- Note CEA-N 843 -

ETUDE DES POSSIBILITES DE MESURES DE FAIBLES QUANTITES DE GAZ RADIOACTIFS DANS UN MELANGE EN UTILISANT SIMULTANEMENT PLUSIEURS PROPRIETES NUCLEAIRES

par

Jacques MARAGNON, Camille DELPERIE

- Décembre 1967 -

ETUDE DES POSSIBILITES DE MESURES DE FAIBLES QUANTITES DE GAZ RADIOACTIFS DANS UN MELANGE EN UTILISANT SIMULTANEMENT PLUSIEURS PROPRIETES NUCLEAIRES

par

Jacques MARAGNON, Camille DELPERIE

TABLE DES MATIERES

	Page
LISTE DES PLANCHES	3
I - POSITION DU PROBLEME	4
II - PRINCIPE DE LA MESURE	5
III - REALISATION DU COMPTEUR	10
IV - APPAREILLAGE	12
V - RESULTATS OBTENUS	14
V-1 - Etalonnage du compteur	14
V-2 - Bruits de fond	15
V-3 - Influence d'une activité importante d'un autre isotope radioactif	18
VI - AMELIORATIONS DES PERFORMANCES ACTUELLES	19
VI-1 - Détecteurs	19
VI-2 - Electronique associée	21
VII - CONCLUSION	26
ANNEXE	27
REFERENCE	28

LISTE DES PLANCHES

PLANCHE I - Série de spectres de ^{85}Kr obtenus en 4 tranches de temps

PLANCHE II - Coïncidences réelles et fortuites en fonction l'activité de la source - Cas du premier compteur

PLANCHE III - Coïncidences réelles et fortuites en fonction de l'activité de la source - Cas du compteur amélioré.

I - POSITION DU PROBLEME

Il s'agit de définir les caractéristiques d'un ensemble de mesure permettant l'analyse de traces de gaz rares radioactifs dans des mélanges de gaz de compositions très variables.

Nous nous sommes attachés à définir un matériel n'exigeant qu'une très faible quantité totale de gaz : 10 cc NTP - En outre l'expérimentation ne doit entraîner aucune destruction ni modification de l'échantillon gazeux en permettant ainsi un traitement ultérieur. La fiabilité du matériel vis-à-vis de la conservation de l'échantillon devra donc être excellente.

Pour résoudre ce problème nous nous sommes orientés vers une solution permettant de distinguer les isotopes radioactifs les uns des autres et dans des rapports d'activité pouvant atteindre 10^6, grâce à plusieurs de leurs propriétés nucléaires : énergie de rayonnement γ, énergie de la particule β, temps de vie des niveaux excités.

Le choix d'un scintillateur plastique comme détecteur β permet de répondre d'une manière satisfaisante à la mesure des constantes nucléaires en raison du temps de désexcitation rapide de ce scintillateur. Il offre en outre l'avantage de pouvoir servir de réservoir à l'échantillon dans les conditions prévues ci-dessus et n'exige aucune limite quant à la composition de l'échantillon.

Nous avons basé notre étude sur la mesure du ^{85}Kr, l'analyse des autres gaz rares découlant immédiatement du principe adopté.

II - PRINCIPE DE LA MESURE

L'étude du schéma de désintégration du ^{85}Kr fait apparaître 2 difficultés de mesure en spectrométrie γ (Voir en annexe).

1/ Le rapport d'embranchement du rayonnement γ est très faible - 0,43 %. Il limite la sensibilité maximale de mesure.

2/ La présence du rayonnement de freinage additionné au bruit de fond γ ambiant et ^{40}K du cristal INa (TL) de détection γ masque presque totalement le photopic γ - pour des activités très faibles $\leq$ 0,1 µc.

Pour pallier ces difficultés, il est nécessaire d'une part, de rechercher le détecteur γ ayant la meilleure efficacité de détection (meilleure géométrie) et d'autre part, de trouver le principe de mesure permettant d'éliminer le spectre de rayonnement de freinage et la réduction des bruits de fond (coïncidences).

La solution utilisée est la suivante :

- On effectue une coïncidence semi-rapide dont le taux de résolution est fixé à θ = 15 ns environ, entre les rayonnements β et γ.

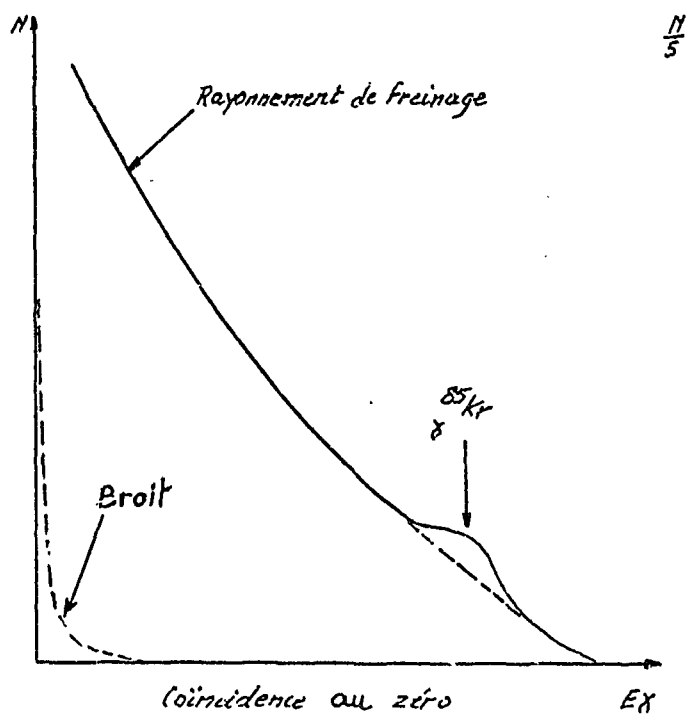
Le rayonnement de freinage qui est un évènement dont la durée de vie est très faible - de l'ordre de quelques nanosecondes - se classera en totalité dans la coïncidence au zéro - (Figure 1) et sera par conséquent "isolé".

Par contre, cette même coïncidence retardée de 2 θ par rapport au zéro, mettra en évidence une partie de la désintégration du niveau 514 keV, qui permettra de calculer l'activité de l'échantillon (Figure 2).

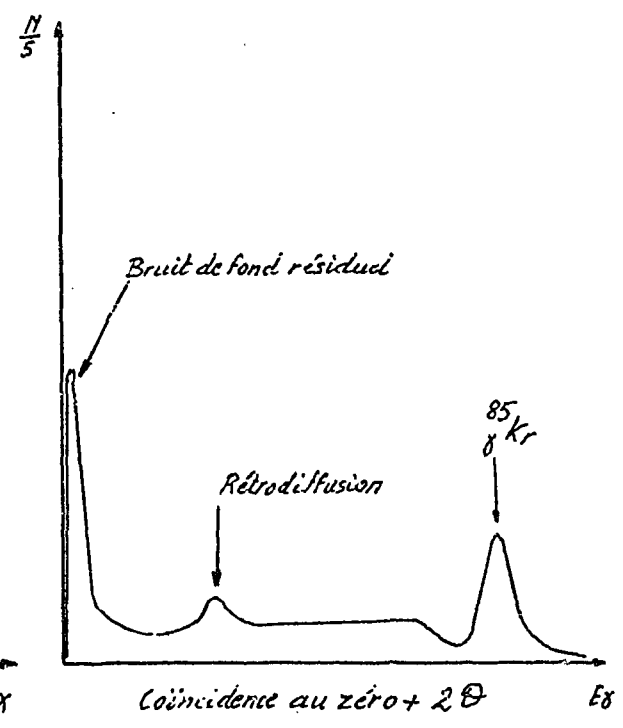
Dans cette tranche de temps, le taux de coïncidences fortuite, dues aux bruits de fond et au mouvement propre du détecteur γ est considérablement réduit (proportionnel à 2 θ).

Une série de coïncidences retardées de 2 θ en 2 θ permettra de tracer le spectre du temps séparant l'émission d'une particule β et la détection du rayonnement γ coïncident.

