

CRA 1794 - MARTINELLI Pierre, SEIBEL Georges

**NOUVEAUX DEVELOPPEMENTS DE L'ANALYSE ET DE LA MESURE DES
EPAISSEURS PAR EXCITATION DES RAIES DE FLUORESCENCE AU MOYEN
DE PARTICULES β (1960).**

Resume. - Le procede d'analyse et de mesure des epaisseurs de depots
par fluorescence β -X que nous avons precedemment decrit a fait l'objet de
nouveaux developpements.

L'emploi de sources de promethium-147 et de krypton-85 permet
de reduire le bruit de fond que l'on observe avec le strontium-90. Nous
donnons les resultats obtenus pour diverses mesures d'epaisseurs de depots
metalliques et la mesure en continu de calcium et de fer dans les
carottes de minerai.

Nous decrivons les essais effectués en vue d'analyser le rayonne-
ment X au moyen d'un cristal.

CRA 1794 - MARTINELLI Pierre, SEIBEL Georges

**NEW DEVELOPMENTS IN THE ANALYSIS AND MEASUREMENT OF THICK-
NESSES BY EXCITATION OF THE FLUORESCENT LINES BY MEANS OF
 β PARTICLES (1960).**

Summary. - The process for analyzing and measuring the thickness of
deposits by β -X fluorescence which we have already described has undergone
further development.

The use of promethium-147 and krypton-85 sources makes it possible
to reduce the background noise which is observed with strontium-90. We
present the results obtained for various measurements of the thickness of
metallic coatings and the continuous measurement of calcium and
of iron in ore samples.

We describe the tests carried out with a view to analyzing the X-rays
by means of a crystal.

PREMIER MINISTRE

COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

**NOUVEAUX DEVELOPPEMENTS DE L'ANALYSE
ET DE LA MESURE DES EPAISSEURS
PAR EXCITATION DES RAIES DE FLUORESCENCE
AU MOYEN DE PARTICULES β**

par

Pierre MARTINELLI
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
et Georges SEIBEL
Institut de Recherches de la Sidérurgie

Rapport CEA N° 1786

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY
SERVICE DE DOCUMENTATION
Boîte postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et-O.)

Service des Radioéléments
Section des Applications des Radioéléments

NOUVEAUX DEVELOPPEMENTS DE L'ANALYSE ET DE LA MESURE
DES EPAISSEURS PAR EXCITATION DES RAIES DE FLUORESCENCE
AU MOYEN DE PARTICULES β

par

Pierre MARTINELLI
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
et Georges SEIBEL
Institut de Recherches de la Sidérurgie

(Conférence sur l'emploi des radioisotopes
dans les sciences physiques et dans l'industrie,
Copenhague, 6/17-9-1960)

**NOUVEAUX DEVELOPPEMENTS DE L'ANALYSE
ET DE LA MESURE DES EPAISSEURS
PAR EXCITATION DES RAIES DE FLUORESCENCE
AU MOYEN DE PARTICULES β**

Dès 1955, plusieurs publications (1) à (6) ont indiqué les diverses applications possibles du rayonnement X créé dans une cible par irradiation au moyen d'un flux de particules béta émis par une source radioactive. On obtient en effet principalement (fig. 1) :

1) un spectre continu de photons dû au freinage des électrons par la matière et aux effets Compton et Thomson produits par le rayonnement X provenant de la source ;

2) un spectre de raies X(K,L, ...) caractéristiques des éléments qui constituent la cible ;

3) un spectre continu de particules béta rétrodiffusées.

La mesure de l'énergie et de l'intensité des raies X, (K,L...) caractéristiques des éléments de la cible permet d'analyser qualitativement et quantitativement les éléments qui la constituent.

Pour que cette mesure soit possible, il faut qu'elle soit très peu influencée par le rayonnement parasite X et β émis par la cible; le moyen le plus simple pour se débarrasser des électrons consiste à placer sur le trajet du rayonnement que l'on désire analyser un écran de plexiglass ou de beryllium d'épaisseur suffisante pour arrêter les particules β les plus énergiques. Cette solution est valable lorsque les raies X que l'on veut détecter ont une énergie suffisamment élevée, supérieure à 17 keV environ; pour les raies X d'énergie plus faible, on élimine les particules béta au moyen d'un aimant. Le rayonnement de freinage des électrons produits dans la source elle-même est arrêté avec un blindage en plomb; celui qui provient de la cible ne peut être éliminé, et l'on se contente d'en minimiser l'influence en adoptant un système d'analyse et de détection peu sensible au rayonnement X de grande énergie.

SPECTROMETRIE DU RAYONNEMENT

La spectrométrie du faisceau de rayonnement X ainsi débarrassé des particules béta peut se faire de plusieurs façons différentes.

1°) Le faisceau est directement reçu dans le détecteur, c'est-à-dire dans un compteur à scintillations ou dans un compteur proportionnel (fig. 2a). Un spectromètre électronique permet de tracer la répartition des impulsions comptées en fonction de leur amplitude; les raies X caractéristiques donnent des pics dont la hauteur est proportionnelle à leur intensité et qui correspondent à des impulsions dont l'amplitude exprimée en volts est proportionnelle à leur énergie. Un tel système présente l'avantage d'être simple et compact et de permettre un excellent rendement de détection. Son principal inconvénient est son mauvais pouvoir de résolution; en effet,

même en utilisant un compteur proportionnel dont le pouvoir de résolution est trois fois plus grand que celui d'un compteur à scintillations, on ne sépare pas les raies K des métaux usuels dont les numéros atomiques diffèrent de moins de 3 unités. On peut y remédier partiellement en plaçant sur le trajet du faisceau réfléchi par la cible un écran constitué d'un élément dont la discontinuité d'absorption K se situe entre les énergies des deux raies que l'on désire séparer. Un autre inconvénient réside dans l'instabilité des pics enregistrés; les variations de température du compteur, les variations de tension du réseau, et l'instabilité propre de l'appareillage électronique en sont principalement responsables. On peut s'en affranchir par une régulation automatique sur l'amplification ou sur la haute tension appliquée au compteur.

2°) Avant son entrée dans le détecteur, le faisceau est modulé par un disque constitué de secteurs de nature et d'épaisseur convenablement choisies pour qu'ils soient balancés deux à deux (7) sur la raie X que l'on désire mesurer (fig. 2b). Le rayonnement ainsi modulé est alors reçu dans le détecteur qui peut être un compteur à scintillations, un compteur proportionnel, ou un simple compteur de Geiger. Un système électronique synchronisé avec le mouvement du disque modulateur aiguille les impulsions fournies par le détecteur dans les deux voies d'un intégrateur différentiel. Cette méthode permet d'effectuer la mesure, soit sur une large bande de hauteurs d'impulsions et d'avoir ainsi des résultats assez reproductibles, soit sur le spectre complet; c'est le cas lorsque l'on utilise un compteur de Geiger. Notons encore que l'on peut moduler le rayonnement à l'aide de volets d'aluminium minces et soustraire ainsi le bruit de fond dû au rayonnement de freinage; en effet, ce rayonnement est très peu absorbé par de faibles épaisseurs d'aluminium tandis que les raies X de faible énergie sont absorbées lors du passage du volet

modulateur devant la fenêtre du détecteur. Cette méthode permet également lorsque l'on intègre tout le spectre, d'avoir une excellente stabilité de la mesure en fonction des fluctuations de la haute tension et des variations de l'amplification. La modulation a l'inconvénient de diminuer d'un facteur 2 le taux de comptage et de faire porter la mesure sur la différence de deux intensités; de ce fait, les fluctuations statistiques sont plus importantes que dans le cas de la première méthode où l'on mesure l'intensité d'une raie avec un détecteur à un canal.

