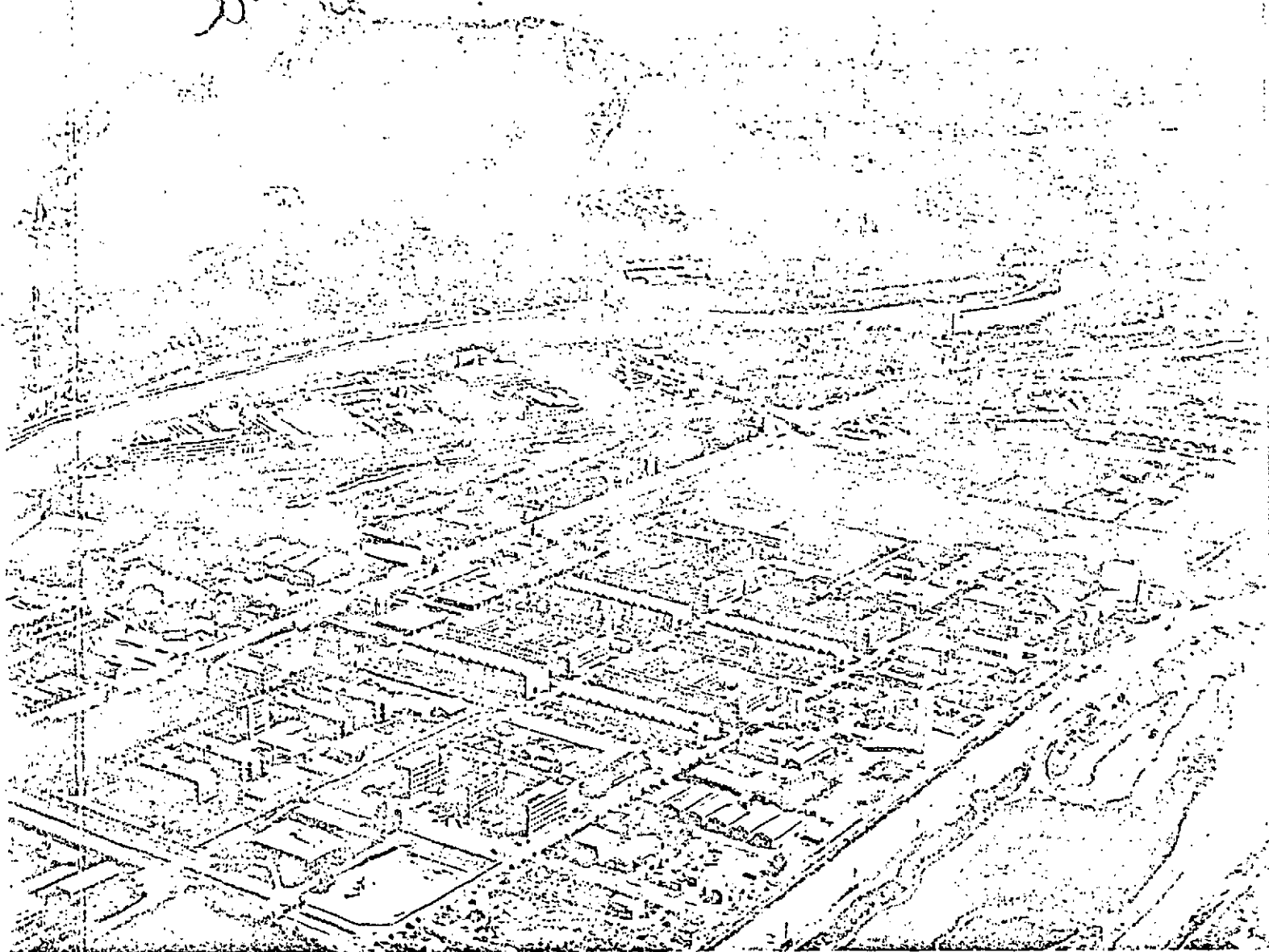


Wm. Harlot



COMMISSARIAT
A L'ENERGIE
ATOMIQUE

Note Technique LETI/MCTE n° 1056

METHODE DE LOCALISATION DE
RAYONNEMENT X A HAUTE RESOLUTION
SPATIALE :
DESCRIPTION ET PERFORMANCES OBTENUES

R. ALLEMAND
G. THOMAS

LABORATOIRE
D'ELECTRONIQUE
ET DE
TECHNOLOGIE

DE L'INFORMATIQUE

CENTRE D'ÉTUDES NUCLÉAIRES
DE GRENOBLE

C.E.A. - C.E.N-G

LABORATOIRE D'ELECTRONIQUE ET DE
TECHNOLOGIE DE L'INFORMATIQUE

Laboratoire Mesure, contrôle et
Traitement Electronique

le 6 novembre 1974

~~Commissariat à l'Énergie Atomique~~

au 3^e Colloque sur les Méthodes
Analytiques par Rayonnement X

Nice - 16 au 21 septembre 1974

CEA-CONF--2801

Note Technique LETI/MCTE n° 1056

METHODE DE LOCALISATION DE
RAYONNEMENT X A HAUTE RESOLUTION
SPATIALE :
DESCRIPTION ET PERFORMANCES OBTENUES

R. ALLEMAND

G. THOMAS

1 - SIGNAUX ELECTRIQUES INDUITS DANS UN COMPTEUR PROPORTIONNEL

Le système de localisation présenté ci-après utilise les signaux électriques induits sur les éléments de cathode d'une chambre proportionnelle monofil ou multifils.

En effet, on sait que dans un compteur proportionnel cylindrique comme celui de la figure 1, la cathode qui est en influence électrique totale par rapport au point du fil sur lequel se développe l'avalanche électronique, reçoit une quantité de charges égale en valeur absolue et de signe opposé à celle collectée sur le fil d'anode.