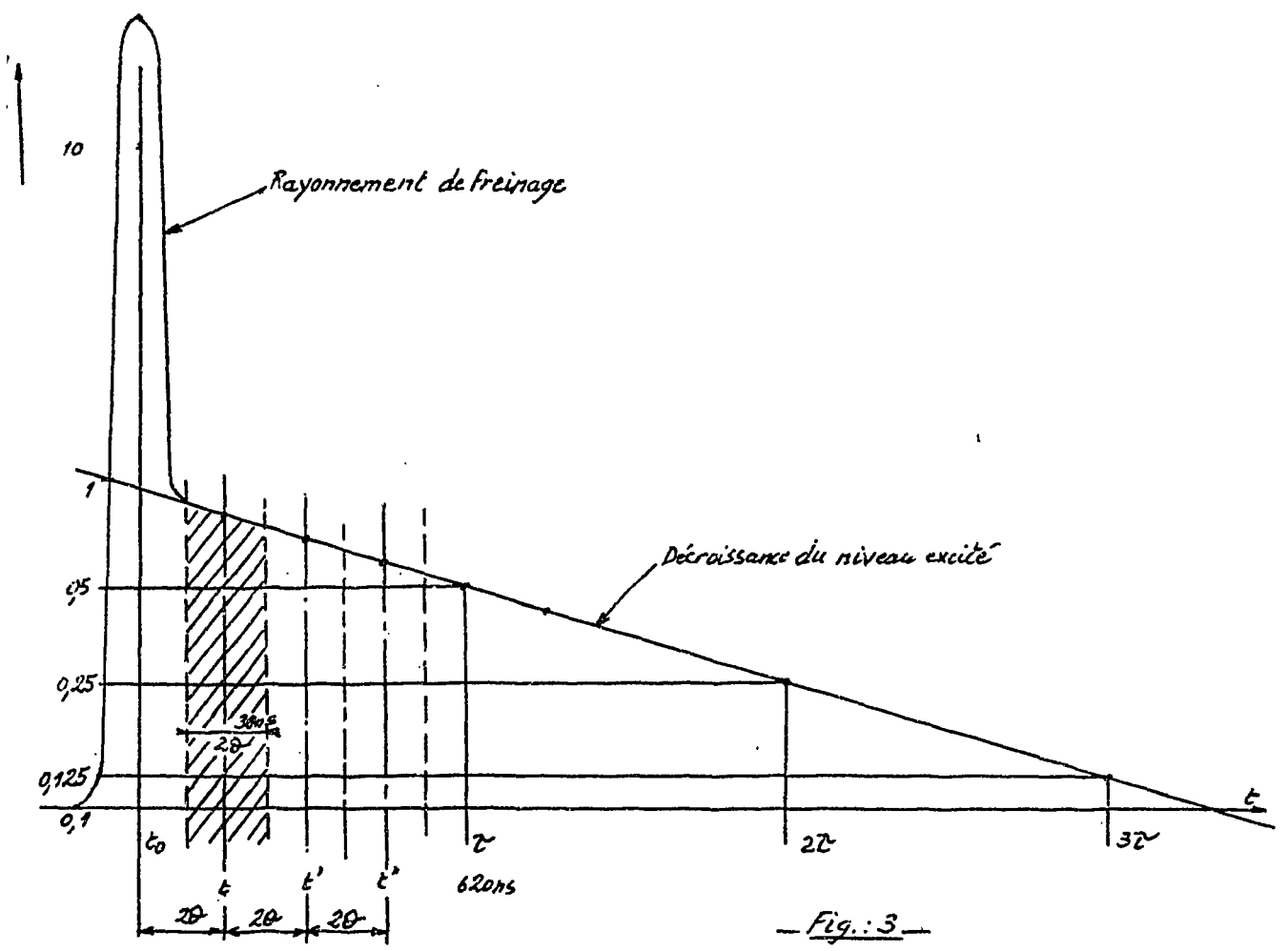
Ce spectre représente la courbe de décroissance du niveau excité 514 keV - (Figure 3).



— Fig. : 1 —



— Fig. : 2 —



— Fig. : 3 —

Le tracé de cette courbe, dans les mesures de très faible quantité de ^{85}Kr permettra d'améliorer la précision de la mesure.

Dans le cas où le ^{85}Kr se trouve en présence d'un ou de plusieurs autres gaz actifs, le principe de mesure offre plusieurs avantages

1/ La méthode de coïncidences retardées permet d'éliminer du spectre de rayonnement γ du ^{85}Kr, les spectres de rayonnement γ des autres gaz en présence, soit qu'ils ne sont pas émetteurs β, cas du ^{133m}Xe, soit qu'ils sont émetteurs β mais que le temps de vie du niveau excité est différent de celui du ^{85}Kr : ^{133}Xe ou ^{135}Xe.

Leur abondance, par rapport au ^{85}Kr à mesurer est limitée uniquement par le nombre de coïncidences fortuites qu'ils provoquent dans la bande d'énergie du photopic du ^{85}Kr

2/ La connaissance de la courbe de décroissance du niveau excité permet d'autre part, l'identification certaine du ^{85}Kr, voire des autres gaz radioactifs.

Nous avons représenté à titre d'exemple sur la figure 4 la courbe de décroissance du niveau excité du ^{133}Xe et du ^{85}Kr.

La durée de vie moyenne du niveau 81 keV du ^{133}Xe est de 6,3 ns, soit ~ 100 fois plus petite que celle du ^{85}Kr.

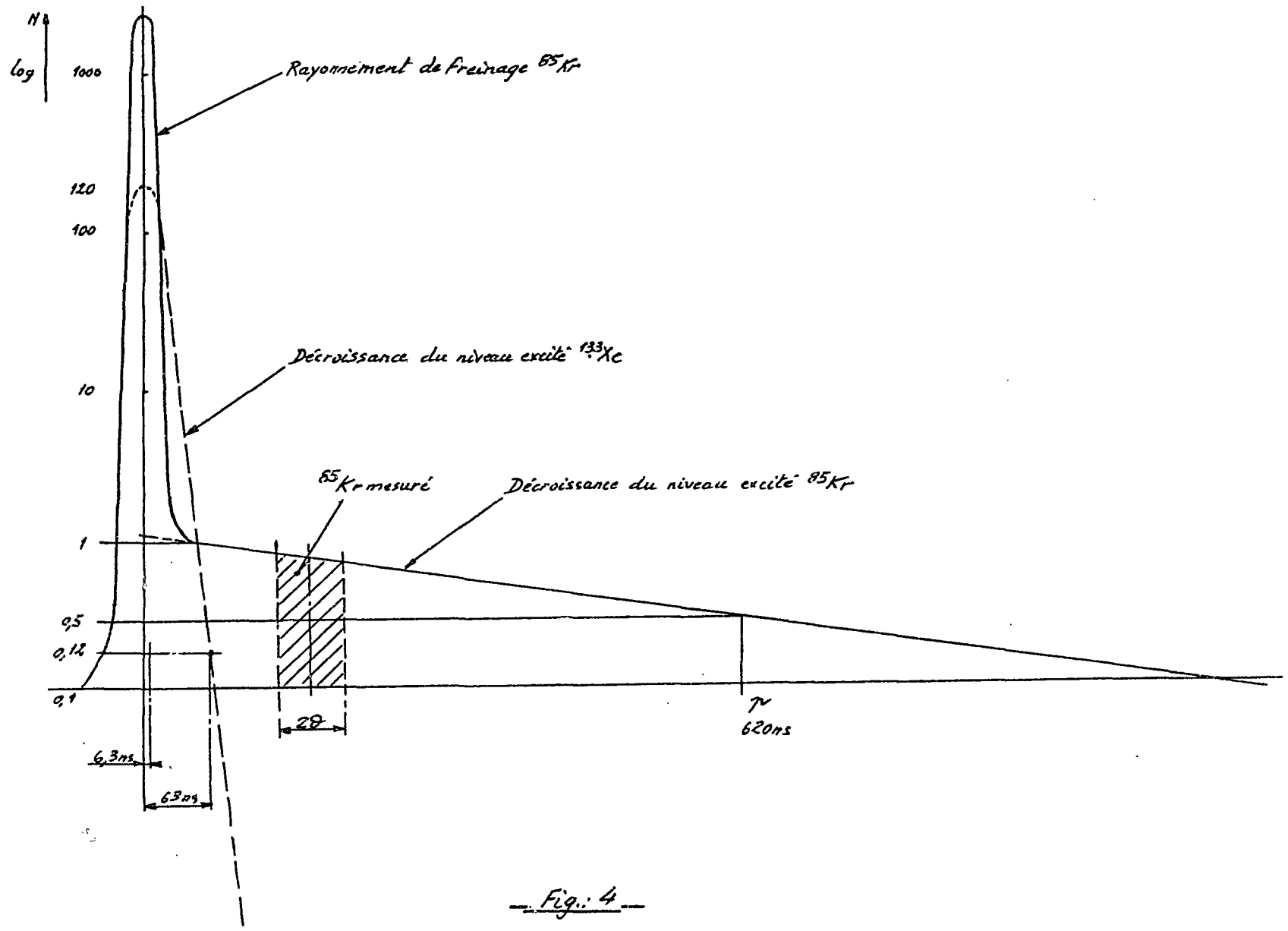

N
log
1000
120
100
10
1
0,5
0,12
0,1
Rayonnement de freinage 85Kr
Décroissance du niveau excité 133Xe
85Kr mesuré
Décroissance du niveau excité 85Kr
2θ
τ
620ns
6,3ns
63ns

