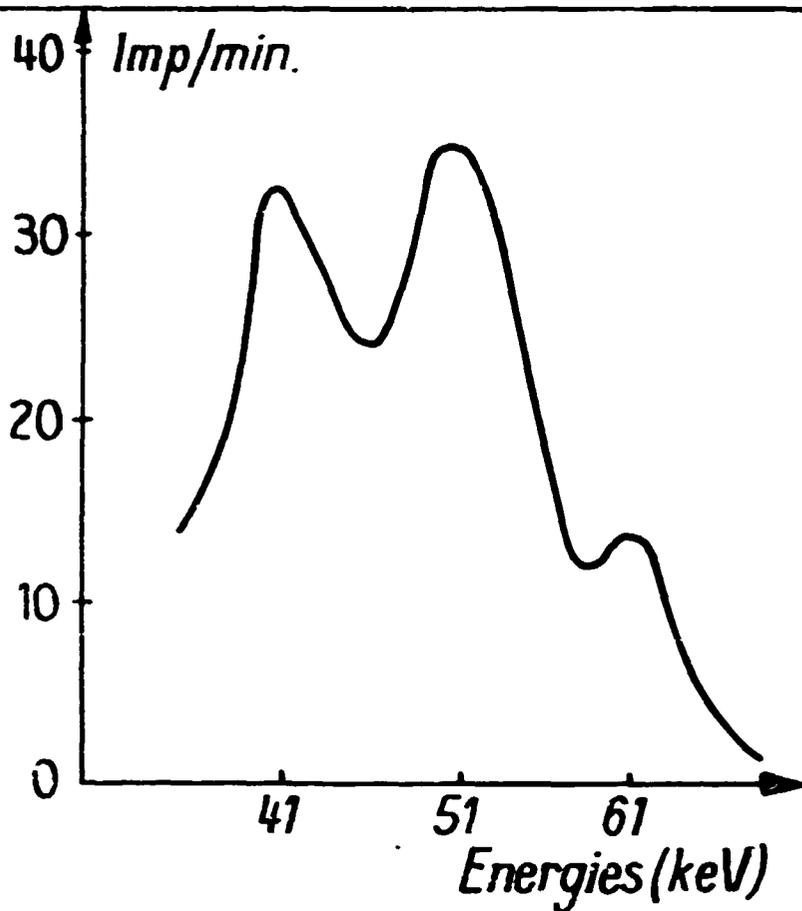


fig.22 Electrons de conversion
et rayons X de ^{73}As