3°) De même que dans la méthode d'analyse par fluorescence X classique, on peut diffracter les raies X à l'aide d'un cristal analyseur, courbe de préférence, et mesurer leur intensité à l'aide d'un compteur proportionnel ou d'un photomultiplicateur (fig. 2c). Cette méthode permet d'analyser le spectre avec un très grand pouvoir de résolution, mais elle conduit à utiliser des sources très intenses et il est difficile de se protéger du rayonnement parasite de freinage et de la diffusion Compton sur les diverses parties de l'appareillage.

4°) On peut également, après élimination des particules bêta, faire tomber le faisceau sur une cible secondaire interchangeable, de numéro atomique tel que ses raies caractéristiques se trouvent préférentiellement excitées par la raie X dont on veut mesurer l'intensité (fig. 2d). L'intensité de ces raies X secondaires fournit une mesure spécifique de la raie désirée. Cependant cette méthode est de mise en oeuvre difficile, les rendements sont faibles et le bruit de fond est important.

La première méthode que nous avons principalement utilisée nous a permis de détecter les raies K du potassium.

DETECTION DES RAIES XK DE TRES FAIBLE ENERGIE

Pour détecter les raies X d'énergie plus faible, on peut envisager deux solutions :

1°) faire le vide sur le trajet du rayonnement entre la cible et le détecteur.

2°) mettre tout l'ensemble dans l'atmosphère du compteur en supprimant sa fenêtre d'entrée et en faisant circuler à l'intérieur le mélange gazeux à une pression telle que l'on ait un maximum d'efficacité de comptage pour la raie X dont on veut mesurer l'intensité. Pour ces faibles énergies, les mélanges à base de néon, d'hélium ou d'hydrogène nous paraissent mieux indiqués que les autres. Théoriquement, on devrait pouvoir déceler les raies caractéristiques des éléments de numéro atomique inférieur à celui du sodium. Cette solution est possible parce que le trajet du rayonnement entre la cible et la fenêtre du compteur peut être rendu faible ou du même ordre de grandeur que son trajet à travers le compteur. Par exemple, si ces deux trajets sont égaux, en ajustant les pressions on arrivera à un rendement maximum de 25 %. Ceci est pratiquement irréalisable avec un spectrodiffractomètre classique parce que le trajet du rayonnement dans le gaz en dehors du compteur serait trop grand et, quelle que soit la pression du gaz, l'efficacité de comptage serait presque nulle.

SOURCES UTILISABLES

On pourra utiliser les émetteurs β purs ou les émetteurs β, γ qui ne fournissent que des photons d'énergie inférieure à 100 keV ou dont le rayonnement γ énergétique se trouve émis en très faible proportion. Au tableau I nous avons résumé les propriétés des sources que nous avons utilisées.

PRINCIPALES APPLICATIONS

Les principales applications de la fluorescence β -X sont :

- la mesure des épaisseurs des dépôts métalliques basée soit sur l'intensité des raies X (K ou L) du dépôt, soit sur celle des raies X (K ou L) du métal de base.

- l'analyse chimique pour excitation des raies X des éléments à doser.

- l'analyse des solutions par absorption des raies X caractéristiques excitées dans des cibles diverses, qui sont absorbées préférentiellement par les éléments que l'on veut doser.

APPLICATIONS A LA MESURE DES EPAISSEURS DES DEPOTS METALLIQUES

La fig. 3 représente une vue en coupe du montage que nous avons utilisé pour mesurer les épaisseurs des dépôts métalliques. Cet appareil est équipé d'une source de strontium 90 de 40 mc, modèle SB3 C.E.A. Les échantillons sont placés sur une platine en plexiglass de 5 mm d'épaisseur. Le détecteur est un compteur proportionnel de 9 cm de diamètre à parois de laiton de 1 mm d'épaisseur, muni d'une fenêtre en beryllium de 16 mm de diamètre et de 1/10 mm d'épaisseur et rempli avec un mélange gazeux argon-propane à 650 g/cm² de pression. L'aimant utilisé a un entrefer de 18 mm à l'intérieur duquel le champ magnétique est de 2000 gauss; ses faces polaires sont revêtues par 1 mm d'aluminium pur destiné à éviter l'excitation des raies X du fer par les électrons rétrodiffusés. L'analyse des raies X peut se faire soit

directement à l'aide d'un spectromètre γ placé à la sortie du compteur proportionnel, soit après modulation en envoyant les impulsions à la sortie de l'amplificateur dans 2 échelles de comptage. On peut dans les deux cas utiliser des filtres fixes pour séparer des raies voisines.

En mesurant directement l'intensité de la raie K du métal de base, nous avons obtenu les courbes des figures 4 et 5 pour divers dépôts métalliques. La largeur de bande utilisée était de 0,4 keV.

La courbe (1) de la figure 6 représente la courbe obtenue dans le cas d'un dépôt de zinc sur cuivre en mesurant l'intensité des raies K du cuivre après passage à travers un filtre fixe de nickel de $13,8 \text{ mg/cm}^2$ destiné à absorber les raies K du zinc. La courbe (2) donne l'intensité des raies K du chrome dans le cas d'un dépôt chrome sur fer, obtenue en utilisant un filtre fixe de chrome de $6,6 \text{ mg/cm}^2$.

La figure 7 montre les taux de comptage que nous avons obtenus dans le cas des dépôts d'or sur cuivre et d'étain sur fer en intégrant tout le spectre au-delà de 2 keV, et en utilisant, d'une part la mesure directe, d'autre part, la modulation à l'aide de volets d'aluminium.

CAS DE L'UTILISATION DU COMPTEUR DE GEIGER

En remplaçant, dans le montage précédent, le compteur proportionnel par un tube compteur de Geiger spécial pour rayons X, et en modulant le rayonnement X à l'aide de secteurs de nickel et de cuivre balancés, on peut mesurer les épaisseurs de zinc sur fer et de zinc sur cuivre (fig. 8).

Le tableau II donne la précision atteinte pour ces diverses mesures d'épaisseurs. Les variations du taux de comptage que nous avons dans chaque cas considérées comme significatives sont indiquées à la colonne (5).

APPLICATION A L'ANALYSE CHIMIQUE

Avec l'arrangement géométrique représenté à la fig. 9, nous avons mesuré la teneur en fer et en calcium d'agglomérés ternaires Fe_2O_3 , SiO_2 , CO_3Ca . La source annulaire de promethium 147 que nous avons utilisée avait une activité de 1 curie et elle était munie d'une fenêtre de mylar de 2 mg/cm^2 . Le compteur proportionnel était rempli d'un mélange krypton-propane; les mélanges argon-propane ne conviennent pas car ils donnent un pic de fuite de la raie du fer situé à l'emplacement du pic du calcium. Les figures 10 et 11 résument les résultats obtenus en mesurant l'intensité de la raie de calcium et l'intensité de la raie du fer. Ces courbes montrent que l'on obtient la teneur en calcium à 1,9 % près, et la teneur en fer à 1,3 % près (en valeur absolue) si l'on considère comme significative une variation de $\pm 3 \%$ du taux de comptage.

Le but final était de faire une exploration continue de la teneur en calcium et en fer des carottes de minerais de fer; mais actuellement nous procédons à une comparaison des performances obtenues avec la fluorescence β -X avec celles que permet d'obtenir un procédé d'excitation plus simple basé sur l'emploi d'émetteurs X ou Y de faibles énergie, mis au point en Angleterre par MM. MELLISH, CAMERON et RHODES (8) (9) (10).

ESSAIS DE DIFFRACTION

Pour déterminer quelles sont les possibilités offertes à l'analyse β -X par les techniques de diffraction, nous avons utilisé un spectrogoniomètre CGR (Fig 12) où nous avons remplacé le tube à rayons X par une chambre d'irradiation représentée à la fig. 13. Le cristal utilisé était une lame de LiF de 10 mm x 55 mm courbé entre deux mâchoires, le détecteur un tube compteur proportionnel 20 th Century du type PX28 L/A. Nous avons travaillé sans fentes de Soler ni collimation du côté du détecteur. L'aimant donnait un champ de 1800 gauss environ. Nous avons utilisé successivement une source de 1,3 curie de prométhéum 147 obtenue par évaporation d'une solution de chlorure et munie d'une fenêtre de mylar de 2 mg/cm², une source de 1,3 curie de krypton 85 sous pression, modèle ORNL, munie d'une fenêtre de sortie en monel de 68 mg/cm², et une source de 1 curie de strontium 90, modèle SB2 CEA spécial.