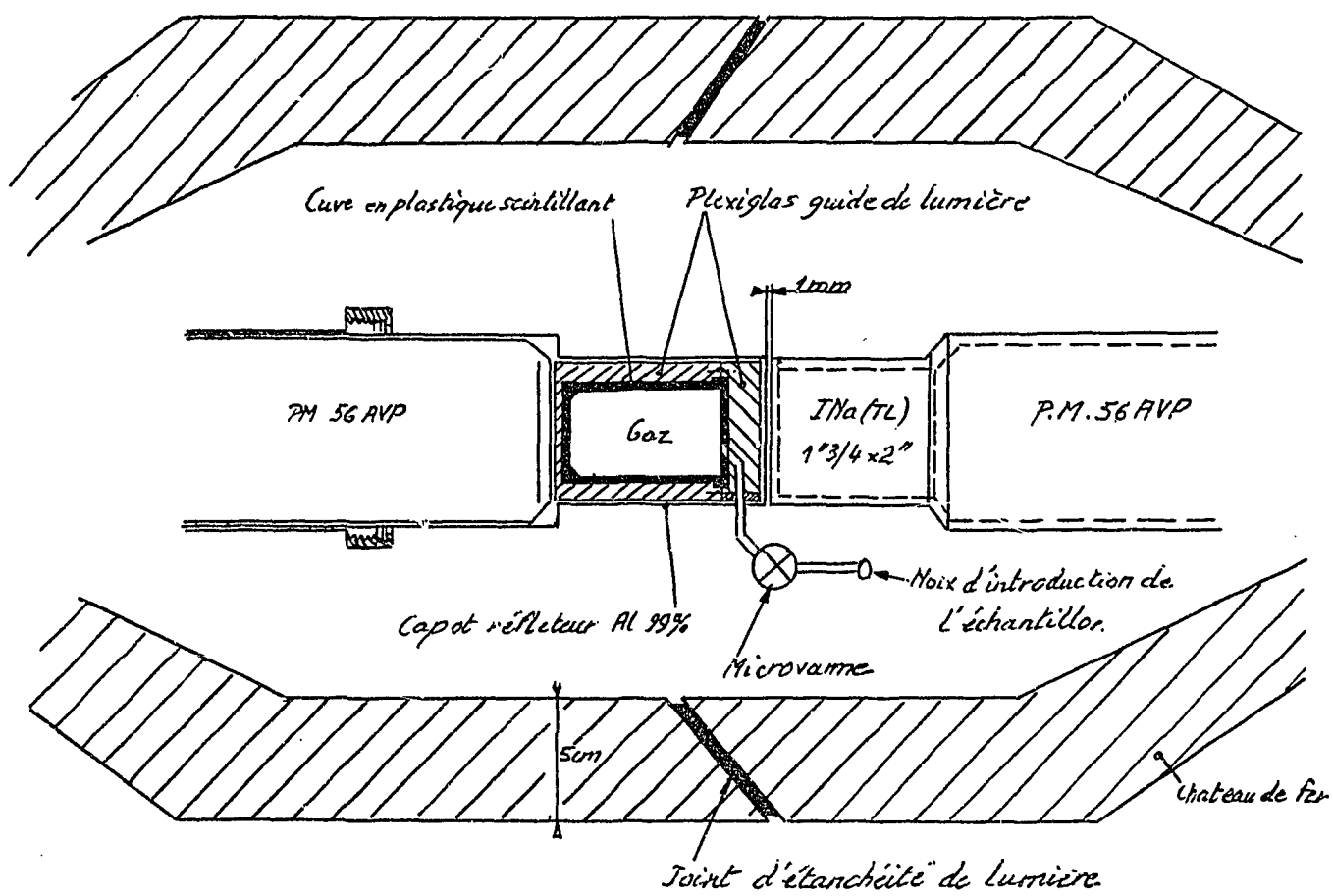
Fig.: 4

III - REALISATION DU COMPTEUR

Le compteur comprend un détecteur β - (en géométrie 4 π) en plastique scintillant associé à un tube Photomultiplicateur rapide Type 56 AVP, en regard d'un cristal INa activé au TL de dimensions 1 "3/4 x 2", intégré à un tube Photomultiplicateur Type 56 AVP également - constituant le détecteur γ.

L'ensemble est enfermé dans un château de fer, constitué par deux demi-coquilles (Figure 5).

Son but est de diminuer au maximum les rayonnements γ ambiants détectés par le détecteur γ, qui provoqueraient par la suite des coïncidences fortuites gênantes.



— Fig. : 5 —

Le détecteur β est de réalisation délicate.

Il est constitué d'une cuve en plastique scintillant de volume intérieur 10 cm^3 et d'épaisseur de paroi 2 mm. Le dégazage de cette cuve a été testé au spectromètre de masse et n'entraîne aucune perturbation des mesures.

Cette cuve est glissée dans un guide de lumière cylindrique en plexiglas de diamètre extérieur égal au diamètre de la photocathode du tube photomultiplicateur. La partie supérieure du détecteur est formée d'une feuille de plastique scintillant de 2 mm d'épaisseur collée à un cylindre en plexiglas qui a pour rôle principal de supporter le système d'introduction du gaz.

Ce système comporte une microvanne métallique à soufflet et une noix d'introduction en verre.

Le couvercle a pour rôle également de réaliser l'étanchéité de la cuve, par un joint torique normal logé dans une gorge.

L'ensemble est coiffé par un cylindre d'aluminium à 99% de pureté, poli intérieurement, utilisé comme réflecteur et également comme élément mécanique réunissant le détecteur au P.M.

Le remplissage de la cuve s'effectue par pompe Toepler entraînant une perte de gaz extrêmement faible.

Le détecteur γ est placé au contact du couvercle du détecteur β (1 mm) afin d'obtenir la meilleure efficacité de détection.

IV - APPAREILLAGE

L'appareillage d'électronique rapide, n'existant pas dans le commerce, une maquette a dû être étudiée au Laboratoire.

Elle comprend une quadruple coïncidence, admettant des retards pouvant atteindre 1 μs, soit plus d'une durée de vie moyenne du niveau excité du ^{85}Kr.

Le schéma synoptique de l'ensemble de mesure est montré Figure 6.

Les impulsions provenant des PM sont des impulsions rapides de temps de montée ≤ 5 ns disponibles sur impédance 50 Ω.

Ces impulsions sont discriminées et mises en forme en amplitude.

Elles sont chacune ensuite distribuées sur 4 voies, mises en forme en temps et attaquent 4 circuits de coïncidence rapide de $2\,\theta = 30$ ns.

Les tranches de temps de 30 ns de large sont distribuées par les retards R_o R_1 R_2 et R_3 insérés dans le circuit de distribution des informations β.

Les impulsions issues des 4 circuits de coïncidence sélectionnent les informations γ du spectre complet correspondant aux coïncidences retardées choisies et rejettent celles qui se placent en dehors. Ceci s'effectue par 4 portes linéaires distribuant le spectre γ à analyser.

Les 4 spectres étant sélectionnés, chacun attaque une voie d'entrée d'un aiguilleur.

L'aiguilleur a pour rôle de classer ces informations dans un sous-groupe de l'analyseur. Chaque sous-groupe correspondant ainsi à une tranche de temps déterminée.