La densité de charges recueillie sur la cathode en géométrie cylindrique est donc proportionnelle à l'angle solide $d\Omega$ sous lequel la zone de multiplication induit des charges sur l'élément de surface ds .

2 - PRINCIPE DU DECOUPAGE GEOMETRIQUE DE LA CATHODE

2.1. Forme des cathodes

Les signaux induits utilisés pour la localisation sont généralement obtenus par un fractionnement de la cathode en plusieurs surfaces élémentaires, souvent des bandes en nombre variable [1].

Nous proposons ici un découpage original que nous appelons "découpage en jeu de jacquet". En effet, si nous développons le cylindre de cathode comme il est indiqué en figure 2, les deux "demi cathodes" prennent alors la forme de deux triangles rectangles imbriqués [2].

Après mise en place dans le compteur, ces deux "demi cathodes" épousent la forme indiquée sur la figure 3 et servent d'électrodes de collection des deux signaux électriques induits.

2.2. Théorie de la localisation

Soit x_0 la coordonnée du barycentre des charges formées lors d'une avalanche le long du fil d'anode. Selon cet axe, l'origine étant prise au centre du compteur de demi-longueur a et de rayon R , l'angle solide Ω_1 sous lequel les charges influencent la demi cathode K_1 a pour expression :

$$\Omega_1 = \frac{\pi}{a} \left[\frac{R^2 + (a + x_0)^2}{[R^2 + (a + x_0)^2]^{\frac{1}{2}}} + \frac{-R^2 + (a + x_0)(a - x_0)}{[R^2 + (a - x_0)^2]^{\frac{1}{2}}} \right]$$

La demi cathode K_2 est alors influencée sous un angle solide Ω_2 d'expression complémentaire.

