

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

Le 29 Mai 1975

LABORATOIRE D'ELECTRONIQUE ET DE  
TECHNOLOGIE DE L'INFORMATIQUE

Laboratoire Mesure Contrôle et Traitement Electronique  
Journées d'information électronique. Saclay, 15-17  
avril 1975

FR7600915/CNF  
INIS

CEA-LETI-MCTE--1088

MULTIDECTEUR A GAZ POUR LES ETUDES  
DE DIFFRACTION DES NEUTRONS ET DES RAYONS X

R. ALLEMAND

Dans le cadre des études d'imagerie nucléaire, le LETI étudie des détecteurs de localisation de neutrons, de rayons X et de rayons  $\gamma$ , les domaines d'application étant la diffraction neutronique, la diffraction X et la médecine nucléaire.

Nous nous limiterons ici à l'exposé des méthodes de localisation par milieux gazeux, en décrivant les résultats physiques obtenus en diffraction neutronique et diffraction X.

## 1. LES MULTIDÉTECTEURS DE NEUTRONS\*

Ces dispositifs effectuent la localisation et la mesure d'intensité des neutrons diffractés par un échantillon sur tout l'ensemble de l'espace à explorer. Pour des performances en résolution angulaire équivalentes à celles des goniomètres classiques, ils présentent sur ces derniers les avantages d'un gain de temps considérable (de l'ordre de 10 à 100 suivant le type d'expérience) et d'une visualisation immédiate des résultats.

Ainsi, ces dispositifs sont particulièrement intéressants pour l'étude des substances organiques qui se dégradent rapidement sous irradiation et offrent un nouveau domaine d'application aux réacteurs de recherche de faible puissance qui disposent de flux de neutrons ~~par~~ intenses.

### 1.1. Choix de la méthode de détection

Le choix doit tenir compte des conditions expérimentales. En effet, les dimensions des échantillons constituent une limite physique de la résolution angulaire, et il ne servirait à rien d'atteindre une résolution en position bien meilleure que le diamètre des échantillons. Or, ces derniers sont en général de quelques millimètres à 1 cm. Compte tenu du secteur angulaire à explorer (de l'ordre de  $80^\circ$  à  $120^\circ$ ) et de la résolution angulaire souhaitable (approximativement  $10'$ ), il apparaît donc que les multidétecteurs doivent être des appareils de grandes dimensions. Ainsi, l'emploi d'un milieu gazeux est bien adapté à ce type de détecteur, d'autant plus que  $^3\text{He}$  et  $^{10}\text{BF}_3$  permettent d'atteindre une bonne efficacité de détection - sauf cas particulier nous utilisons le  $^{10}\text{BF}_3$  car il présente l'avantage d'être beaucoup moins cher que  $^3\text{He}$ .

---

\* L'étude a été faite en collaboration avec l'Institut Laue-Langevin

#### 1.4. Méthode de localisation

Rappelons en brièvement le principe car elle a été déjà décrite par ailleurs [1], [2], [3]. Chaque événement nucléaire est détecté simultanément sur deux électrodes, et la position est déterminée par coïncidence entre les 2 signaux. Les électrodes sont interconnectées pour former les lignes et les colonnes d'une matrice, chaque point de la matrice étant une cellule de détection.

La figure 1 montre la disposition des électrodes dans le fonctionnement en régime proportionnel. L'avalanche a lieu au voisinage immédiat du fil. L'amplitude des signaux reçus sur les cathodes est donc proportionnelle à l'angle solide sous lequel chaque cathode est vue de l'endroit du fil où s'est produite la multiplication. La position est donnée par coïncidence entre les 2 signaux de cathode de plus grande amplitude.

La résolution en position est limitée le long de l'axe X par l'espace entre les fils. Le long de l'axe Y, les fils n'introduisent aucune limite physique. Il est donc possible d'atteindre la résolution théorique si l'électronique est capable d'effectuer le barycentre des charges créées pendant l'avalanche, le barycentre étant par exemple effectué par interpolation des amplitudes des signaux reçus sur des cathodes successives. Pour améliorer la résolution en position selon l'axe X il faut réduire le pas entre les fils. Le pas entre les cathodes est alors plus grand que celui entre les fils, et la méthode d'interpolation est à nouveau applicable.

#### 1.5. Multidétecteur linéaire à 400 cellules

##### 1.5.1. Description

Deux prototypes ont été construits, le premier pour le laboratoire de diffraction neutronique du CEN-G, le second pour l'Institut Laue Langevin. L'un et l'autre fonctionnent en collection directe des charges. La figure n° 2 est une vue éclatée de l'un d'eux. Rappelons en brièvement les principales caractéristiques, puisque ces détecteurs ont déjà été décrits par ailleurs [4].

	Prototype CEN-G	Prototype ILL
nombre de cellules	400	400
pas entre les cellules	5,2 mm	5,2 mm
ouverture angulaire	80°	80°
rayon de courbure	150 cm	150 cm
hauteur utile des cellules	7,5 cm	2,5 cm
pression de BF <sup>3</sup>	900 torrs	900 torrs
épaisseur utile	1,5 cm	11 cm
efficacité de détection (= 1,8 Å)	18%	70%

### 1.5.2. Résultats obtenus [3] [4]

La précision de positionnement angulaire d'une raie de diffraction est meilleure que  $\pm 0,05^\circ$ . En pratique, dans la majorité des cas, les raies peuvent être positionnées à  $\pm 0,02^\circ$  par de simples interpolations.

L'analyse des diagrammes de diffraction d'échantillons connus (échantillon international d'aluminium, CoNiP) a permis de déduire les facteurs de structure F et de les comparer à ceux mesurés avec un diffractomètre conventionnel. La concordance des résultats est excellente puisque les valeurs obtenues sont à l'intérieur de la précision statistique des mesures [3] [4].

Les diagrammes de la figure n° 3 montrent les résultats obtenus avec un échantillon d'oxyde de germanium, l'un avec un goniomètre conventionnel en 25 heures, l'autre avec le multidétecteur en 2,5 heures.

### 1.5.3. Perfectionnements apportés

Pour éliminer les inconvénients déjà cités du mode de collection directe des charges, un nouveau prototype fonctionnant en régime proportionnel a été développé et testé avec succès à l'Institut Laue-Langevin. En particulier, les inhomogénéités de réponse entre cellules ont été éliminées et la stabilité des caractéristiques est excellente. La figure n° 4 est une vue éclatée du

dispositif. C'est ce modèle qui est actuellement développé industriellement par la Société LMT.

### 1.6. Multidétecteur à 2 dimensions (X, Y)

Un prototype fonctionnant en collection directe des charges a été installé en 1972 à L'ILL et exploité depuis cette date pour les études de diffraction aux petits angles. Récemment, deux nouveaux appareils travaillant en régime proportionnel, ont été mis en fonctionnement, l'un sur le réacteur Galileo à Pise, l'autre à L'ILL. Les résultats physiques présentés ici ont été obtenus avec le multidétecteur en collection directe des charges.

#### 1.6.1. Description

- nombre de cellules :  $64 \times 64 = 4096$
- pas entre cellules : 10 mm
- espace de détection: 20 mm
- pression de remplissage : 900 Torr
- efficacité de détection : 50% pour  $\lambda = 6 \text{ \AA}$
- taux de comptage maximum :  $5 \cdot 10^4$  c/s
- bruit de fond : 1 coup/heure/cellule

La figure n° 5 est en vue éclatée du dispositif.

#### 1.6.2. Résultats obtenus

Il n'est pas possible de présenter ici les nombreux essais physiques effectués avec cet appareil.

La figure n° 6 représente l'implantation du dispositif sur le réacteur de L'ILL. L'instrument est destiné à l'étude des structures dans la gamme de quelques dizaines à quelques milliers d'Angstroms, en particulier l'étude de la diffusion des protéines en solution.

A titre d'exemple, la figure n° 7 représente le diagramme de diffusion aux petits angles du virus de la mosaïque du tabac.

Depuis son installation, plus de 10.000 diagrammes ont été effectués avec cet appareil.

#### 1.7. Multidétecteur de localisation en coordonnées polaires

Un prototype a été étudié et réalisé pour le Département de Physique de Saclay et est installé depuis 1973 sur le réacteur EL3. Il fonctionne en collection directe des charges. Il est formé de 29 anneaux et 36 secteurs angulaires.

La figure n° 8 est une vue des électrodes.