Dans les meilleures conditions de réglage de l'inclinaison de la cible et de la position de la source, et en utilisant une cible de cuivre, nous avons obtenu les spectres des fig. 14, 15 et 16. On peut constater que les raies $K\alpha$ et $K\beta$ du cuivre apparaissent bien aux angles θ prévus par la théorie de Bragg, et que l'emploi d'un aimant est indispensable pour les sources de krypton 85 et de strontium 90. Le bruit de fond net semble très faible pour les sources de krypton 85 et de prométhéum 147, mais il est de l'ordre de 6 chocs/s pour le strontium 90. Les résultats obtenus sont résumés au tableau III.

Nous pensons qu'il est techniquement possible d'atteindre une intensité de 1000 chocs/s pour la raie $K\alpha$ du cuivre obtenue avec une cible de cuivre pur, en utilisant

un arrangement optique différent, des sources de rayonnement 10 à 40 fois plus intenses, et un détecteur possédant un meilleur rendement.

CONCLUSION

La fluorescence β -X permet la réalisation d'appareils simples aux avantages multiples : prix de revient peu élevé, réalisation d'ensembles portables, source de rayonnement stable à la décroissance radioactive près, effet de matrice nul sur le rayonnement excitateur, analyse non destructive et représentative de l'échantillon examiné ... Elle peut prétendre atteindre un jour, et même dépasser les performances que permettent de réaliser les techniques classiques d'analyse par fluorescence X au moyen d'un tube à rayons X.

Manuscrit reçu le 14 novembre 1960.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier ici M. LEVEQUE, Chef du Service de Physico-Chimie Appliquée à Saclay, sous la direction de qui nous avons entrepris ce travail, M. REROLLE, Ingénieur à la Société des Câbles de Lyon, qui a effectué les premiers essais, M. TANGUY, Agent technique à la Section des Applications des Radioéléments, qui a conçu et réalisé la plupart des montages que nous avons utilisés, M. HAYOUN, du Service des Radioéléments qui a préparé les sources nécessaires et M. LE TRAON, Ingénieur à l'I.R.S.I.D. qui a été associé à notre travail.

Nous remercions particulièrement la Société C.G.R., qui nous a permis d'effectuer les essais de diffraction au moyen d'un cristal dans ses laboratoires, en collaboration avec ses Ingénieurs MM. GRIFFOUL et RABILLON.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) REIFFEL L. "Beta excited low energy X ray sources"
Nucleonics, 1955, 13 (3) : 22.
- (2) REIFFEL L. et HUMPHREYS R.F. "Sources de rayons X
excitées par des rayons beta"
Actes de la 1ère Conférence Internationale sur
l'utilisation de l'Energie Atomique à des fins
pacifiques - Communication P/156.
- (3) LEVEQUE P., MARTINELLI P., CHAUVIN R. "Etude et
application du rayonnement de freinage externe des β
de l'yttrium 90". Actes de la 1ère Conférence Inter-
nationale sur l'utilisation de l'Energie Atomique à
des fins pacifiques - Communication P/383.
- (4) STARFELT N., CEDERLUND J., LIDEN K. "The Yield of
characteristic X-rays excited by β -rays"
The international Journal of Applied Radiations and
Isotopes, 1957 vol. 2, p. 265-273.
- (5) KERIAKES J.G., KREBS A.T. "Optimum X-ray yields in β
excited X-ray sources"
2ème Conférence Internationale sur les applications
pacifiques de l'Energie Atomique - Genève 1958.
Communication P/809.
- (6) LEVEQUE P. et al "Quelques nouvelles applications des
radioéléments en France".
2ème Conférence Internationale sur les applications
pacifiques de l'Energie Atomique - Genève 1958.
Communication P/1231.
- (7) COMPTON A.H., ALLISON S.K. "X ray in theory and expe-
riments" D. Van Nostrand Co, New-York 1935, p. 532.
- (8) MELLISH C.E. "X ray fluorescence spectroscopy"
Research vol. 12 (Juin 1959) p. 212-217.

- (9) CAMERON J.F., RHODES J.R., BERRY P.F. "Tritium bremsstrahlung and its applications"
Rapport AERE R. 3086 - HARWELL 1959
- (10) SEIBEL G., MARTINELLI P., LETRAHON J.Y. "Applications à l'analyse chimique de la fluorescence X excitée au moyen des rayonnements émis par les isotopes radioactifs".
Journées internationales de spectroscopie des rayons X appliquée à l'industrie. - Liège 8-10 Juin 1960.

Tableau I

CARACTERISTIQUES DES ISOTOPES EMETTEURS UTILISES EN FLUORESCENCE X

Isotope	Période	Nature du rayonnement émis	Energie du Rayonnement
^{147}Pm	2,7 ans	β^-	0,223 MeV max.
^{85}Kr	10,4 ans	β^- γ	0,670 MeV max. 0,520 MeV (1 %)
$^{90}(\text{Sr}+\text{Y})$	28 ans	β^- β^-	2,18 MeV max. 0,6 MeV max.

TABLEAU II

PRECISION ATTEINTE DANS LA MESURE DES EPAISSEURS DES DEPOTS METALLIQUES

1) En utilisant un compteur proportionnel :

Nature du dépôt	Domaine d'épaisseurs (microns)	Méthode utilisée	Précision	Variation correspondante du taux de comptage
zinc/fer étain/fer cuivre/fer	1 à 50 1 à 8 1 à 30	mesure directe de l'intensité de la raie du fer	4,5 à 8 % 1,8 à 6 % 3,3 à 15 %	3 % 3 % 3 %
chrome/cuivre argent/cuivre or/cuivre	1 à 30 1 à 8 1 à 5	mesure directe de l'intensité de la raie du cuivre	2,4 à 7,8 % 3 à 4,5 % 2,4 à 6 %	3 % 3 % 3 %
zinc/cuivre	1 à 90	intensité de la raie du cuivre avec filtre nickel	3 à 7,2 %	3 %
chrome/fer	1 à 30	intensité de la raie du chrome avec filtre chrome	4,2 à 8,4 %	3 %
or/cuivre étain/fer	1 à 4 1 à 8	spectre intégré (seuil inférieur 2 KeV)	6 à 20 % 6,4 à 10 %	2 % 2 %
or/cuivre étain/fer	1 à 4 1 à 8	spectre intégré (seuil : 2 KeV) et modulation par volets d'aluminium	2,2 à 6,2 % 1,8 à 2 %	1 % 1 %

(2) En utilisant un compteur de Geiger :

zinc/fer	0 à 50	avec modulation par un disque à secteurs de nickel et de cuivre	3 à 6 %	2 %
zinc:cuiivre	0 à 50		3 à 6 %	2 %

TABLEAU III

ESSAIS DE DIFFRACTION

(résultats obtenus dans l'exploration de l'intensité des raies $K\alpha$ et $K\beta$ du cuivre en fonction de θ).