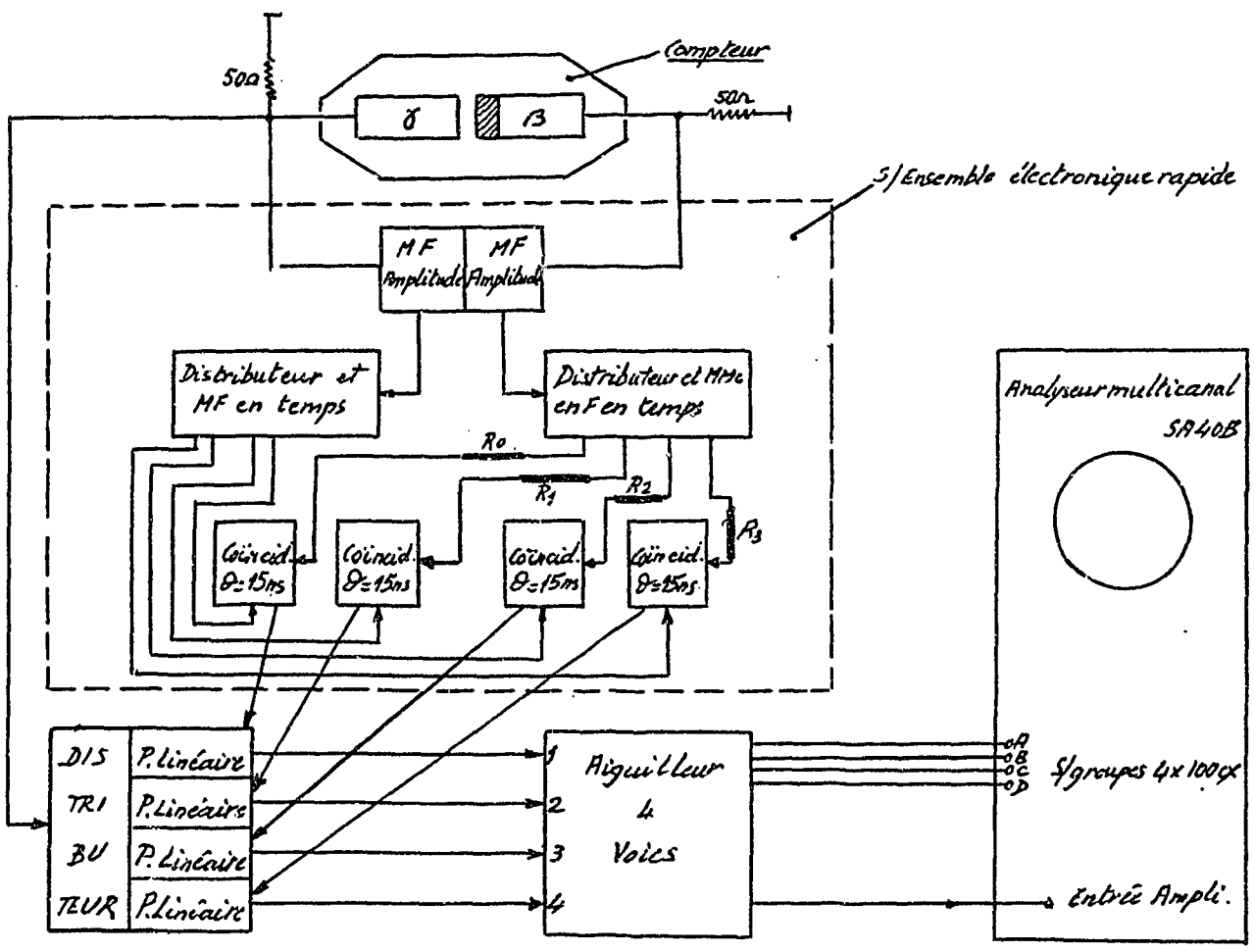


Fig. : 6

V - RESULTATS OBTENUS

Les éléments qui doivent être nécessairement connus pour envisager une mesure sont les suivants :

- Efficacité de détection γ
- " " " β
- Bruit de fond du détecteur γ dans la bande d'énergie intéressante.
- Bruit de fond global du détecteur β.

Ces éléments nous permettent de déterminer l'activité minimale mesurable avec le compteur et les temps de mesure nécessaires pour obtenir une précision suffisante.

V-1- Etalonnage du compteur

Une quantité de ^{85}Kr, connue en activité globale a été introduite dans le détecteur β.

Une première mesure, hors coïncidence, a servi à l'étalonnage du détecteur γ, dans la géométrie du compteur, pour l'énergie à mesurer de 514 keV.

Une seconde mesure en coïncidence, a permis d'en déduire l'efficacité du détecteur β pour le rayonnement β_1 coïncident.

Les résultats obtenus sont les suivants :

$$\varepsilon\gamma = 4,2.10^{-3} \text{ à } 514 \text{ keV}$$

$$\varepsilon\beta = \frac{Ncy}{No\gamma} = 8.10^{-1} \quad \text{soit } 80\%$$

$No\gamma$ est le nombre total de γ de 514 keV, détectés par le détecteur γ, dans le photopic pendant un temps T.

n c γ est le nombre de γ dans le photopic, pendant le même temps T, en coïncidence retardée, c'est à dire, dans la tranche de temps $t' - t = 34$ ns $= 2\ \theta$.

N c γ est le nombre total de γ, dans le photopic, pendant le temps T, en coïncidence, calculé à partir de N c γ, tel que :

$$N\ c\ \gamma = \frac{n\ c\ \gamma}{\exp-(0,693\frac{t}{\tau}) - \exp-(0,693\frac{t'}{\tau})}$$

ou τ représente la durée de vie moyenne du niveau excité.

V-2- <u>Bruits de fond</u>

Le bruit de fond du détecteur γ comprend le mouvement propre du cristal INa (TL), le bruit de fond du PM et le rayonnement γ ambiant.

Ce bruit n'est à considérer que dans la bande d'énergie autour de 514 keV correspondant à la largeur du pied du photopic.

Le bruit du détecteur β est constitué presque exclusivement du bruit du Photomultiplicateur.

Le nombre de coïncidences fortuites dues aux bruits des détecteurs dans la bande d'énergie définie ci-dessus nous est donné par la formule :

$$Nf_B = 2\,\theta\, NB_\beta \,.\, NB\gamma_{\Delta E}$$

où NBβ est le bruit global du détecteur β

et NBγ est le bruit compris dans la bande d'énergie

ΔE = 462 à 565 keV (514 ± 10%).

Les résultats obtenus avec le compteur sont les suivants :

NBβ = 50 c/s

$NB\gamma_{\Delta E}$ = 0,75 c/sec

d'où :

$$Nf_B = 34.10^{-9} \,.\, 50.0,75 = 1,3.10^{-6} \text{ c/s}$$

L'activité minimale mesurable peut être calculée à partir de ce nombre de coïncidences fortuites.

Pour une mesure de précision acceptable, un rapport 10 entre le nombre de coups γ dans le photopic et le nombre de coïncidences fortuites dans la bande d'énergie peut être considéré comme suffisant.

$$nc_\gamma = 10 \times Nf_B = 1,3.10^{-5} \text{ c/s}$$

pour : $2\,\theta = 34$ ns et un retard de coïncidence de 60 ns par exemple.

L'activité correspondante en ^{85}Kr sera :

$$nc\gamma = \frac{1,3.10^{-5}}{e^{-0,693.\frac{43}{620}} - e^{-0,693.\frac{17}{620}}} = 1,3.10^{-5}.29$$

$$Nc\gamma = 3,8.10^{-4} \text{ c/s}$$

$$A = \frac{Nc\gamma}{\varepsilon\,\gamma.\ \varepsilon\beta.\ \rho} = \frac{3,8.10^{-4}}{4,2.10^{-3}.\ 8.10^{-1}.43.10^{-4}} = 26 \text{ dps}$$

L'activité minimale mesurable en μc est donc :

égale à : $A = \dfrac{26}{3,7.10^4} = 7.10^{-4}\ \mu c$

Cette activité est l'activité totale du gaz compris dans le détecteur β quelles que soient la pression et la température.

Une mesure de ^{85}Kr dans ces conditions est montrée planche I.

L'activité de la source mesurée est d'environ $2.10^{-2}\mu c$.

Les 4 spectres représentent :

- de 0 à 99 canaux : spectre en coïncidence au zéro dans une tranche de temps de 34 ns.
- de 100 à 199 canaux : spectre en coïncidence retardée de 30 ns dans la même tranche de temps.
- de 200 à 299 canaux : spectre en coïncidence retardée de 60 ns.
- de 300 à 399 canaux : spectre en coïncidence retardée de 500 ns.

V-3- <u>Influence d'une activité importante d'un autre isotope radioactif</u>

On peut également calculer l'influence d'une activité A : 10^6 fois plus forte en ^{133}Xe ou ^{135}Xe sur la mesure du ^{85}Kr.

Les rayonnements γ émis par ces isotopes sont d'énergie plus faible que ceux du ^{85}Kr et ne les perturbent donc pas.

Les particules β émises créent une augmentation du nombre d'évènements sur la voie β et multiplient le nombre de coïncidences dans le domaine de 514 keV par le facteur :

$$\frac{\text{Activité Xe} \times 2\,\theta}{\text{Activité Kr} \times \rho}\ , \quad \text{soit} \quad \frac{10^6 2\theta}{\rho}\ .$$

On voit que le choix d'un temps de résolution de 15 ns nous permet de maintenir le taux de coïncidences fortuites à un niveau tout à fait admissible de l'ordre de l'activité Kr à mesurer.

VI - AMELIORATIONS DES PERFORMANCES ACTUELLES

VI-1- Détecteurs

Les mesures précédentes ont fait apparaître plusieurs inconvénients provenant de l'ensemble de détection.