#### 1.8. Technologie

Il est clair que les méthodes de localisation utilisées dans ces instruments sont maintenant devenues classiques ; mais l'originalité de ces dispositifs réside toujours dans leur conception technologique qui permet actuellement de garantir la stabilité de leurs performances dans le temps. Aucune évolution des caractéristiques n'a été observée sur des périodes atteignant maintenant deux années. On peut considérer que la technologie d'enceintes scellées de grandes dimensions et remplies de  $\text{BF}_3$  est actuellement bien maîtrisée, de même que la fabrication et la purification du gaz de remplissage.

#### 1.9. Evolution de ces dispositifs

Les études actuelles portent sur l'amélioration de la résolution spatiale et de l'efficacité de détection, ainsi que sur certains perfectionnements technologiques. Trois prototypes de multidétecteurs à 16000 cellules (128 x 128) sont en cours de réalisation, dont un pour le Département de Physique de Saclay.

## 2. METHODE DE LOCALISATION PAR "JEU DE JAQUET"

Je voudrais succinctement présenter une méthode de localisation simple et performante qui a été développée au LETI plus récemment que les méthodes déjà décrites. Nous l'appelons "Jeu de Jaquet" en raison de la forme des électrodes.

### 2.1. Principe [5]

La méthode consiste à découper géométriquement la cathode dans le but de relier l'amplitude des signaux induits reçus sur la cathode avec la position de l'évènement nucléaire. La figure n° 9 montre le principe du découpage en triangles de la cathode pour un compteur cylindrique. Comme le phénomène d'avalanche autour du fil n'est pas de révolution, il y a lieu d'éliminer les effets "d'ombre" créés par le fil. C'est la raison pour laquelle la cathode est divisée en plusieurs triangles.

La figure n° 10 représente le diagramme de l'électronique associée. On montre que si  $S_1$  et  $S_2$  sont les signaux induits reçus sur chaque "demi-cathode", l'information position est donnée par  $X = \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2}$ , pour autant que la géométrie du détecteur soit convenablement choisie [5]. Sur la figure n° 11, est représentée la linéarité de restitution de la position.

La figure n° 11 représente l'adaptation d'une chambre à "drift" à un détecteur de localisation à jeu de jaquet afin d'éliminer les effets de parallaxe aux grands angles de diffraction [6].

La figure n° 12 représente la disposition et la forme géométrique des électrodes pour un détecteur de localisation à 2 dimensions.

### 2.2. Résultats obtenus

#### - Détecteur à une seule dimension

La résolution en position (LMH) obtenue avec un détecteur cylindrique de longueur utile  $L = 60$  mm a été de  $300 \mu\text{m}$  avec un remplissage argon + 10% méthane.

Avec un remplissage xénon-méthane, la résolution obtenue est de 180  $\mu\text{m}$ .

On peut considérer que ces valeurs constituent la limite physique de la résolution en position puisqu'elles correspondent au parcours du photoélectron dans le mélange gazeux.

Pour des raisons liées à l'exploitation (hauteur utile de fenêtre d'entrée, profondeur utile, etc ...) la géométrie cylindrique est assez mal adaptée à la diffraction X. Un détecteur de localisation à section rectangulaire a été développé, dans lequel seule la face opposée à la fenêtre d'entrée du rayonnement X reçoit le jeu de jaquet. Les performances obtenues avec cette nouvelle géométrie d'électrodes sont équivalentes à celles d'un compteur cylindrique ; à noter également que cette disposition d'électrodes est bien adaptée à l'introduction d'une zone de drift.

#### - Détecteur à deux dimensions

On conçoit bien que les performances en chambre multifils vont dépendre :

- du pas des fils dans une direction
- du pas du "jeu de jaquet"

Les expériences ont été conduites avec différentes mailles de jaquet. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec une maille de 1 mm (base des triangles), le pas des fils étant à 1 mm, et la distance fils-cathode : 3 mm.

Avec un remplissage à l'argon, la résolution (LWH) suivant l'axe des fils est de 500  $\mu\text{m}$ , et naturellement elle est de 1 mm (pas entre les fils) suivant l'axe perpendiculaire.

### 2.3. Avantages de la méthode

Le détecteur est robuste car les fils utilisés sont ceux des chambres proportionnelles classiques. Par ailleurs, l'électronique associée

est simple, et la méthode est applicable aussi bien pour la localisation à deux dimensions qu'à une seule dimension.

Moyennant l'emploi d'un gaz convertisseur approprié ( $\text{BF}_3$ ,  $^3\text{He}$ ), la méthode est naturellement transposable en diffraction neutronique.

### 3. CONCLUSION

Nous estimons que, pour la localisation des rayons X et des neutrons les détecteurs à gaz sont des dispositifs très performants et relativement simples comparés aux autres méthodes de détection. Les performances des différents procédés de localisation ont été largement publiées ces dernières années, mais un gros effort reste encore à faire sur le plan technologique et, à un degré moindre, sur le plan électronique, pour répondre maintenant aux besoins des physiciens et être capable de leur proposer des instruments fiables et d'exploitation aisée.

## REFERENCES

- [1] R. ALLEMAND, J. JACOBÉ, E. ROUDAUT  
Brevet n° 148.589 du 18 avril 1968 "Dispositif détecteur de neutrons"
- [2] R. ALLEMAND, C. BREY, J. JACOBÉ  
Brevet n° 6917042 du 23 Mai 1969  
Dispositif détecteur de localisation de rayonnement
- [3] R. ALLEMAND and al.  
Position sensitive detectors for neutron diffraction  
A paraître dans Nuclear Instruments and methods
- [4] Note d'étude LETI n° 72 du 31.1.73  
Caractéristiques et essais physiques d'un multidétecteur 400 cellules  
en diffraction neutronique
- [5] R. ALLEMAND, G. THOMAS  
Méthode de localisation de rayonnement X à haute résolution spatiale.  
Communication présentée au 31<sup>ème</sup> colloque sur les méthodes analytiques  
par rayonnement X, Nice, sept. 1974
- [6] R. ALLEMAND  
Brevet 74 0115 du 14 janvier 1974  
Détecteur de localisation de faisceaux divergents de rayonnements