Radioélément utilisé		Intensité nette de la raie K du cuivre au-dessus du fond continu	Intensité du bruit continu enregistré	Bruit de fond ambiant (estimé)	Largeur de la raie à mi-hauteur
activité	nature				
1,3 curie	^{147}Pm	7 chocs/s (6,85)	0,45 chocs/s	0,45 chocs/s très variable	0° 42
1,3 curie	^{85}Kr	4,5 chocs/s	0,5 chocs/s	0,42 chocs/s source obturée	0° 35
1 curie	$^{90}\text{(Sr+Y)}$	25 chocs/s	7 chocs/s	1,1 chocs/s	0° 39

FIGURES

- Fig. 1** Principe de l'analyse par fluorescence X.
- Fig. 2** Schéma du principe de l'analyse du rayonnement X.
- a) méthode d'analyse directe
 - b) méthode avec modulation
 - c) méthode avec diffraction au moyen d'un cristal
 - d) méthode avec cible secondaire
- Fig. 3** Vue en coupe du montage utilisé pour les mesures d'épaisseur par fluorescence β -X.
- Fig. 4** Dépôts sur fer. Mesure de l'intensité de la raie du fer avec un compteur proportionnel et un spectromètre (canal utilisé : 0,4 keV).
- Fig. 5** Dépôts sur cuivre. Mesure de l'intensité de la raie du cuivre avec un compteur proportionnel et un spectromètre γ (canal utilisé : 0,4 keV).
- Fig. 6** 1. Dépôts de zinc sur cuivre. Mesure de l'intensité de la raie du cuivre transmise par un filtre de nickel de $13,8 \text{ mg/cm}^2$ à l'aide d'un compteur proportionnel et d'un spectromètre γ (canal utilisé : 0,4 keV).
2. Dépôts de chrome sur fer. Mesure de l'intensité de la raie du chrome transmise par un filtre de chrome de $6,6 \text{ mg/cm}^2$, à l'aide d'un compteur proportionnel et d'un spectromètre γ (canal utilisé : 0,4 keV).
- Fig. 7** Dépôts d'or sur cuivre et d'étain sur fer. Mesures effectuées avec un compteur proportionnel avec discrimination d'amplitude (seuil 2 keV).
- 1°) sans modulation
 - 2°) avec modulation du faisceau de rayons X au moyen de volets d'aluminium et en faisant la différence entre les indications données par deux échelles de comptage.

Fig. 8 Courbes obtenues au moyen d'un compteur de Geiger, en modulant le faisceau de rayon X.

1°) dans le cas de dépôts de zinc sur cuivre à l'aide de filtres de nickel et de cuivre ayant le même facteur de transmission pour les raies du cuivre,

2°) dans le cas de dépôts de zinc sur fer au moyen de filtres de nickel et de cuivre balancés.

Fig. 9 Schéma du dispositif utilisé pour l'analyse des agglomérés $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CaO}$.

A - aimant; P - protection de plomb

S - source; E - échantillon; D détecteur.

Fig 10 Intensité de la raie du calcium. Courbes extrêmes obtenues pour divers agglomérés ternaires : $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CaO}$.

Fig 11 Intensité de la raie du fer. Courbes extrêmes obtenues pour divers agglomérés ternaires : $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CO}^3\text{Ca}$

Fig 12 Schéma du montage utilisé pour les essais de diffraction en analyse β -X : chambre d'irradiation et goniomètre CGR.

Fig 13 Chambre d'irradiation utilisée pour les essais de diffraction

Fig 14 Essais de diffraction. Courbe $N = f(\theta)$ obtenus en utilisant un cristal de LiF courbe, une cible de cuivre et une source de ^{147}Pm de 1 curie 3.

Fig 15 Essais de diffraction. Courbe $N = f(\theta)$ obtenue en utilisant un cristal de LiF courbe, une cible de cuivre et une source de ^{85}Kr de 1 curie 3,

1°) sans aimant

2°) avec aimant

Fig 16 Essais de diffraction. Courbe $N = f(\theta)$ obtenue en utilisant un cristal de LiF courbe, une cible de cuivre et une source de $^{90}(\text{Sr}+\text{Y})$ de 1 curie. Un aimant de 2000 gauss se trouvait placé sur le trajet du faisceau