L'inconvénient principal du compteur, tel qu'il a été réalisé est le manque d'efficacité du détecteur γ qui conduit pour la mesure des faibles activités de ^{85}Kr à des temps de mesure très longs (plusieurs jours) pour obtenir une statistique acceptable.

Il est nécessaire d'augmenter cette efficacité sans diminuer pour autant le rapport $\varepsilon\,\gamma/_{Mt\ propre}$ du cristal INa. La diminution de ce rapport aurait pour conséquence d'augmenter le nombre de coïncidences fortuites par rapport aux coïncidences réelles.

Il est indispensable également de diminuer le bruit de fond du détecteur β, si l'on veut améliorer l'activité minimale mesurable.

La largeur de la tranche de temps peut être également un paramètre sur lequel, dans certains cas, il peut être utile de jouer, par exemple, dans les retards supérieurs à 1 durée de vie moyenne du niveau excité, où le nombre de coups diminue dans le photopic γ.

Dans ce cas, il faut faire un compromis entre la statistique et les coïncidences fortuites.

Le détecteur proposé est constitué d'un cristal INa activé au TL de 5 "de diamètre par 5" de hauteur dans lequel est ménagé un logement pour le détecteur β. Celui-ci doit comprendre dans les dimensions hors-tout, la microvanne et la prise du système d'introduction du gaz, ce dernier étant rapporté à chaque remplissage.

Avec un tel détecteur on peut obtenir 20 % d'efficacité de détection à 514 keV (Fig. 7).

Le détecteur β, conservant la même géométrie et le même volume intérieur, conserve son efficacité, de telle sorte que l'efficacité globale du compteur sera augmentée dans le rapport des efficacité γ, c'est à dire de :

$$\frac{20.10^{-2}}{4,2.10^{-3}} \simeq 50.$$

Le temps de mesure se trouvera ainsi diminué de 50 par rapport au temps précédent pour la même activité et la même statistique.

En choisissant d'autre part, un photomultiplicateur à très faible bruit Type 56 UVP-03 par exemple, pour le détecteur β on peut diminuer d'un facteur 10 voire même 100 les coïncidences fortuites dans la bande d'énergie γ du ^{85}Kr.

L'activité minimale mesurable est diminuée dans le même rapport, ce qui nous permettra de mesurer, dans de bonnes conditions.

10^{-4} à 10^{-5} μc

Les planches II et III montrent le nombre de coïncidences réelles et de coïncidences fortuites dues aux bruits et dues à la source, (^{85}Kr seul) en fonction de l'activité de la source dans le cas du premier compteur (Fig. 5) et dans le cas du compteur amélioré (Fig. 7) respectivement.

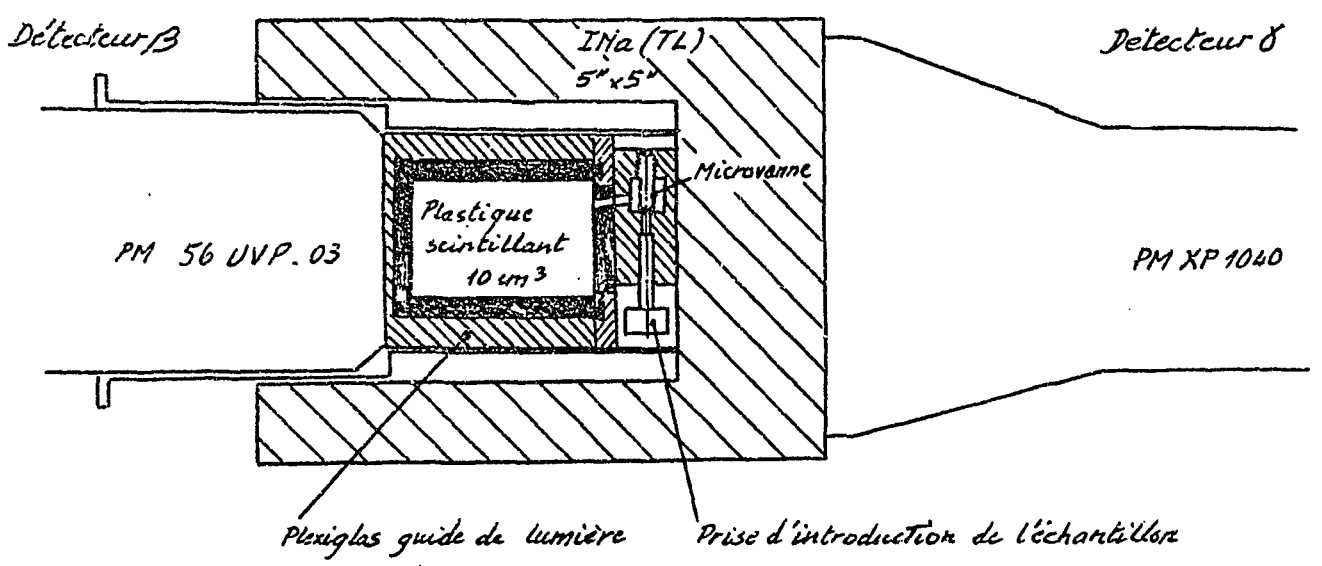


Fig. 7

VI-2- Electronique associée

L'utilisation de l'analyse biparamètrique dans la réalisation de cette expérience présente plusieurs intérêts.

Elle conduit, d'une part, à une simplification non négigeable des circuits et une souplesse de réglage et d'utilisation que l'appareillage précédent ne permet pas et d'autre part, les résultats obtenus dans le même temps de mesure sont beaucoup plus nombreux ce qui améliore leur précision.

De plus, les résultats acquis, peuvent être facilement exploités par un calculateur qui peut délivrer à partir d'un programme approprié, l'activité de ou des gaz constituant l'échantillon.

Le schéma synoptique de l'appareillage est le suivant (Fig. 9).

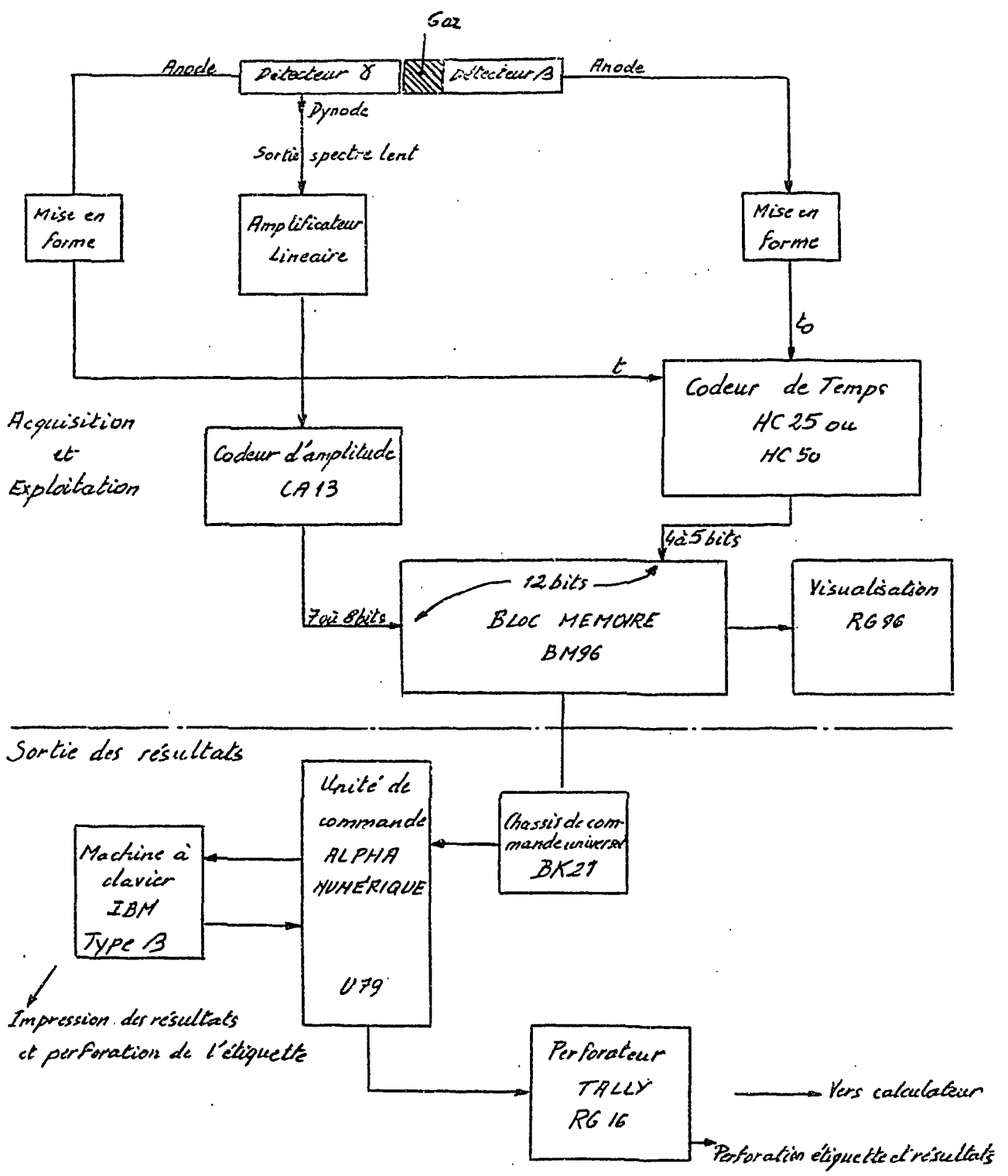


Fig. : 9

Le détecteur β délivre, par l'intermédiaire d'une mise en forme une information "temps to", caractérisant l'émission d'un β.