LISTE DES FIGURES

Figures n° 1

à 9

10-11

12-13

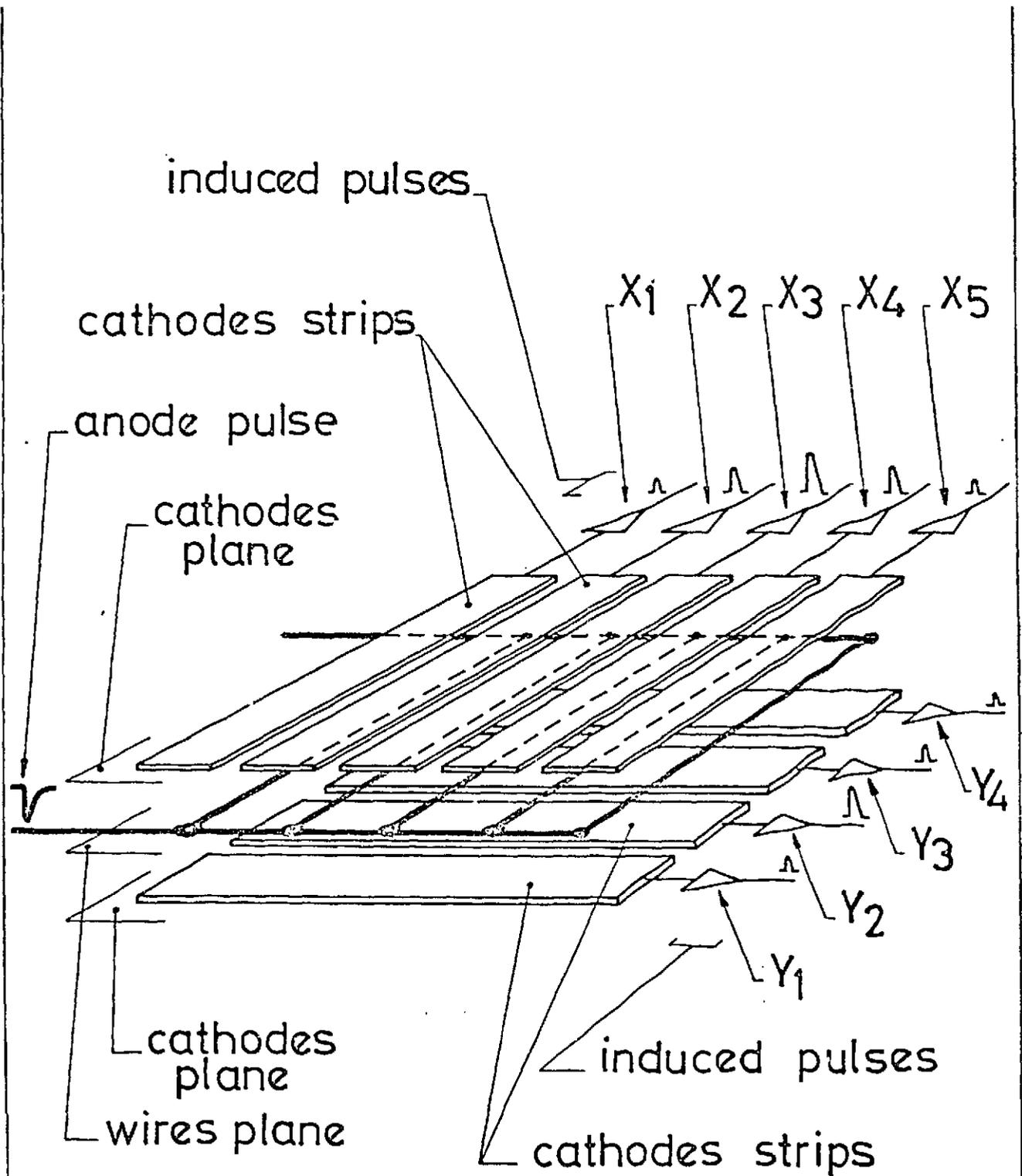