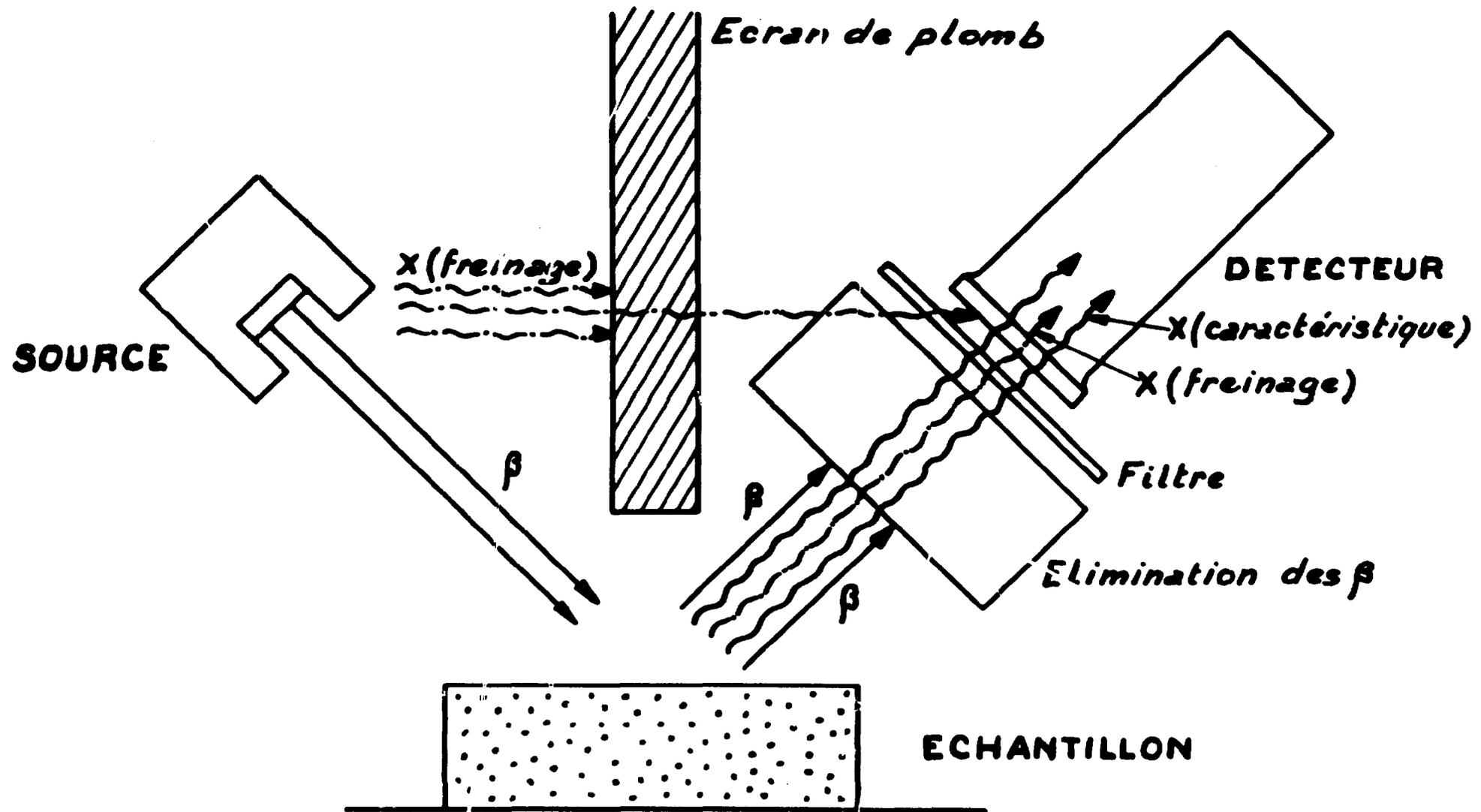


Fig: 1

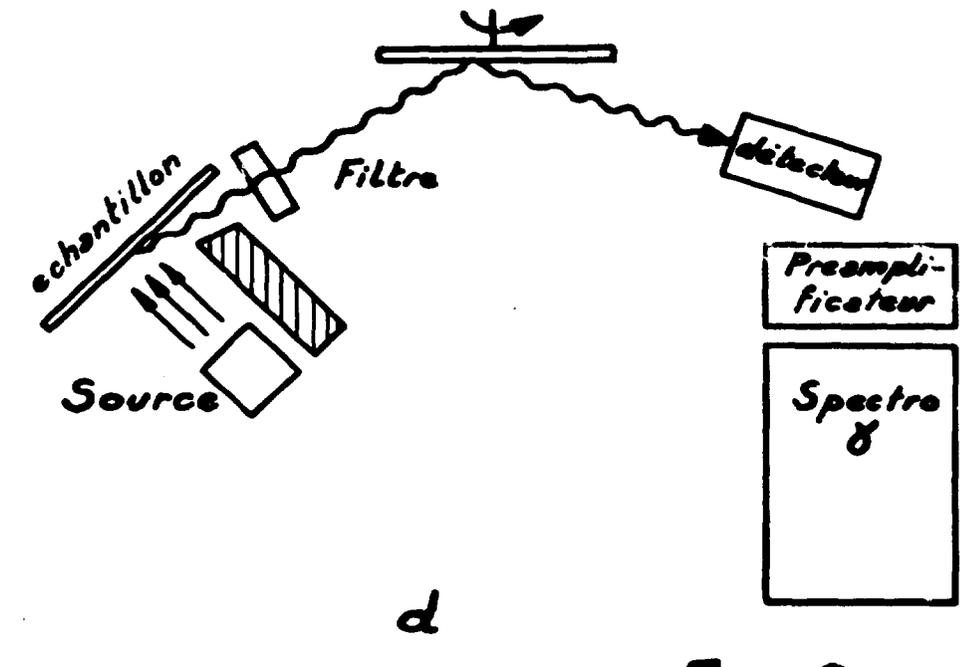