Le détecteur γ délivre 2 informations :

- Une information "temps t" par l'intermédiaire d'une mise en forme, caractérisant le retard avec lequel est émis le γ par rapport au β.

- Et une information linéaire caractérisant l'énergie du γ émis.

Les deux informations temps to et t sont envoyées dans un codeur de temps HC 25 ou HC 50 de préférence (rapidité). Celui-ci permet de diviser la mémoire du bloc mémoire BM 96 en tranche de temps constituant ainsi l'axe des Z.

L'information linéaire est codée en amplitude par le codeur CA 13. Elle se classe dans le bloc mémoire suivant son énergie - axe des X - le nombre d'évènements étant figuré sur l'axe des Y (Fig. 10).

De plus, en fonction du temps t avec lequel elle se présente, elle se placera dans la tranche de temps sélectionnée par le codeur de temps.

Ceci revient à tracer dans 4096 canaux, 32 spectres de 128 canaux ou 16 spectres de 256 canaux ..., etc..., correspondant chacun à une tranche de temps dont les largeurs peuvent être déterminées au début de l'expérience, soit égales pour chacun des spectres, soit variables suivant une répartition choisie.

L'unité de visualisation RG 96 permet d'obtenir les spectres en volume.

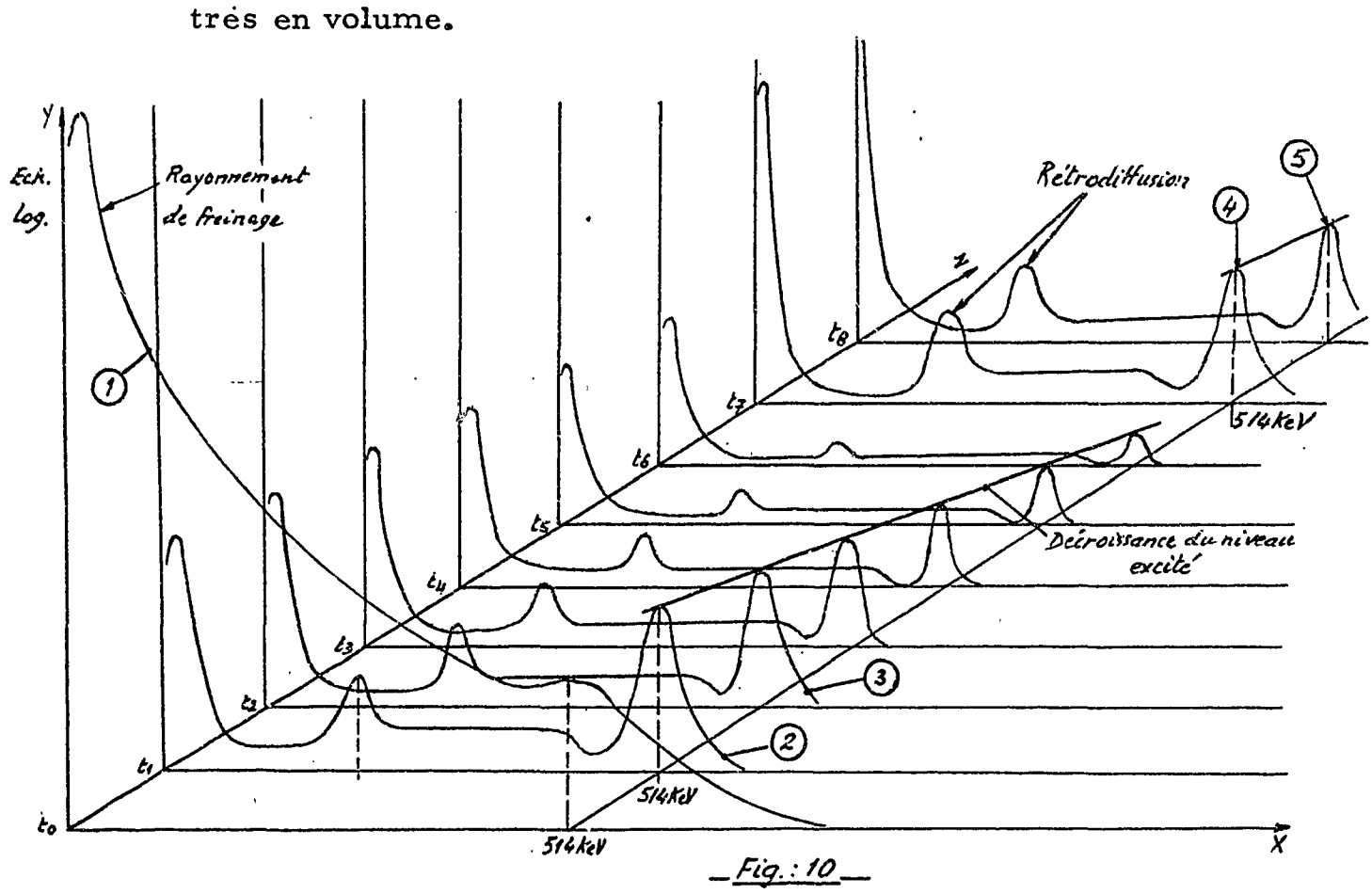


Fig. : 10

Le spectre ① correspond aux rayonnements γ émis dans un temps $t < t_1$ par rapport au rayonnement β_1 coïncident.

Le spectre ② correspond aux rayonnements γ dont l'émission a eu lieu dans un temps compris entre t_1 et t_2, etc ...

Ces écarts de temps $t_2 - t_1$, $t_3 - t_2$ etc... peuvent varier entre 10 (HC 50) et 1280 ns par bonds binaires, en cours de progression (accordéon) comme le montrent dans la Figure 10 les 2 spectres 4 et 5 où la largeur de la tranche de temps (ou largeur de canal) a été multipliée par 4. Cette possibilité est très utile dans le cas des faibles activités.

Ces informations étant acquises et classées dans le bloc d'exploitation, il reste à sortir les résultats.

La sortie des résultats peut se faire directement sur imprimante, enregistreur potentiomètrique ou table traçante digitale dans le cas d'un traitement manuel des résultats.

Elle peut se faire également sur bande perforée dans le cas d'un traitement automatique de résultats par calculateur.

Dans ce cas, une machine à clavier est nécessaire d'une part pour contrôler la perforation et avoir les résultats en clair simultanément et d'autre part, pour perforer l'étiquette caractérisant l'échantillon et le mode d'acquisition, avant ou après perforation des résultats.

Cette électronique est évidemment beaucoup plus élaborée que la première et son coût est par conséquent bien supérieur.

Toutefois, elle permet un gain de temps énorme pour des résultats équivalents, par rapport à la première électronique et dans certaines périodes où le nombre d'échantillons à mesurer est grand, elle devient indispensable.

VII - CONCLUSION

Il est important d'insister sur la philosophie de cette mesure qui repose sur le principe d'une analyse biparamètrique.

On mesure l'isotope à la fois :

- par l'énergie du rayonnement γ émis
- par la durée de vie du niveau excité correspondant.

La combinaison des deux paramètres permet d'améliorer grandement la précision de la mesure pour une statistique donnée.

Les résultats obtenus sont très encourageants et nous comptons appliquer ce principe d'analyse à beaucoup d'autres cas en améliorant, d'une part, le détecteur comme nous l'avons indiqué Chapitre VI-1 et d'autre part, la rapidité de l'électronique associée.