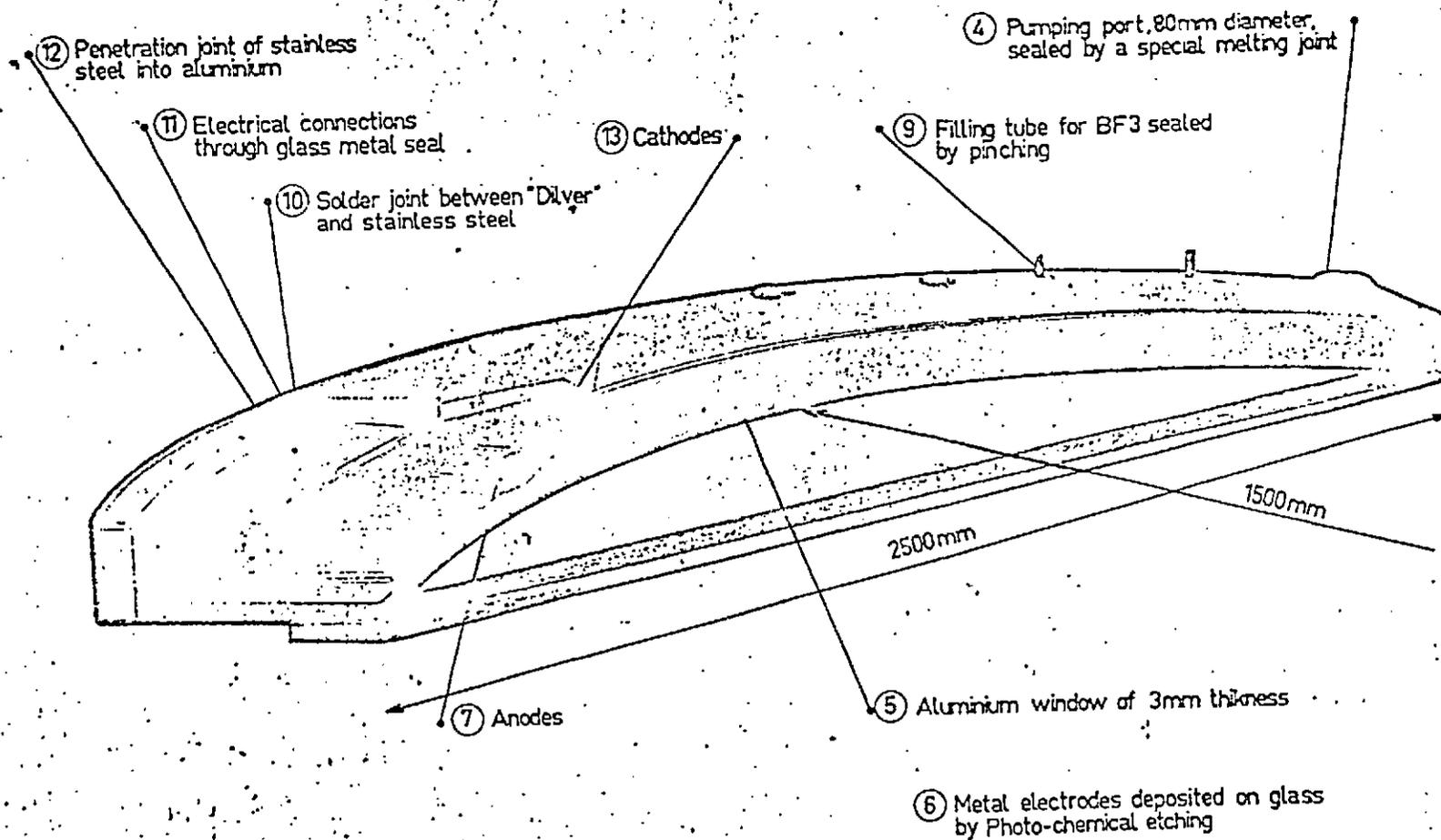


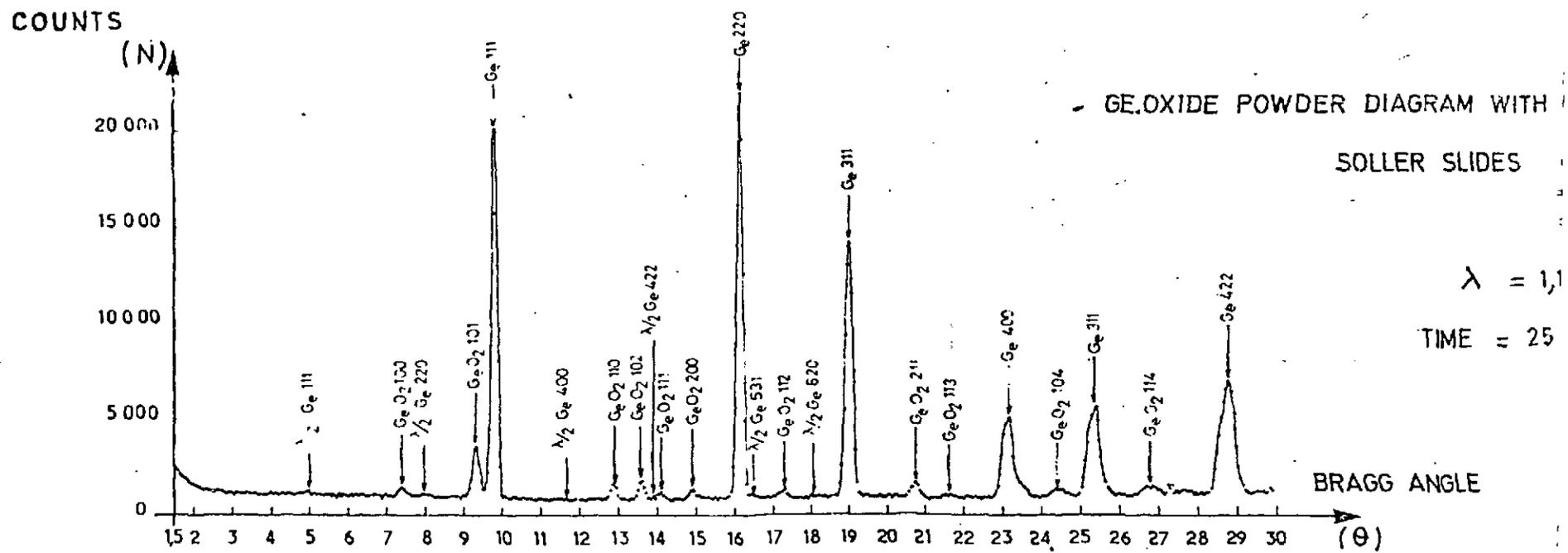
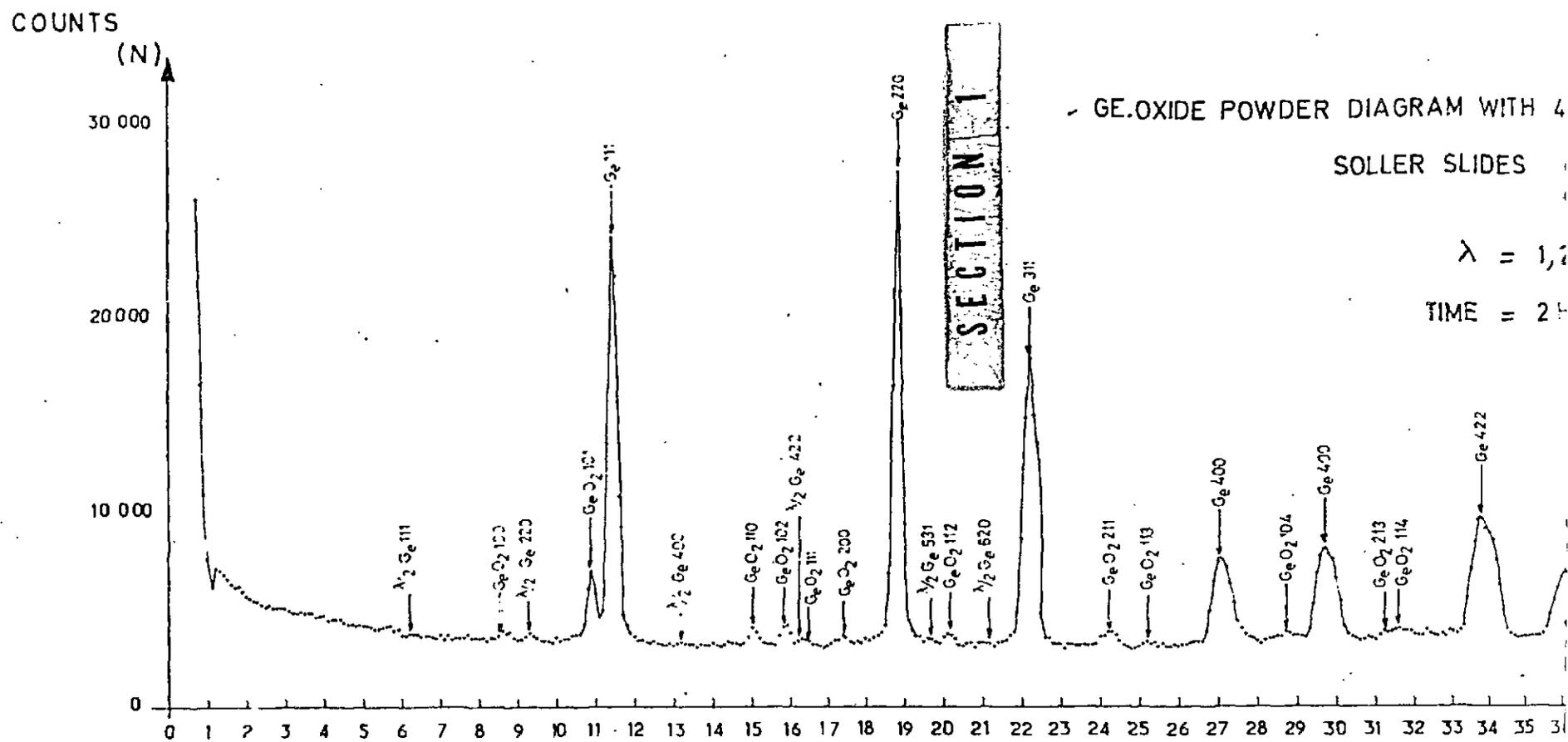
Fig: 1