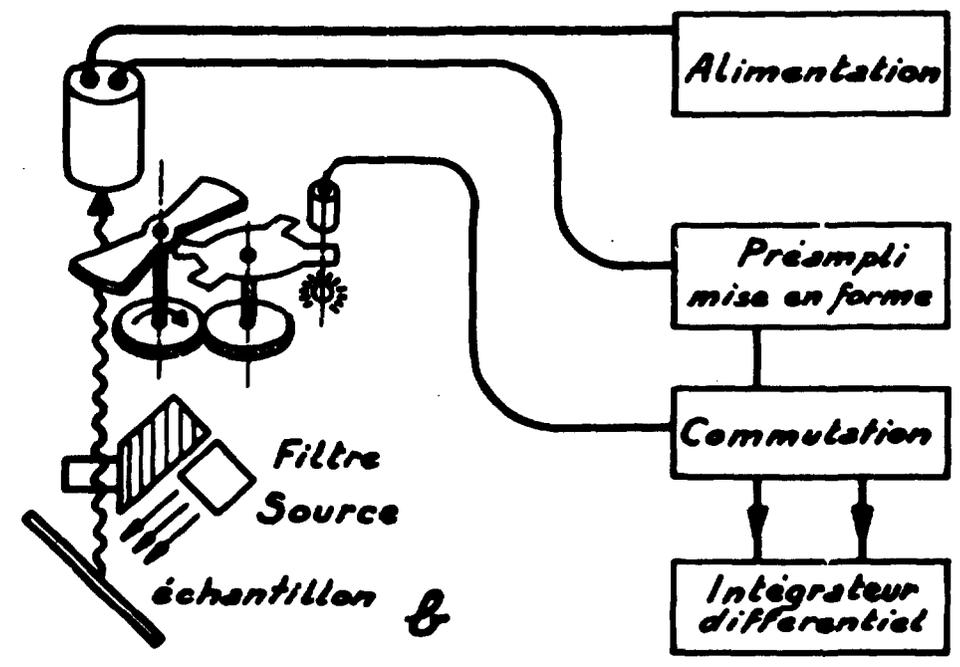
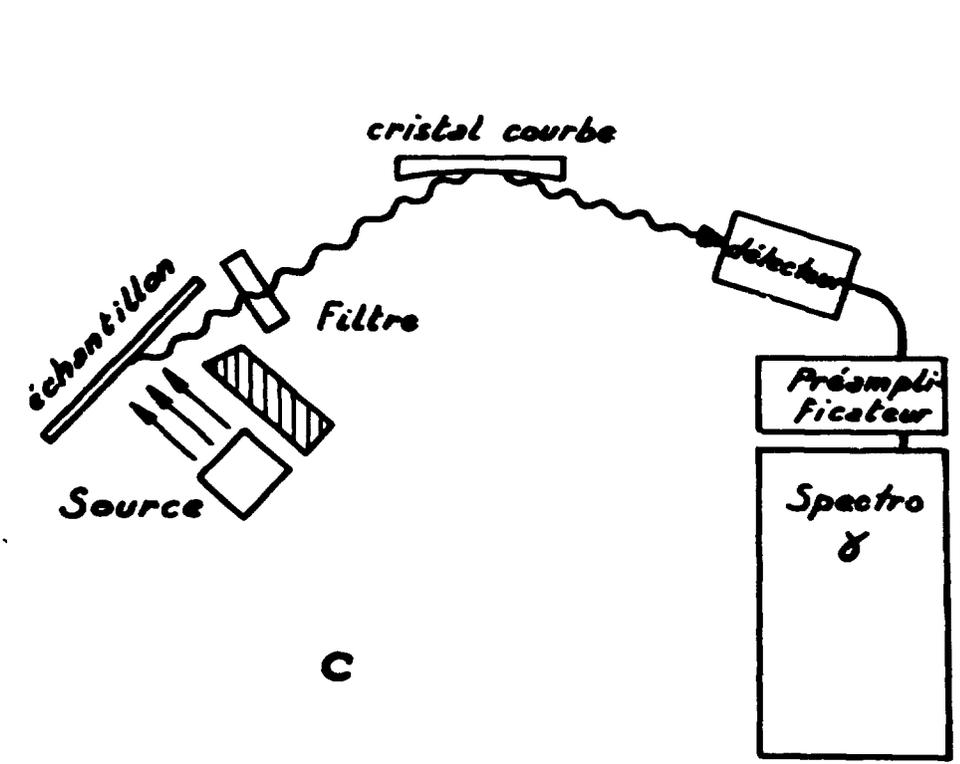
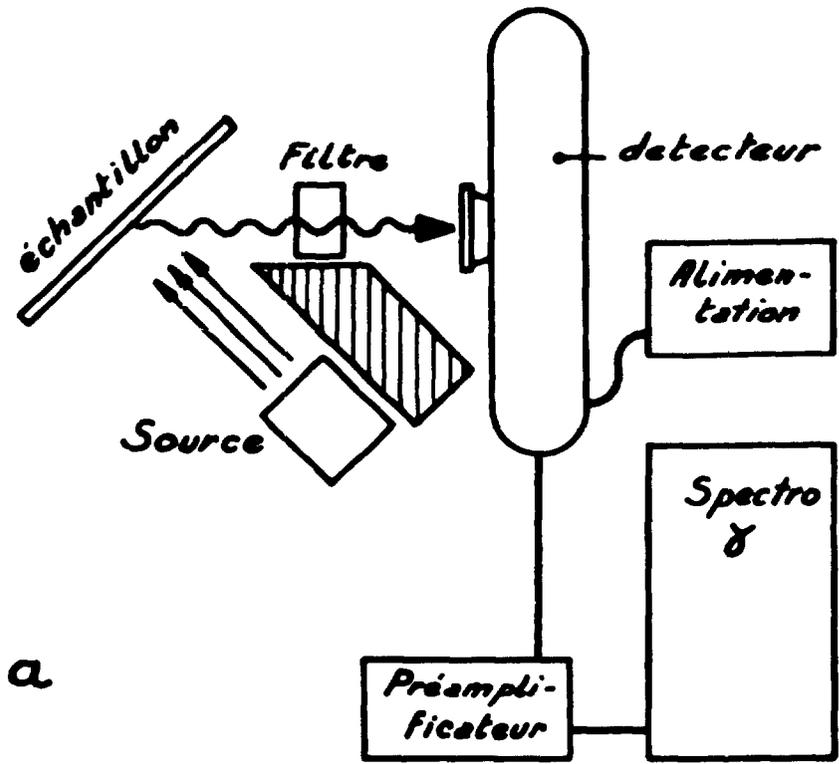