Enfin, l'angle total d'influence des deux demi cathodes actives est donné par :

$$\Omega_{\text{total}} = 2\pi \left[\frac{a - x_0}{[R^2 + (a - x_0)^2]^{\frac{1}{2}}} + \frac{a + x_0}{[R^2 + (a + x_0)^2]^{\frac{1}{2}}} \right]$$

On pourra donc avec l'aide de deux amplificateurs de charges A_1 et A_2 , connectés respectivement à K_1 et K_2 , obtenir deux signaux électriques S_1 et S_2 proportionnels à Ω_1 et Ω_2 , et auxquels nous allons faire subir un traitement électronique aussi simple que possible afin de restituer la coordonnée du barycentre des charges.

Nous avons démontré que si l'on a :

$$R \ll a$$

On obtient une expression linéaire en x_0 en effectuant :

$$\begin{aligned} \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} &= \frac{\Omega_1 - \Omega_2}{\Omega_1 + \Omega_2} \\ &= -1 + \frac{2\Omega_1}{\Omega_{\text{total}}} \\ &\approx \frac{x_0}{a} \end{aligned}$$

3 - RESOLUTION EN POSITION DU SYSTEME

3.1. Fluctuation liée au nombre de charges

C'est le terme dû à la variance du nombre de charges collectées sur chaque demi cathode.

Soit M le coefficient de multiplication du compteur et N_0 le nombre de charges primaires, l'écart type de la fonction :

$$\begin{aligned} x_0 &= a \frac{\Omega_1 - \Omega_2}{\Omega_1 + \Omega_2} \\ &= a \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \end{aligned}$$

a pour expression au centre :

$$\delta_0 = \frac{1}{\sqrt{MN_0}}$$

Pour un compteur de longueur $L = 2a = 60$ mm rempli d'un mélange d'Argon et de méthane et fonctionnant avec un coefficient de multiplication $M = 10000$ pour un rayonnement X de 8 KeV ($N_0 \sim 315$).

La largeur à mi-hauteur (LMH) de la fonction de répartition en position d'une raie est :

$$\begin{aligned} \text{LMH} &= 2,35 \frac{1}{\sqrt{MN_0}} \times 60 \times 10^{+3} \\ &= 80 \mu\text{m} \end{aligned}$$

Cela suppose que la loi de répartition de la fonction $\frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2}$ ne s'éloigne pas trop d'une gaussienne, ce qui est vérifié par l'expérience.

3.2. Fluctuation liée au bruit des amplificateurs

Solent S_1 et S_2 l'amplitude des signaux recueillis à la sortie des deux amplificateurs associés aux deux demi cathodes.

La fonction : $x_0 = a \cdot \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2}$ a pour écart-type au centre :

$$\delta_0 = \frac{1}{\sqrt{MN_0}} \cdot \sqrt{1 + \frac{2\sigma_B^2}{MN_0}}$$

où σ_B^2 est la fluctuation due au bruit ramené à l'entrée de l'amplificateur et exprimée en nombre d'électrons.

Avec un amplificateur pour détecteur à semiconducteur de performances même modestes, le facteur

$$\frac{2\sigma_B^2}{MN_0}$$

est petit devant l'unité. La contribution du bruit des amplificateurs est alors négligeable.

Par exemple un amplificateur donnant un bruit de 1,5 KeV avec un détecteur au germanium conduit à :

$$\frac{2\sigma_B^2}{MN_0} = 0,045, \text{ donc } \ll 1.$$

3.3. Fluctuation liée au parcours de l'électron photoélectrique

C'est la fluctuation statistique de la projection sur le fil des charges créées le long du parcours L de l'électron photoélectrique.

Pour avoir un ordre de grandeur, nous avons admis que le barycentre de ces charges est situé au 1/10 du parcours maximal L habituellement tabulé.

Un rayonnement X de 8 KeV dans l'argon TPN présente un parcours maximal L de 640 μm : le lieu du barycentre des charges ainsi créées est sur une sphère de rayon 64 μm centrée sur le point où a eu lieu l'effet photoélectrique.

La projection de cette sphère sur le fil d'anode conduit à une densité de probabilité constante sur toute la longueur de la projection (128 μm).