		CEA - CENG - LETI
		<b>932A1001</b>
Le: 18 Dec 74	Par: G.E.C.T.	Reproduction Interdite (loi du 11 3 52)

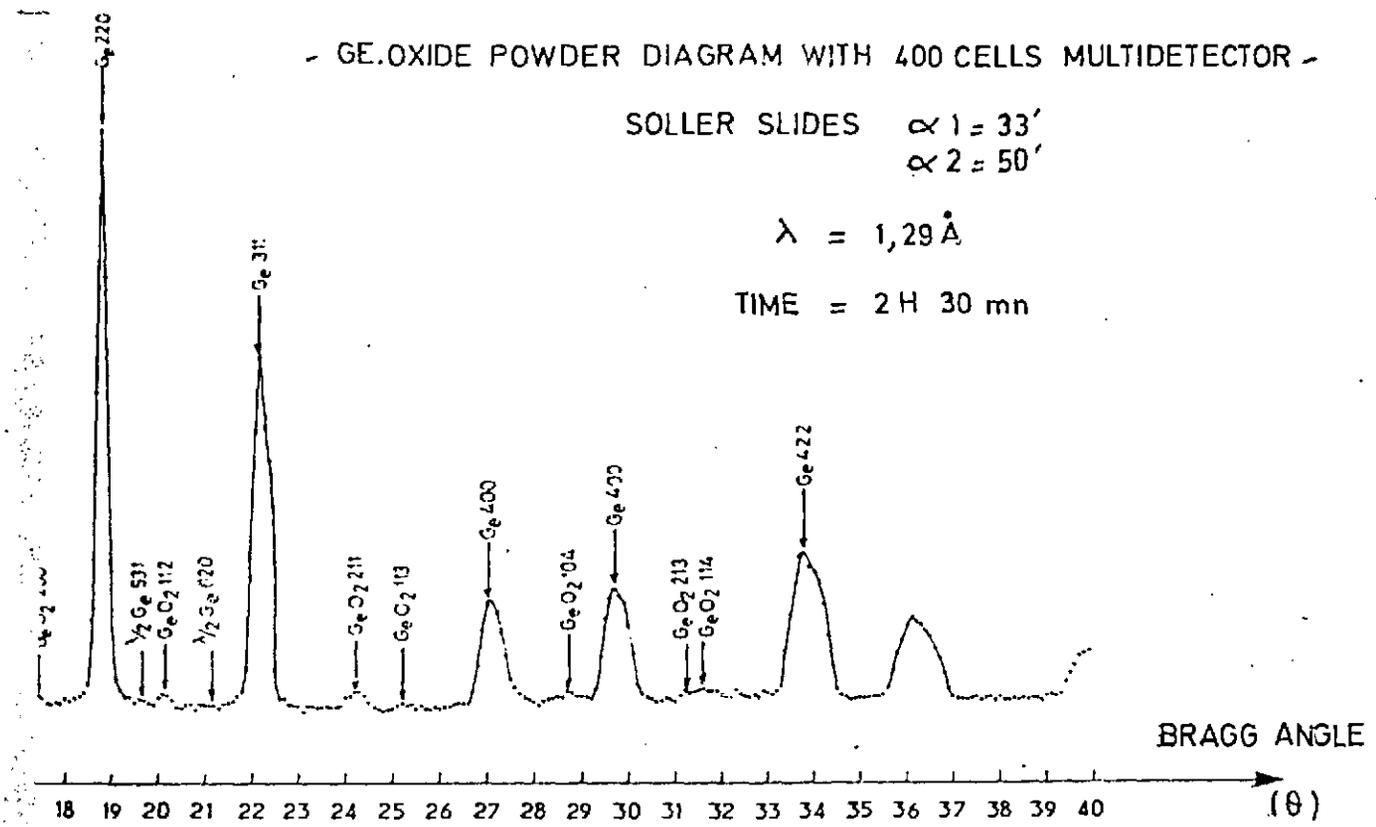


N.T. n° 1088

Fig 2



NU. 889 B 100A



SECTION 2

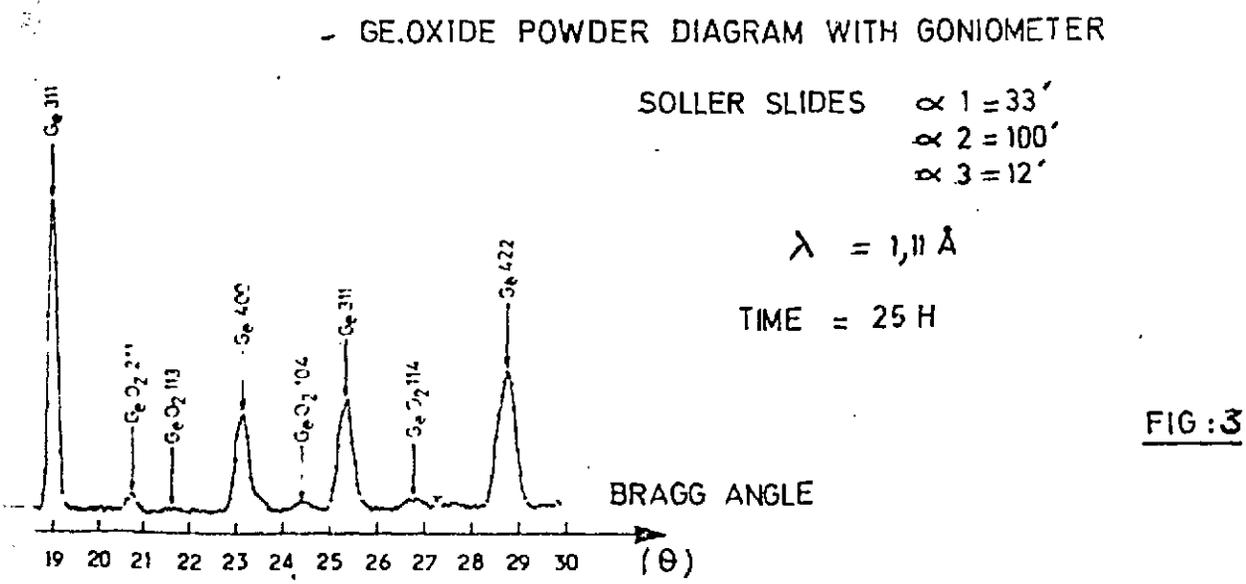
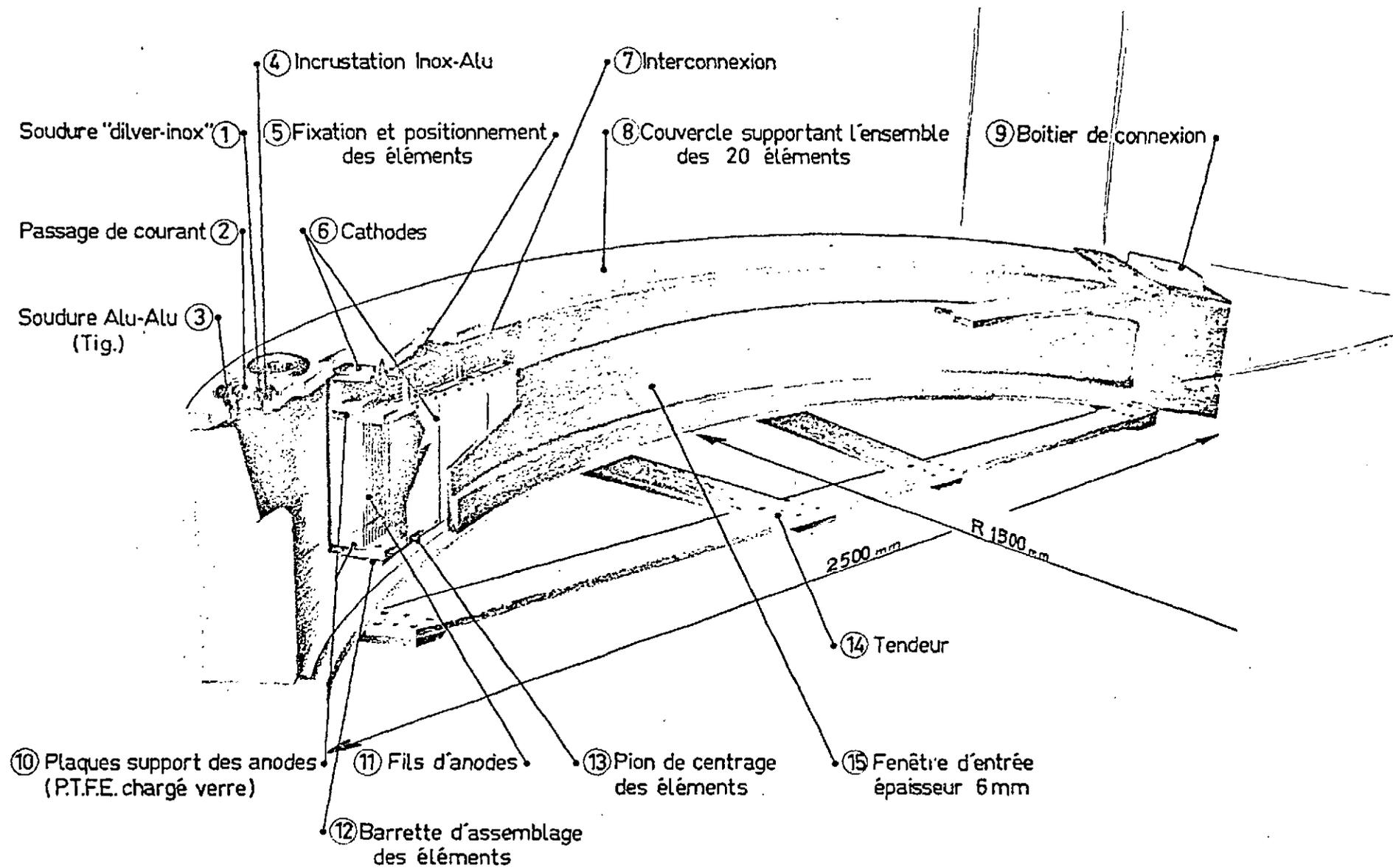
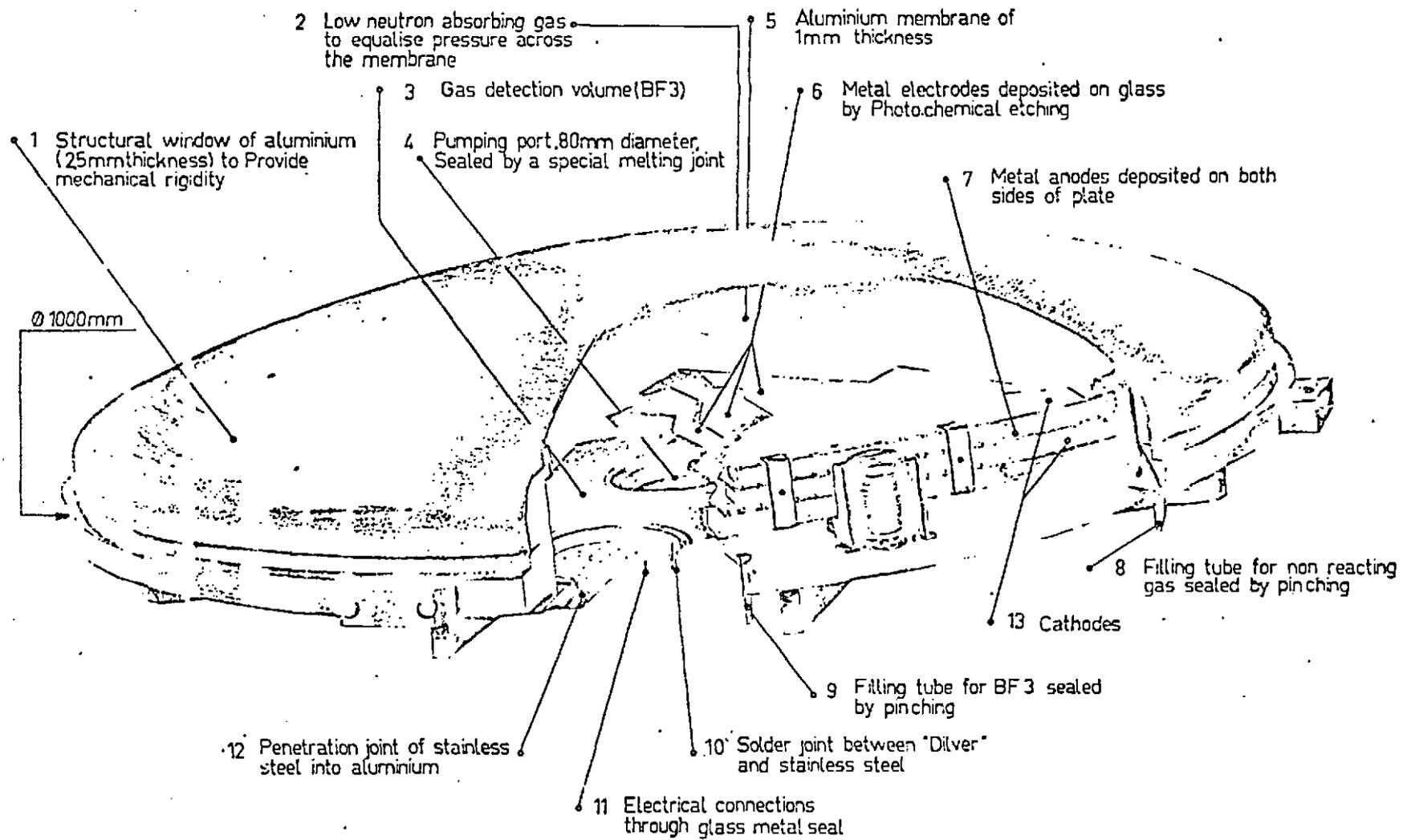