Ce type d'analyse pourrait s'appliquer, soit dans la mesure des gaz, pour la mesure du ^{133}Xe et du ^{135}Xe dont les durées de vie des niveaux excités sont respectivement de $6,3.10^{-9}$ et $2,8.10^{-10}$ secondes, soit dans la mesure des solides tels que : ^{90}Y, ^{99}Mo, ^{111}Ag, ^{109}Cd, ^{141}Ce, ^{147}Nd, ^{239}Np, ^{237}U dont les durées de vie des niveaux excités se répartissent entre quelques 10^{-10} et quelques 10^{-8} secondes.

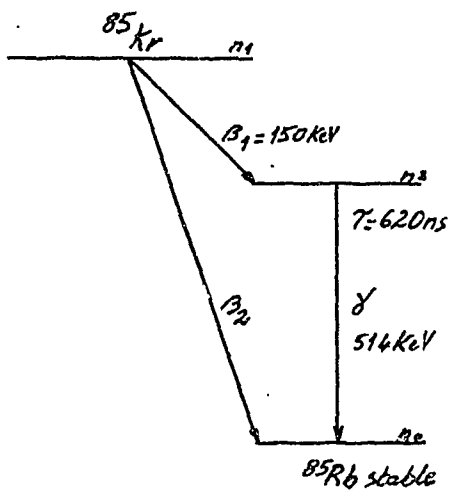
A N N E X E

- Schéma de désintégration du ^{85}Kr

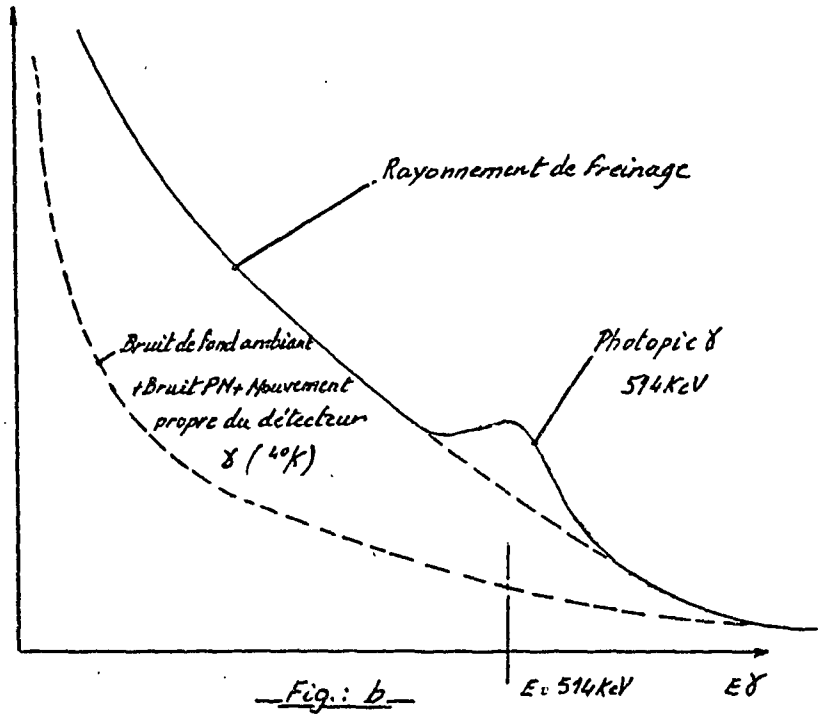
Le ^{85}Kr se désintègre par émission d'une particule β directe d'énergie maximale E_2 = 672 keV (ρ ≅ 99%) et d'une deuxième émission β_1 d'énergie maximale E_1 = 150 keV (ρ = 0,7%) conduisant à un niveau excité n_2 du ^{85}Rb.

Ce niveau se désexcite par émission d'un rayonnement γ de 514 keV, dont l'intensité absolue est très faible : 0,43 %.

La durée de vie moyenne de ce niveau est de 0,620 µs (Fig. a). Le rayonnement de freinage dû au ralentissement des β dans le gaz est très important. Le spectre γ d'amplitude obtenu avec un analyseur multicanal et un détecteur INa (TL) est représenté par la figure b ci-dessous, l'activité de la source étant grande par rapport aux bruits.



— Fig. : a —



— Fig. : b —

REFERENCE

- Rapport ESS MES 430 - En cours de publication

"Etude de l'analyse par spectrométrie γ d'un mélange de gaz rares radioactifs Xenon, Krypton de faible abondance".
par MM. J.B. BOULLOUD, A. LEMAGNE et P. SIMONET.