3.4. Fluctuation liée à la diffusion des électrons et des ions

On peut ne considérer que la diffusion des électrons primaires [3] [4]. Les équations déjà publiées représentant ce phénomène font intervenir des constantes [5] dont l'utilisation conduit à des valeurs de la résolution qui sont bien moins bonnes que celles de nos résultats expérimentaux.

3.5. Fluctuation liée aux facteurs géométriques

Le phénomène d'avalanche ne se développe pas d'une manière homogène autour du fil : les charges créées par l'avalanche sont excentrées en direction du lieu de création des électrons primaires.

Ainsi, suivant que l'effet photoélectrique a lieu d'un côté ou de l'autre du fil, une variation s'établit dans le taux d'influence électrique sur les deux demi-cathodes, ce qui peut conduire suivant les caractéristiques physiques du détecteur jusqu'à un dédoublement de la raie donnant l'information position.

On obtient un phénomène analogue en cas d'excentrement mécanique du fil d'anode.

Ces facteurs peuvent devenir prépondérants dans la résolution si l'on ne prend pas certaines précautions pour la conception et la réalisation d'un tel détecteur.

4 - RESULTATS OBTENUS AVEC UN DETECTEUR EXPERIMENTAL A UNE DIMENSION

4.1. Description du détecteur

L'un des détecteurs expérimentaux construit au laboratoire présente une géométrie cylindrique et le "jeu de jacquet" découpé sur sa cathode prend la forme de la figure 4.

Les cinq paires de triangles imbriquées permettent d'atténuer notablement la sensibilité liée à la position radiale de l'effet photoélectrique (§ 3.5), ainsi que celle due à un excentrement involontaire du fil d'anode.

La largeur des bandes A et B est déterminée expérimentalement pour optimiser la longueur utile du détecteur.

Les anneaux de garde G_1 et G_2 enveloppent la zone du fil d'anode où le coefficient de multiplication M est perturbé par les effets de bout.

4.2. Description de l'électronique

Le circuit électronique de calcul de la coordonnée est organisé suivant le schéma n° 5. Les deux préamplificateurs PA_1 et PA_2 possèdent un étage d'entrée à faible bruit.

Chacun d'eux est suivi d'un amplificateur avec mise en forme des impulsions.

Le module de calcul de la position doit effectuer l'opération

$$\frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} .$$

Actuellement, la division est faite très simplement de façon analogique à partir d'un circuit déjà existant. Cette solution crée une détérioration de la résolution en position aux deux extrémités car la dynamique des signaux est alors trop grande pour ce circuit. Un autre diviseur, développé pour les détecteurs de localisation à semiconducteur, sera prochainement essayé sur notre dispositif, et doit permettre d'éliminer cet inconvénient dans une large mesure.

Un signal de spectrométrie en énergie est obtenu en effectuant la somme : $S_1 + S_2$: un sélecteur monocanal, associé au circuit logique du module de calcul, permet de choisir la bande d'énergie utile.

4.3. Limite physique de la résolution en position

Afin de s'affranchir des limites liées aux performances de l'électronique, nous avons utilisé un équipement comprenant :

- deux chaînes d'amplification à très bas bruit
- deux convertisseurs analogiques digitaux à 8000 canaux
- un calculateur numérique avec visualisation.

Ce dispositif présente une résolution propre de 15 μm pour un détecteur de 60 mm de longueur ; ainsi il a été possible de mettre en évidence les performances physiques du détecteur proprement dit.

4.4. Résultats

Nous pouvons illustrer les résultats acquis par les courbes suivantes :

- la figure 6 montre la linéarité de restitution obtenue avec un détecteur à 3 paires de triangles, diamètre 12 mm et longueur utile de 60 mm, et fonctionnant avec un mélange d'Argon et 10 % de méthane en circulation avec un coefficient de multiplication de l'ordre de 6300.