FIG:3

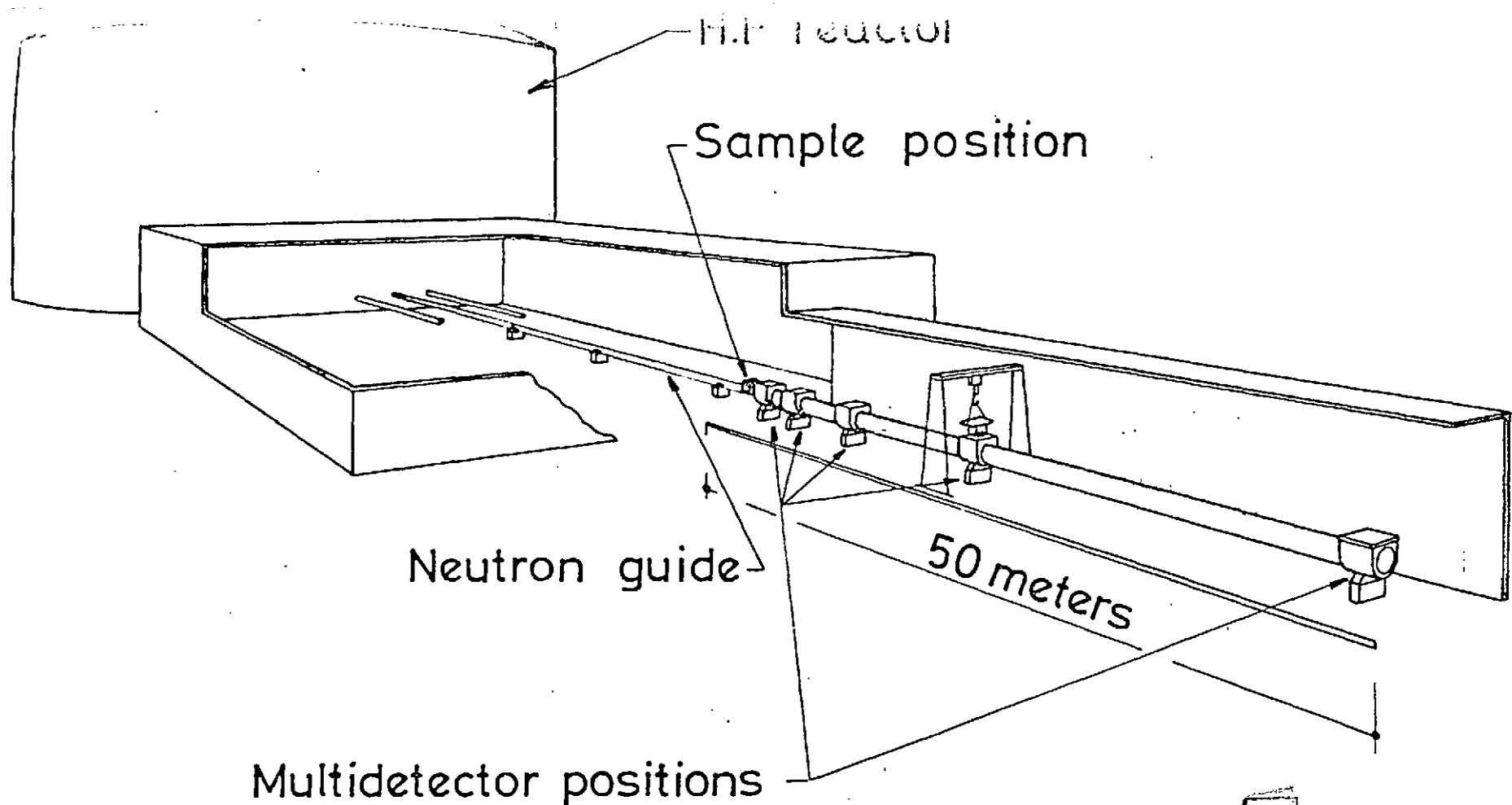


MULTIDECTEUR LINEAIRE LC 400 CD

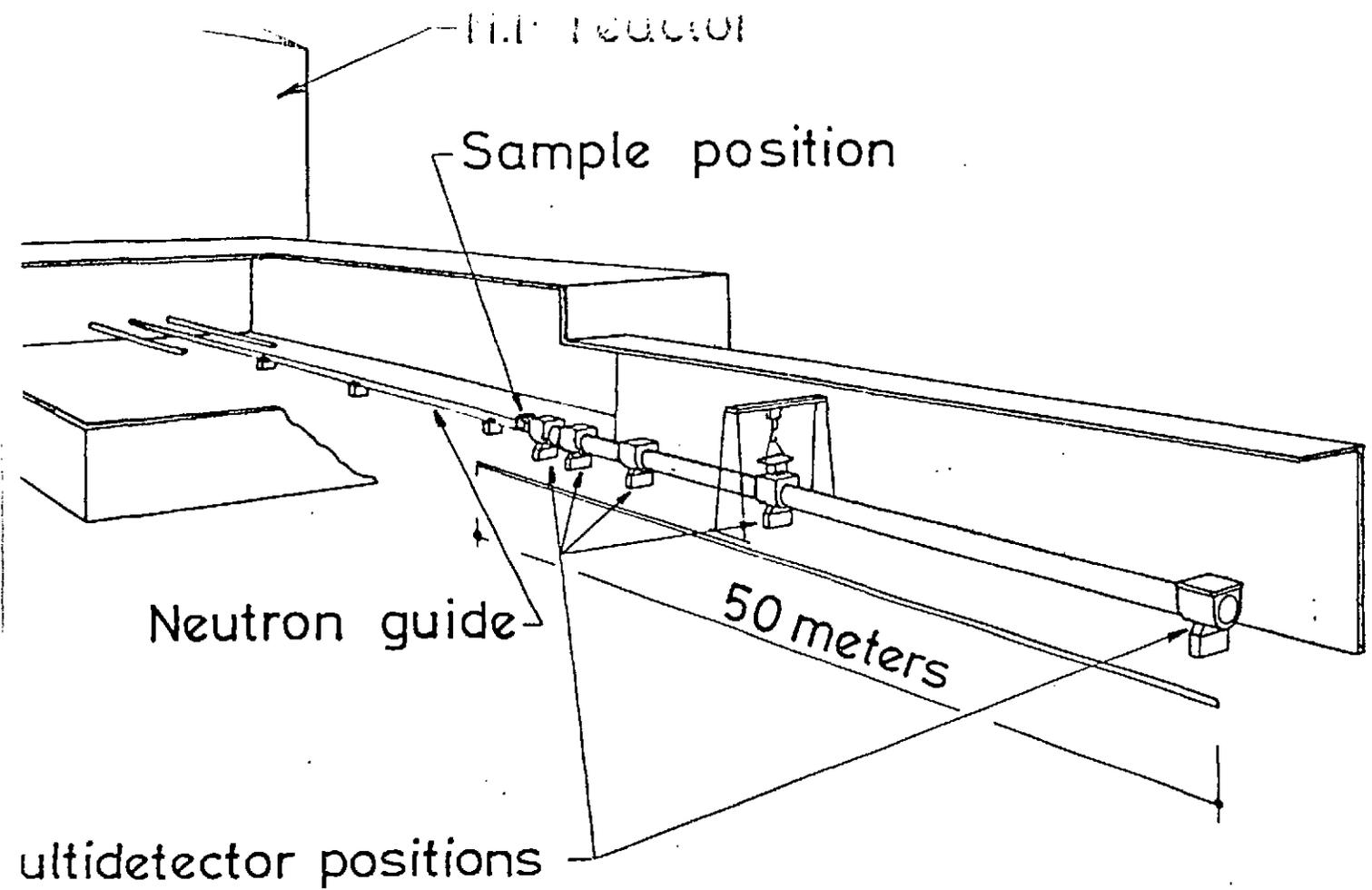
*Figure 4*



4096 CELLS MULTIDETECTOR N.T. FIG. 5  
1088



SECTION 1

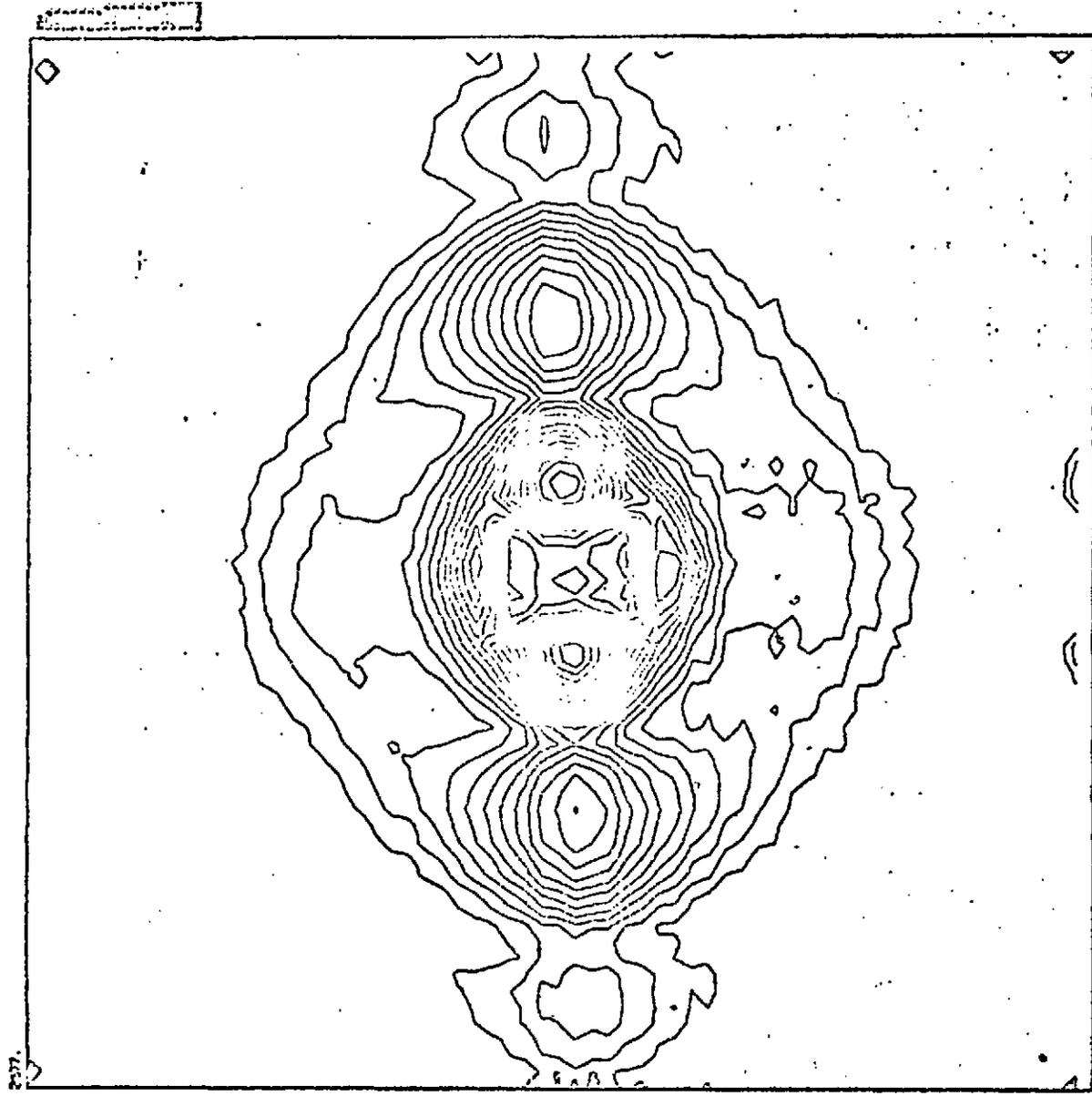


SECTION 2

Fig:6

CEA - CENG - LETI		