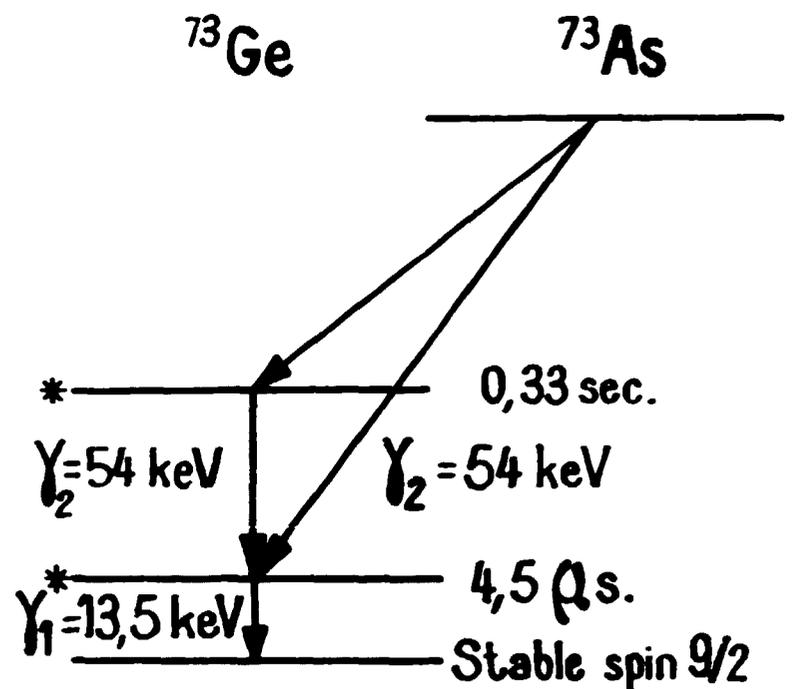


fig.23

Schéma possible de ^{73}As

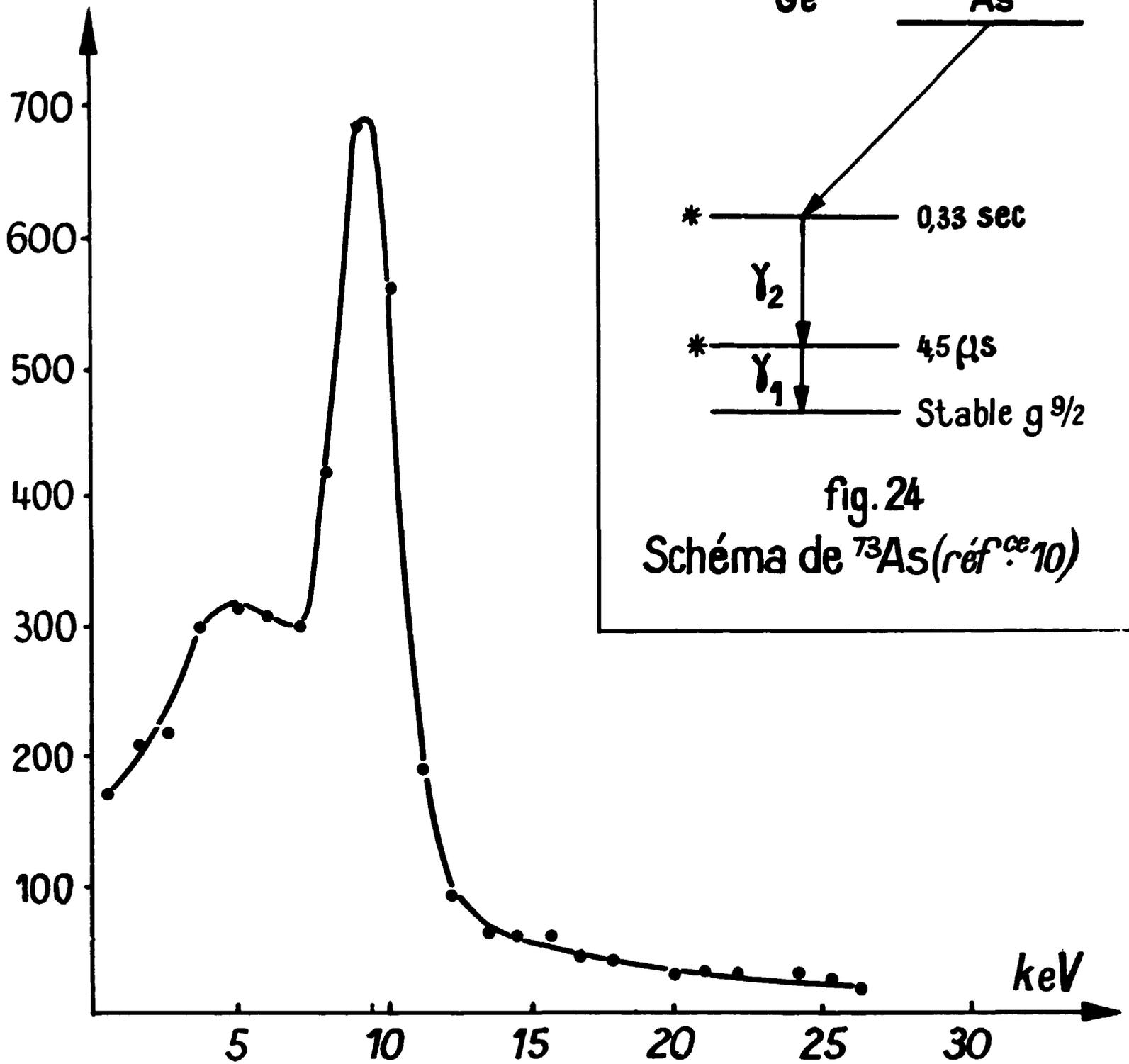