Pour un faisceau de 100 μm (rayonnement X de 8 KeV), la largeur à mi-hauteur de la raie est d'environ 300 μm : une augmentation de cette largeur pour un déplacement du faisceau vers la gauche rend compte d'un excentrement du fil d'anode dans cette zone d'une valeur voisine de 90 μm .

- la figure 7 donne les résultats obtenus avec un détecteur de mêmes dimensions équipé de cinq paires de triangles et fonctionnant avec un mélange de xénon et 10 % de méthane sous une pression de 1 bar. Le coefficient de multiplication est alors de 5000.

Le faisceau de rayons X de 8 KeV a une largeur de 30 μm : la largeur à mi-hauteur de la raie est alors de 180 μm .

La résolution en position du détecteur est donc améliorée par le choix d'un gaz dans lequel le parcours de l'électron photoélectrique est plus faible.

D'autres paramètres peuvent encore être optimisés pour améliorer ce résultat : augmentation de la pression de fonctionnement, réduction de l'épaisseur de détection pour réduire la diffusion, etc ...

La fluctuation du nombre de charges collectées représente une limite physique qui ne peut être repoussée que dans de faibles proportions par l'augmentation du coefficient de multiplication. Cette limite physique a été vérifiée expérimentalement avec un détecteur équipé de demi cathodes suivant la disposition de la figure n° 8 : tout effet de localisation est ainsi supprimé.

La largeur à mi-hauteur est alors de $80 \mu\text{m}$ avec un mélange d'argon et de méthane avec $M = 6300$ (le calcul donnait $80 \mu\text{m}$ pour $M = 10000$).

Elle devient $56 \mu\text{m}$ avec un mélange de xénon et de méthane avec $M = 5000$.

Ces valeurs représentent les butées physiques de localisation d'un tel système ; les pouvoirs séparateurs limites correspondants étant respectivement d'environ $30 \mu\text{m}$ et $20 \mu\text{m}$.

5 - APPLICATIONS

L'intérêt de ce système de localisation apparaît tout naturellement en diffraction des rayons X, et même en diffraction neutronique moyennant l'emploi d'un gaz convertisseur approprié (BF_3 , ^3He).

La géométrie du détecteur est facilement adaptable aux nécessités expérimentales. En particulier, la section circulaire du tube peut être remplacée par une section rectangulaire mieux adaptée aux dimensions des faisceaux. Par ailleurs, l'adjonction d'une zone de migration des charges ("drift") comme il est indiqué sur la figure 9 permet une détection radiale éliminant les effets de parallaxe.

L'extension à des dispositifs de localisation à deux dimensions est aisée [6] : un premier plan de cathodes réalisé selon le plan de la figure n° 10 est placé en regard d'une nappe de fils parallèles au grand côté des triangles et permet la localisation selon cet axe. Un 2ème plan de cathodes, orthogonal au premier, et disposé symétriquement par rapport à la nappe de fils permet la localisation selon l'autre axe. Cette solution nécessite naturellement la réalisation d'électrodes suffisamment transparentes au rayonnement à détecter.

6 - CONCLUSION

La grande robustesse de ce type de détecteur (fils en tungstène doré supportant parfaitement un séjour prolongé dans le faisceau principal d'un générateur X), la simplicité du mode de calcul de la position, la possibilité d'adaptation à différentes formes du milieu détecteur, donnent un intérêt tout particulier à ce mode de localisation par influence électrique.

REMERCIEMENTS :

Nous remercions J.L. GIRARD et D. RUQUET pour leur assistance, ainsi que F. LISSALDE pour le concours qu'il nous a apporté.