932	B	1008

U. 122 (279.04)  
DATE 27-02-76 14:51:32



N.T. 1088 *Fig 10*

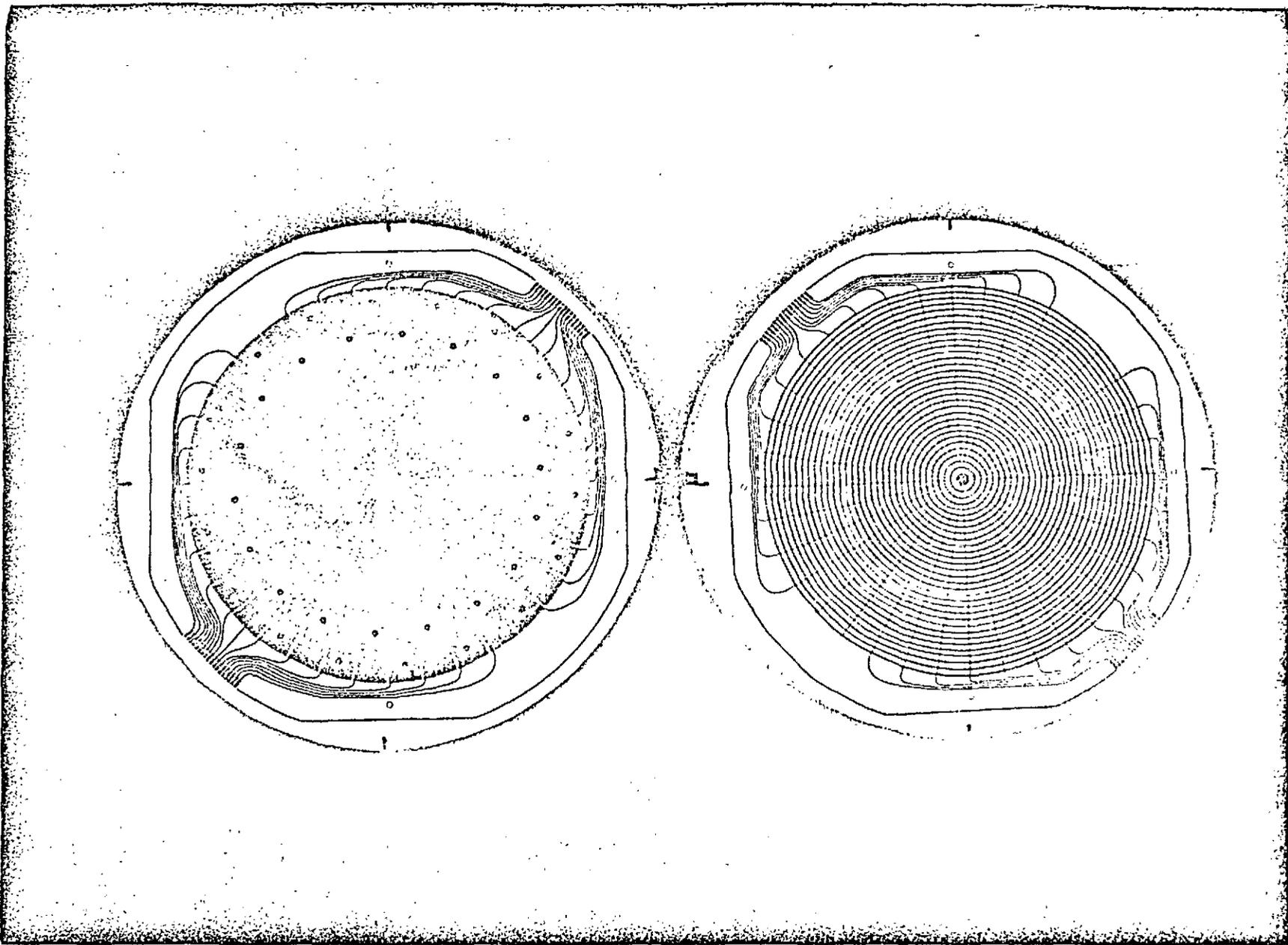
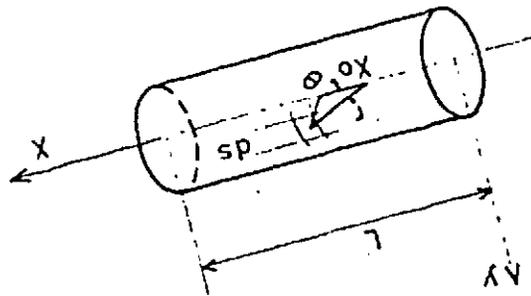
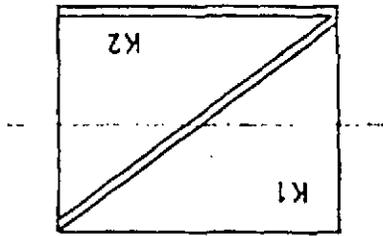
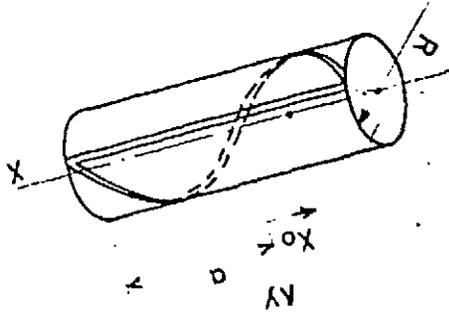
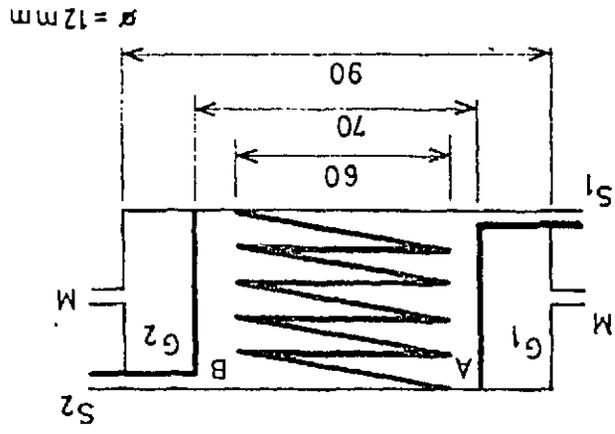