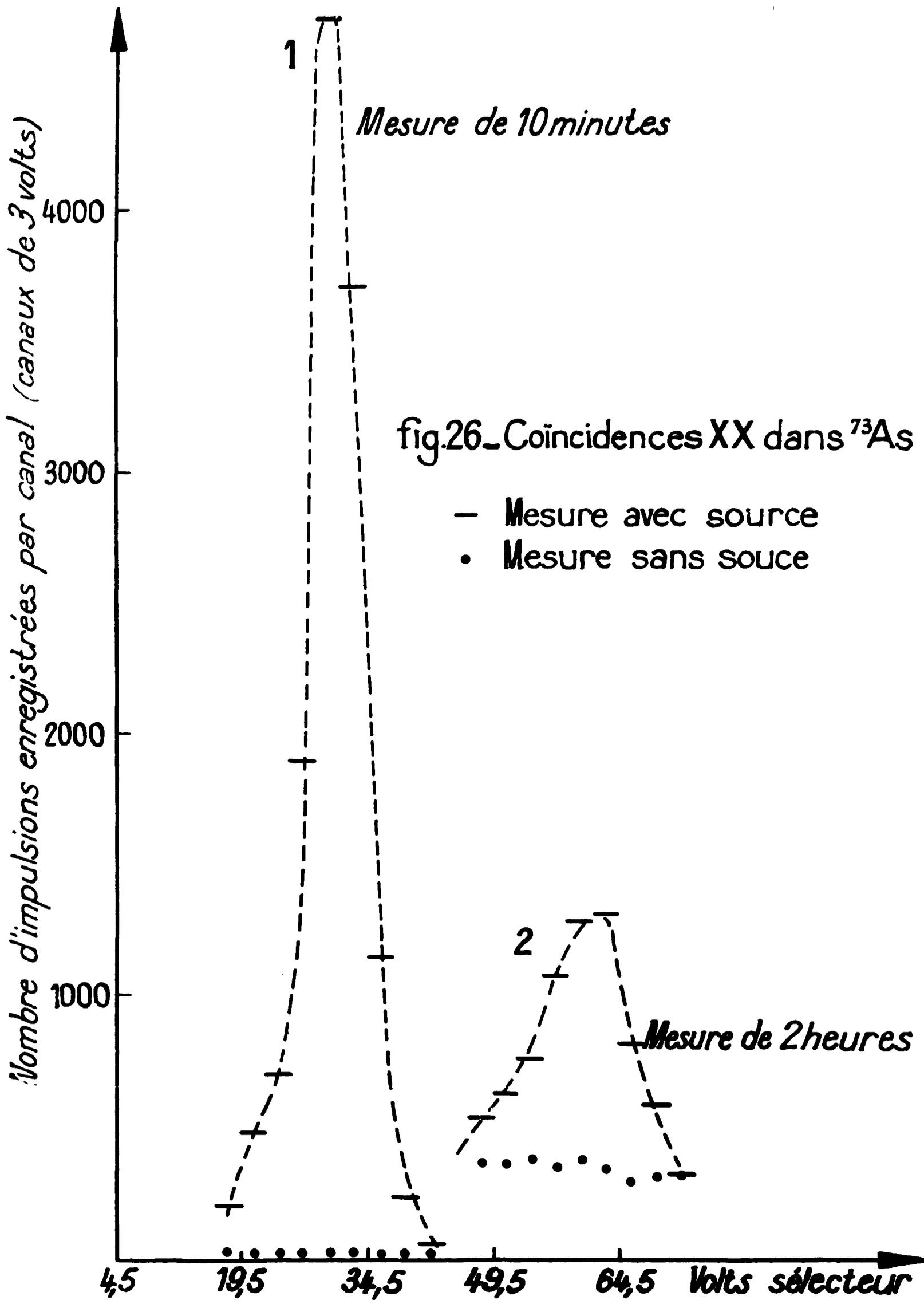


fig. 25_ Source de Ge irradiée par (dp)



FIN