REFERENCES

- [1] R. ALLEMAND, C. BREY, J.J. GAGELIN, M. LAVAL
Table ronde sur l'exploration fonctionnelle par les isotopes radioactifs - Strasbourg - 22-24 MAI 1970.
- [2] R. ALLEMAND - Brevet n° 73-46051 du 21.12.1973
Détecteur à localisation de particules.
- [3] W.R. KUHLMANN et al.
Nuclear instruments and methods - Vol. 40 (1966) p. 112
- [4] J. HOUGH
Nuclear instruments and methods - Vol. 105 (1972) p. 323
- [5] L.W. COCHRAN and D.W. FORESTER
Phys. review. vol. 126 (1962) p. 1785
- [6] R. ALLEMAND - Brevet n° 74-01115 du 14.1.1974
Détecteur de localisation de faisceaux divergents de rayonnements.

LISTE DES FIGURES

Figures n° 1 - 2 - 3 - 4

Figures n° 5 - 6 - 7

Figures n° 8 - 9 - 10 - 11.

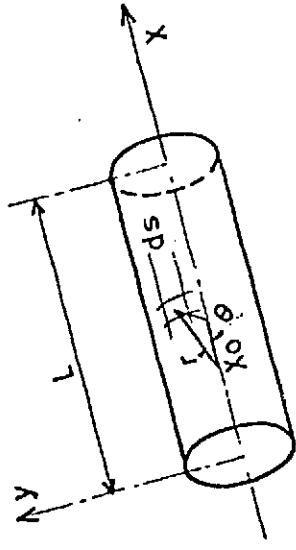


FIG:1

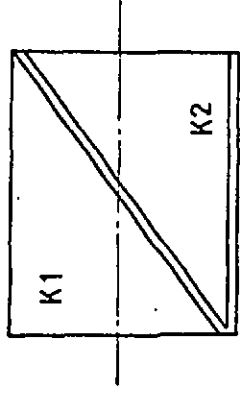


FIG:2

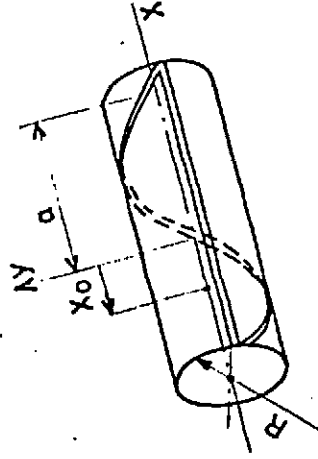


FIG:3

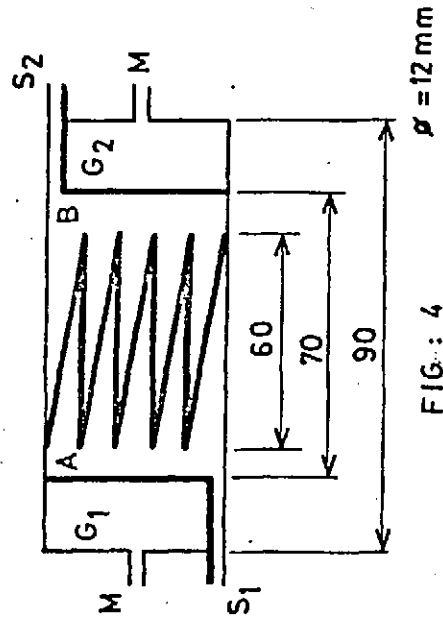
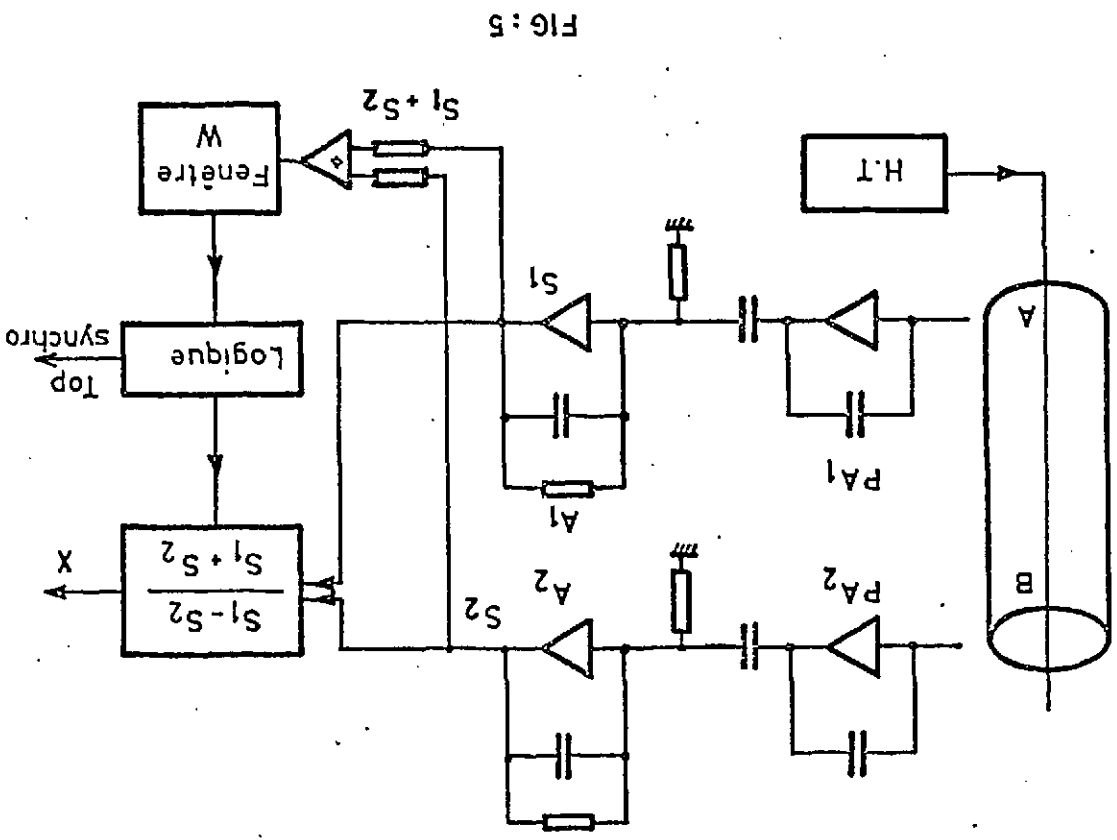
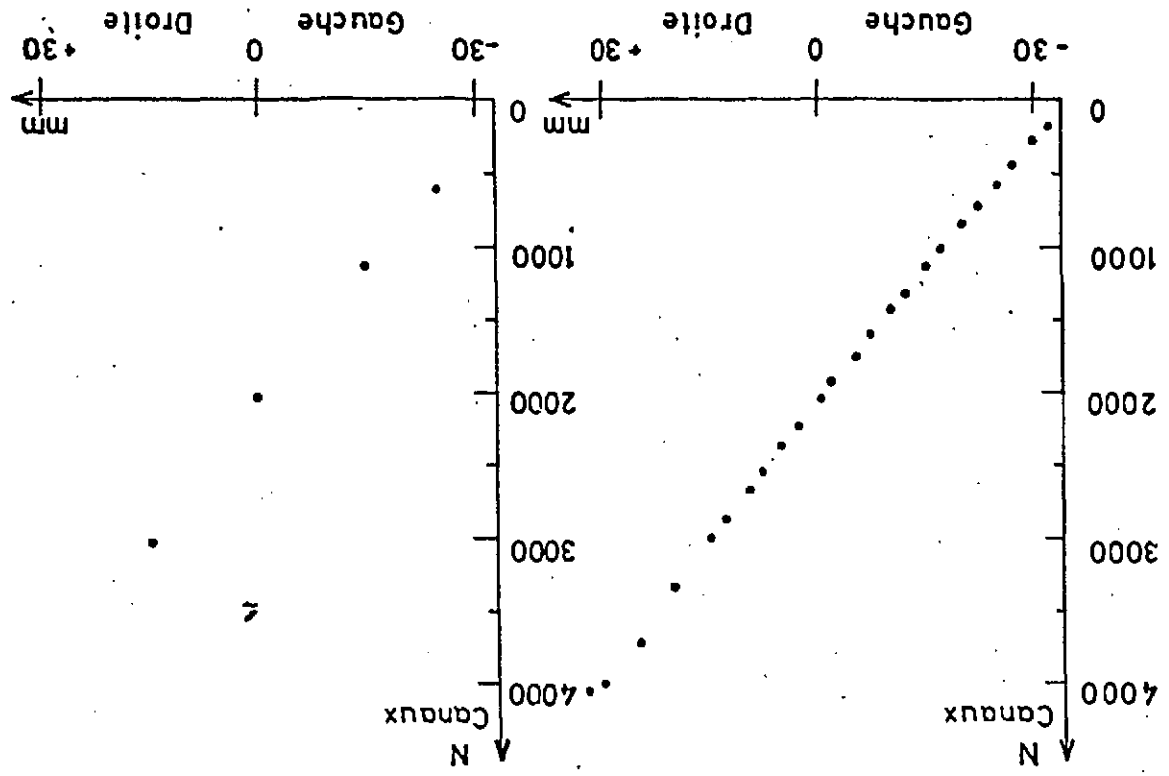