Fig: 2

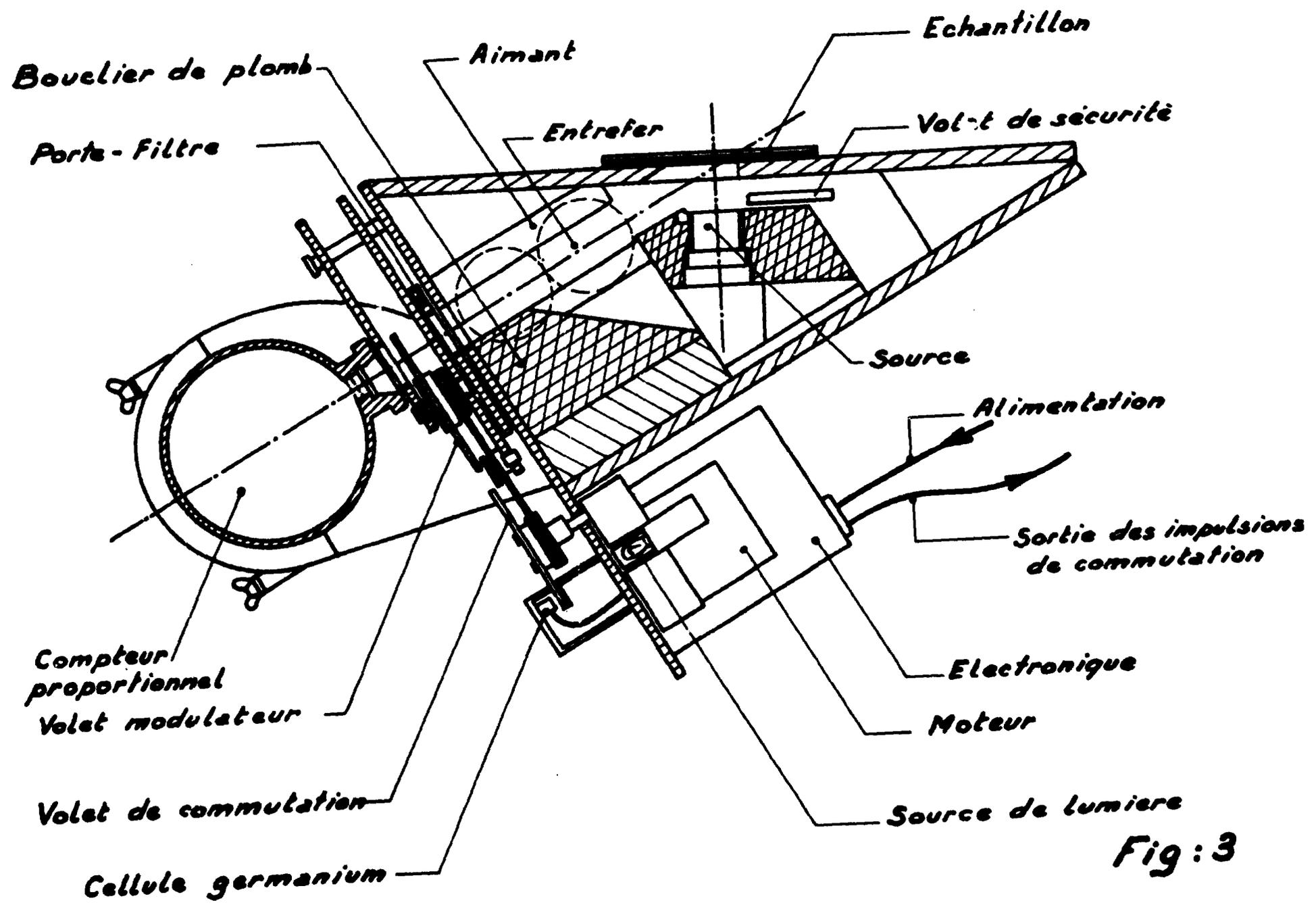


Fig: 3

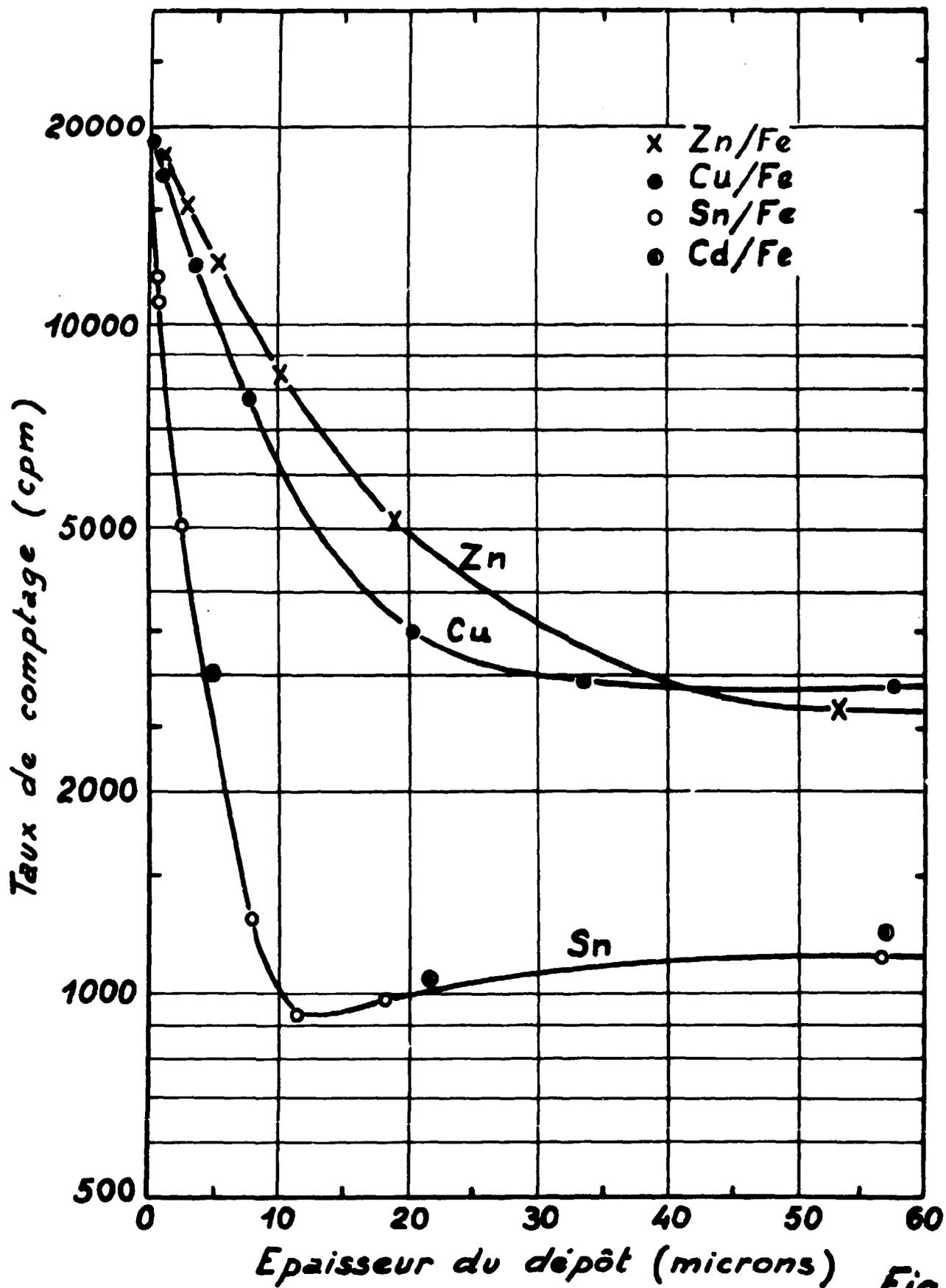
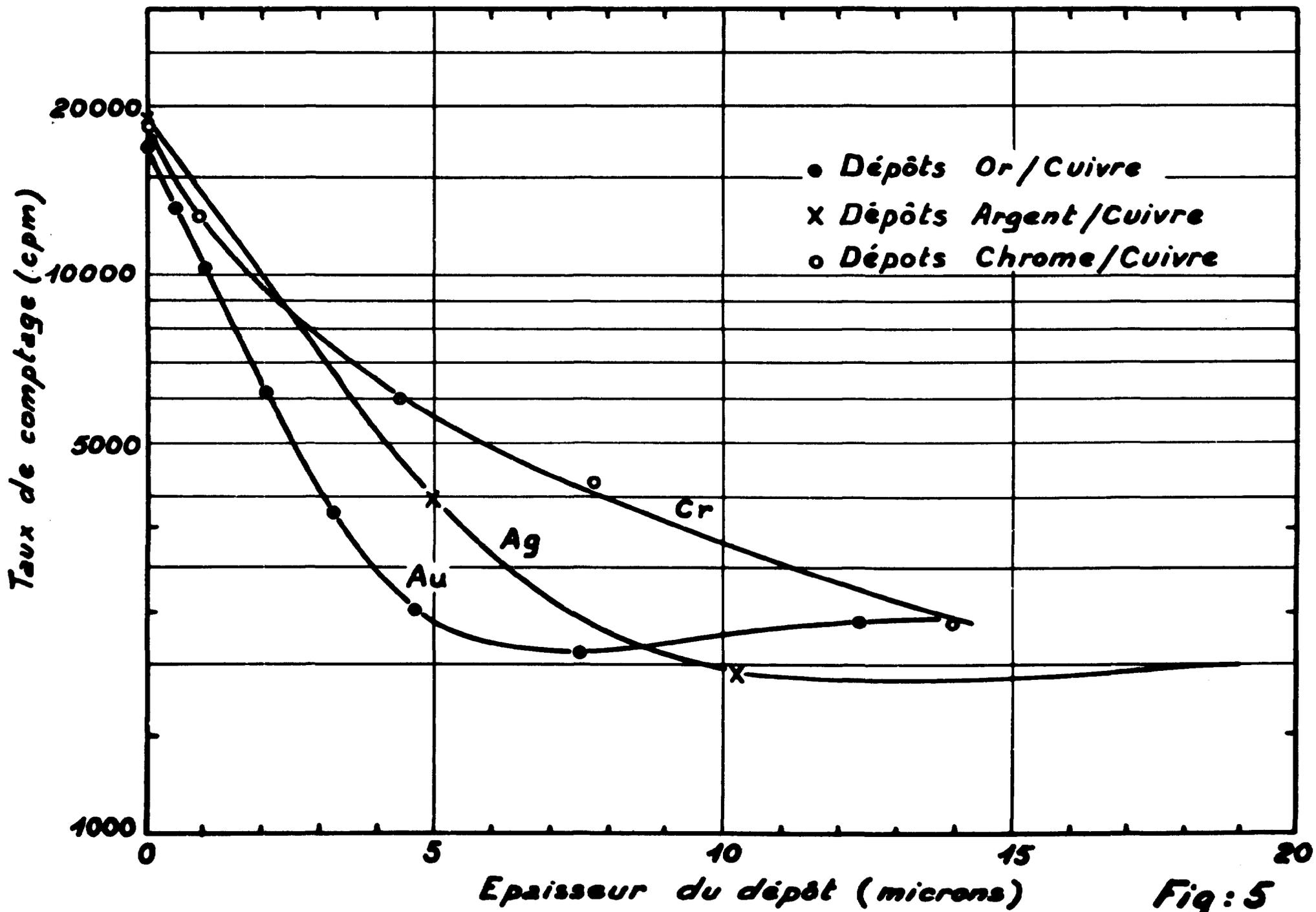