Figure 8

FIG:9



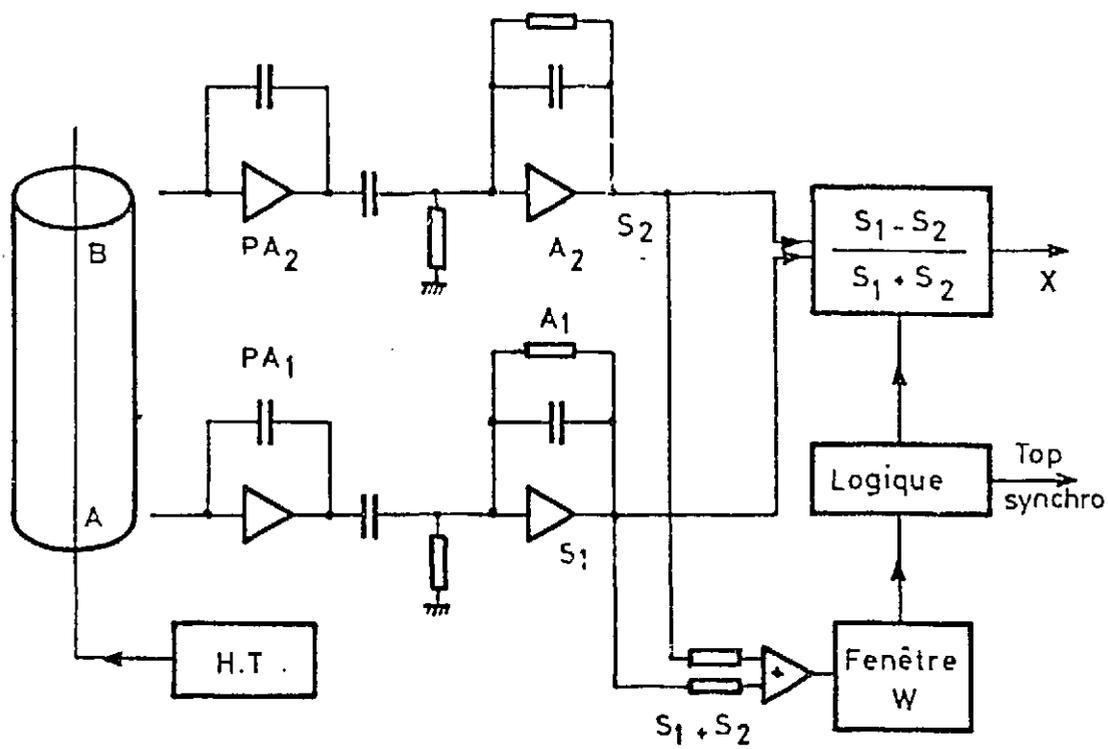


FIG : 10

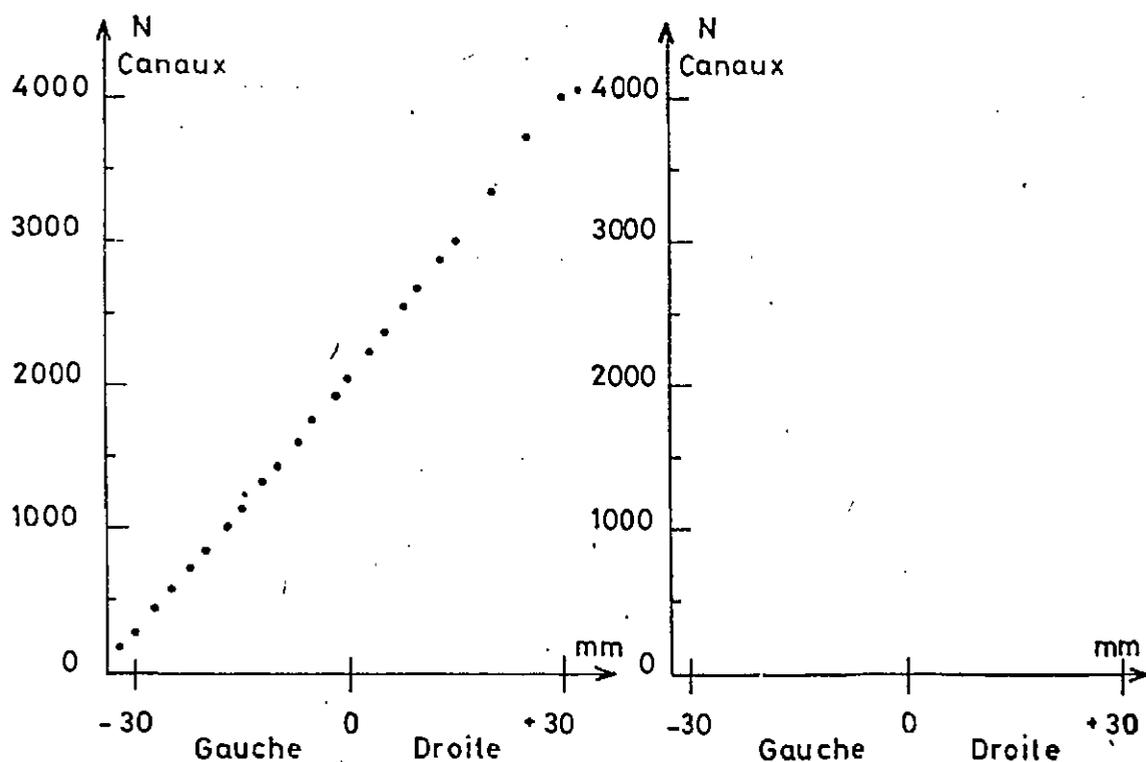


FIG : 11

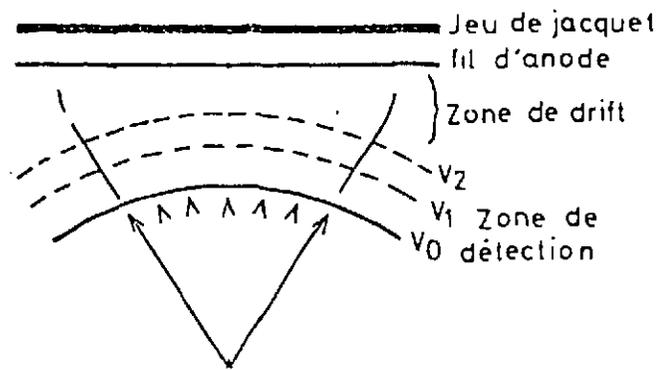


FIG 12

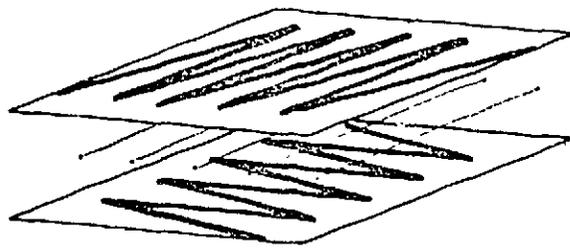
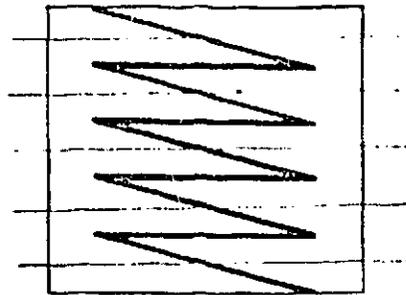


FIG : 13