FIG:4

888 A 1001 - K 4.6.74



888 A 1003 - Le 4.6.74

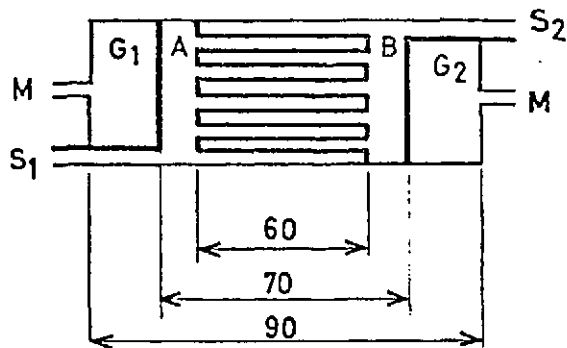


FIG: 8

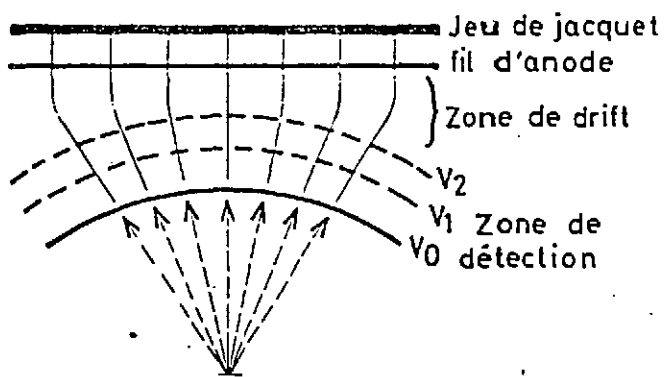


FIG: 9

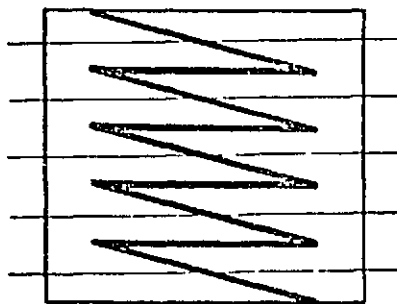


FIG: 10

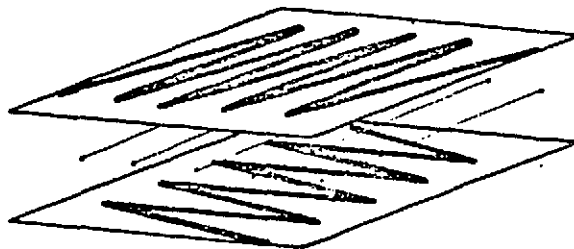


FIG: 11