Manuscrit reçu le 27 octobre 1967

- ^{85}Kr coïncident à -

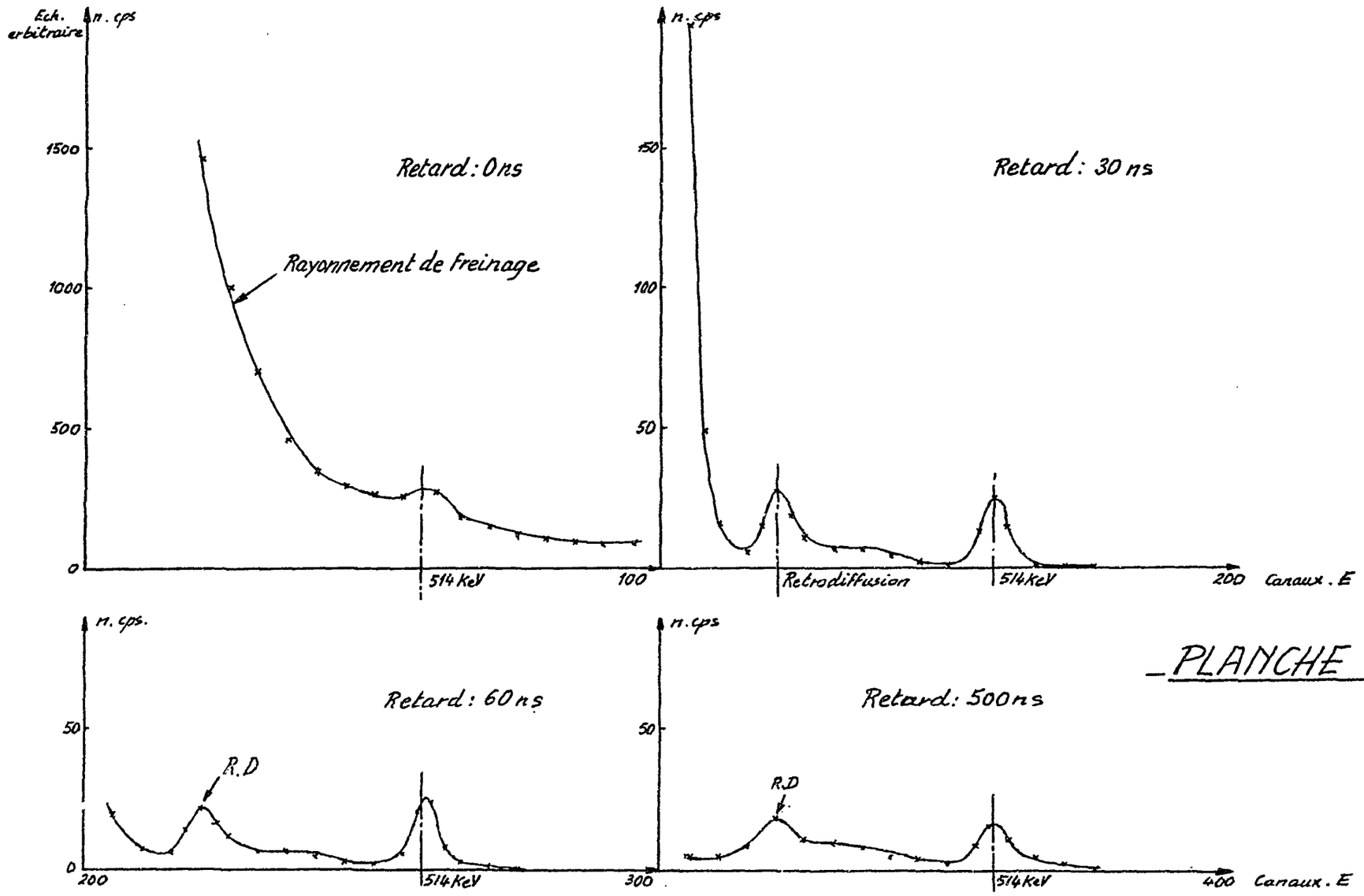


PLANCHE I

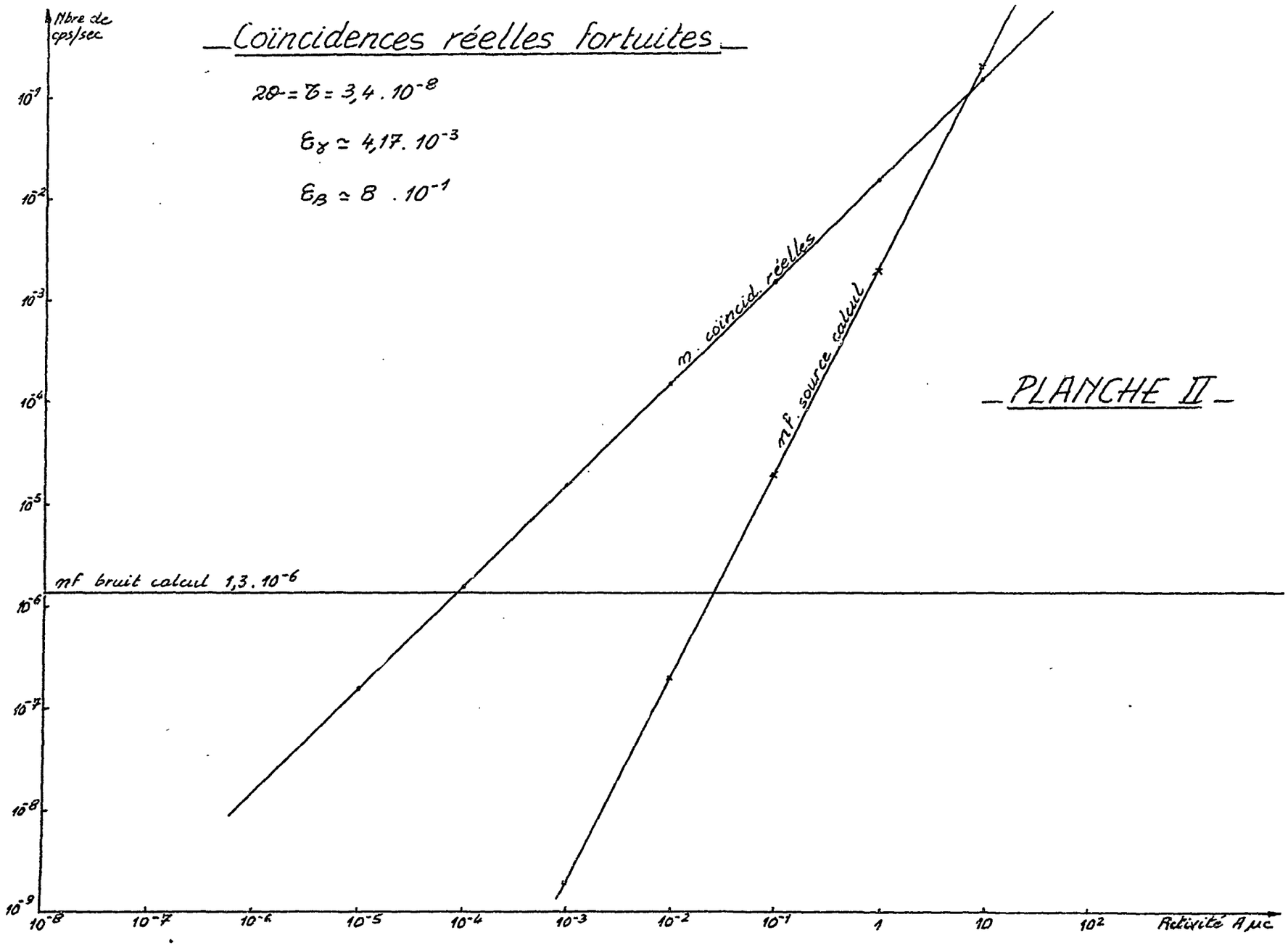

Nbre de cps/sec
Coïncidences réelles fortuites
$2\theta = \tau = 3,4 . 10^{-8}$
$\varepsilon_\gamma \simeq 4,17 . 10^{-3}$
$\varepsilon_\beta \simeq 8 . 10^{-1}$
m. coïncid. réelles
mf. source calcul
mf bruit calcul $1,3 . 10^{-6}$
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
10^{-9}
10^{-8}
10^{-7}
10^{-6}
10^{-5}
10^{-4}
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
1
10
10^{2}
Activité A µc

PLANCHE II

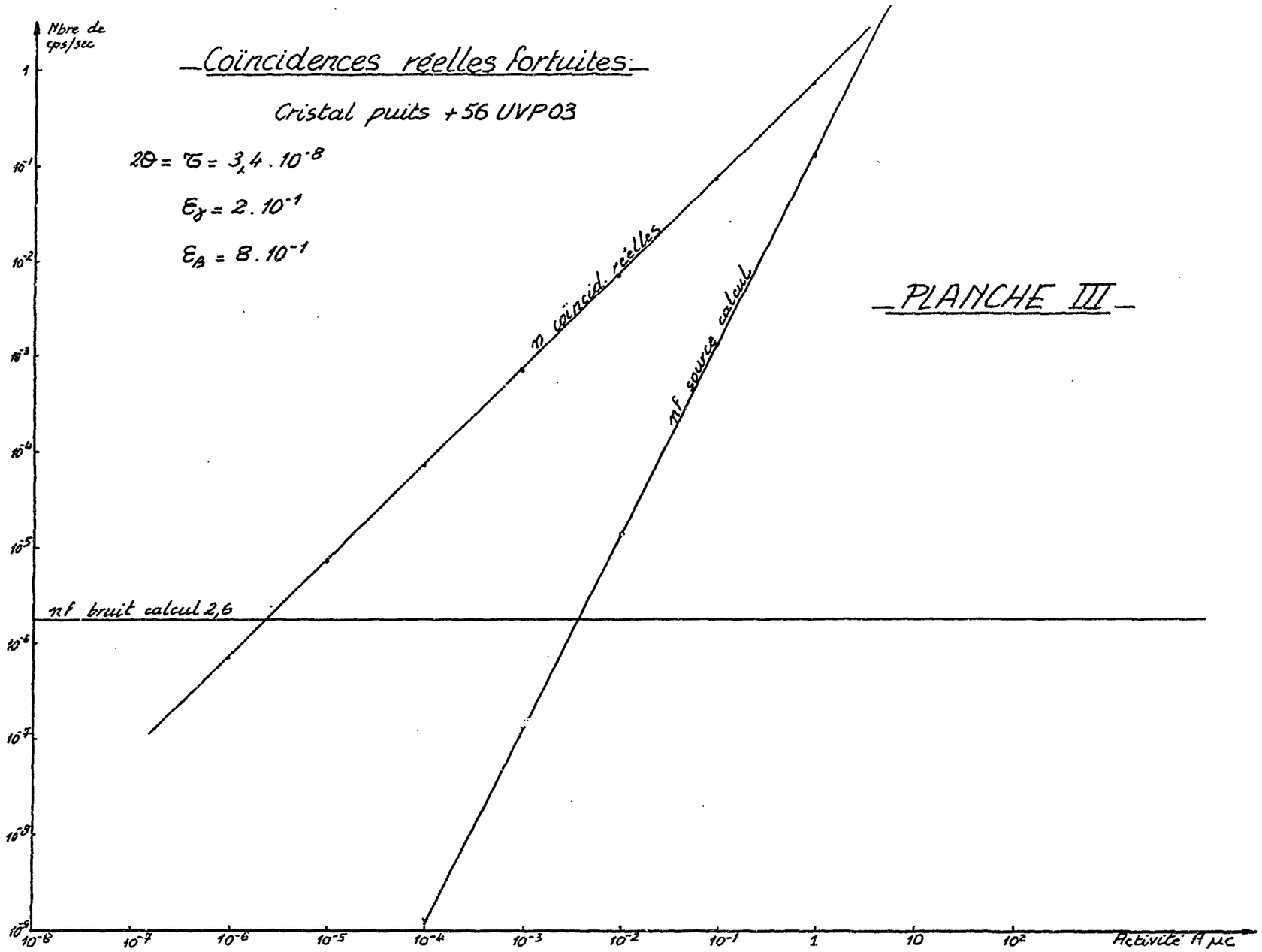

Nbre de cps/sec
Coïncidences réelles fortuites
Cristal puits + 56 UVP03
2θ = τ = 3,4 . 10⁻⁸
ε_γ = 2 . 10⁻¹
ε_β = 8 . 10⁻¹
n coïncid. réelles
nf source calculé
nf bruit calcul 2,6
1
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
10⁻⁵
10⁻⁶
10⁻⁷
10⁻⁸
10⁻⁹
10⁻⁸
10⁻⁷
10⁻⁶
10⁻⁵
10⁻⁴
10⁻³
10⁻²
10⁻¹
1
10
10²
Activité A µc

PLANCHE III