Fig:4



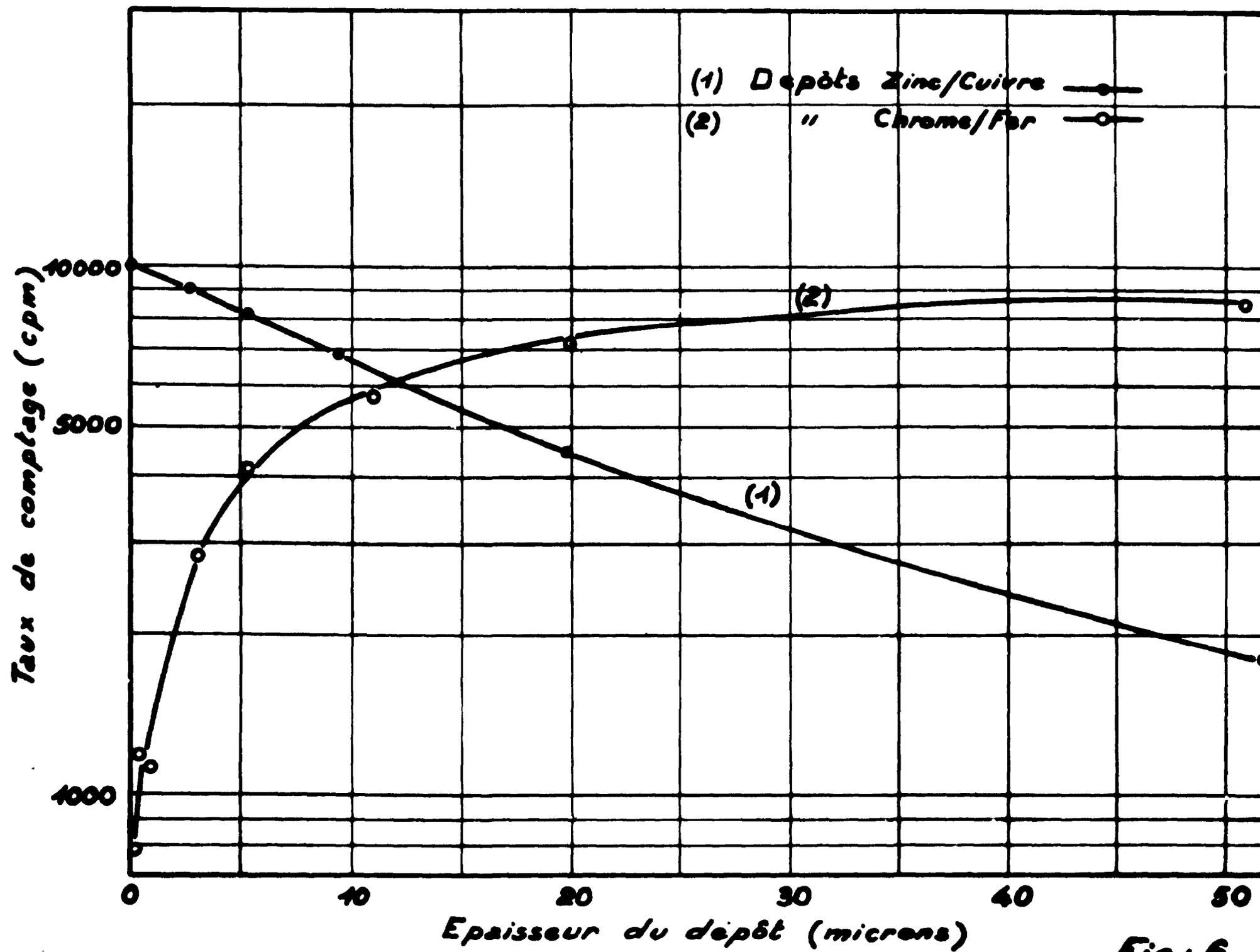


Fig: 6

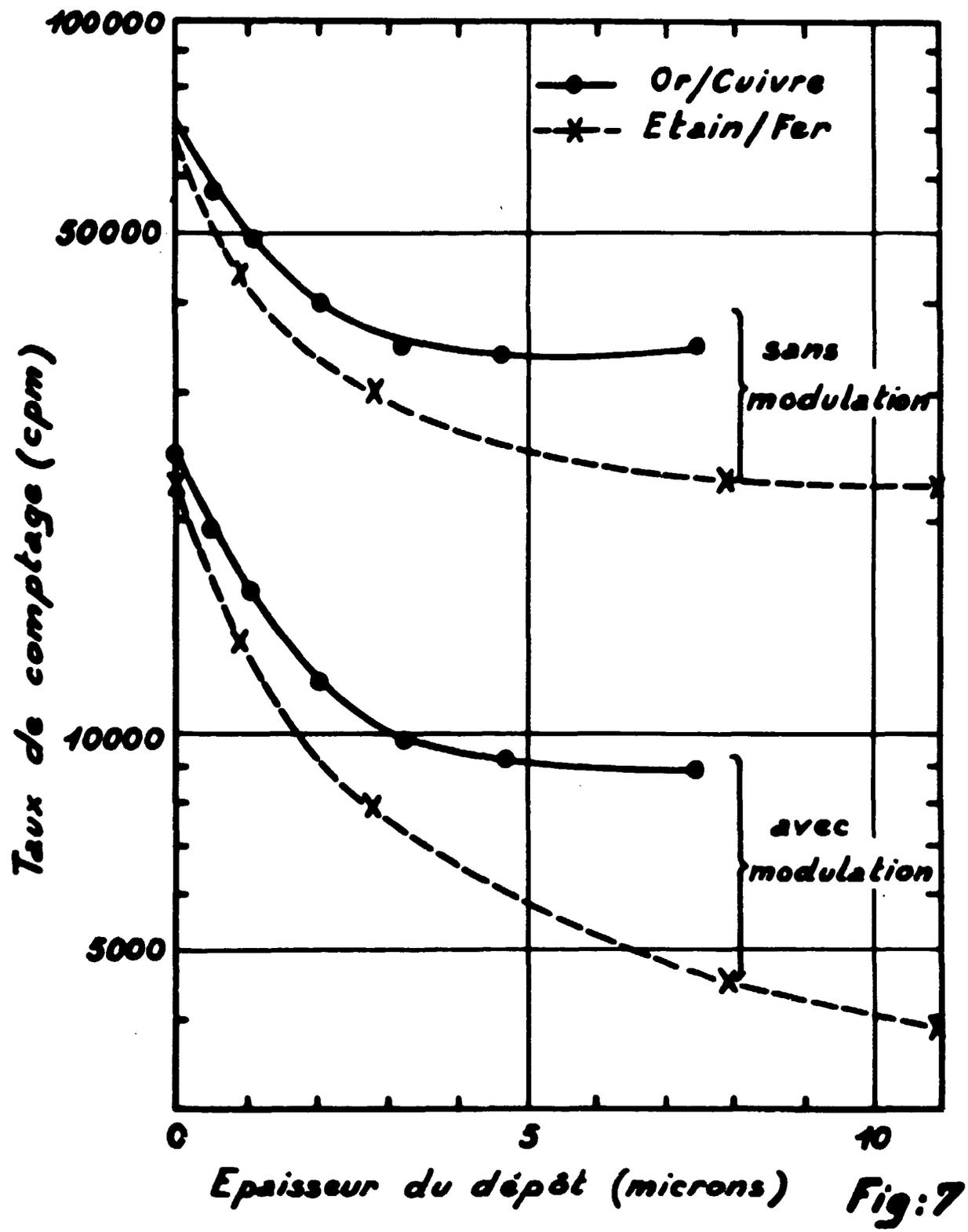


Fig:7

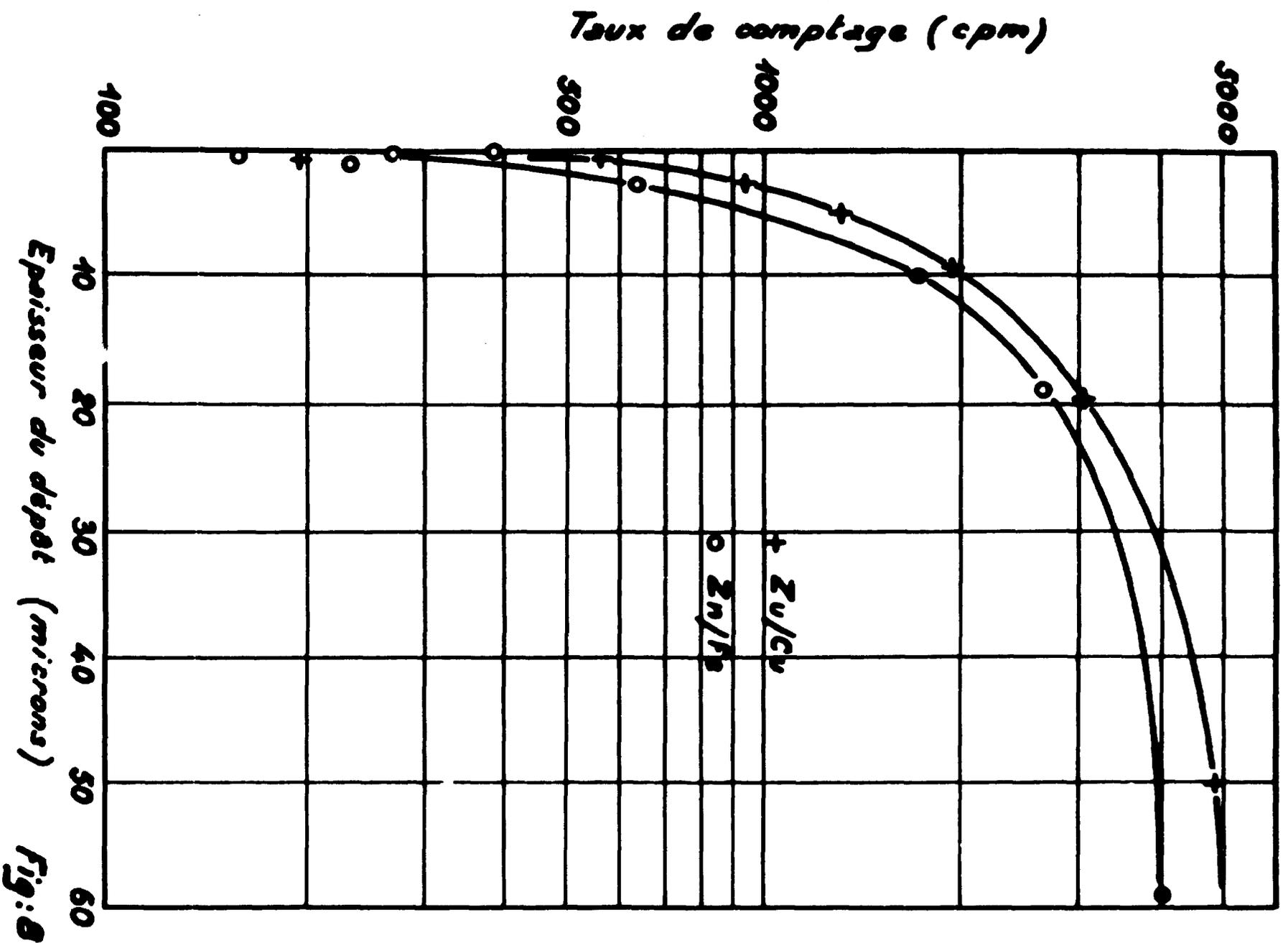


Fig: 8

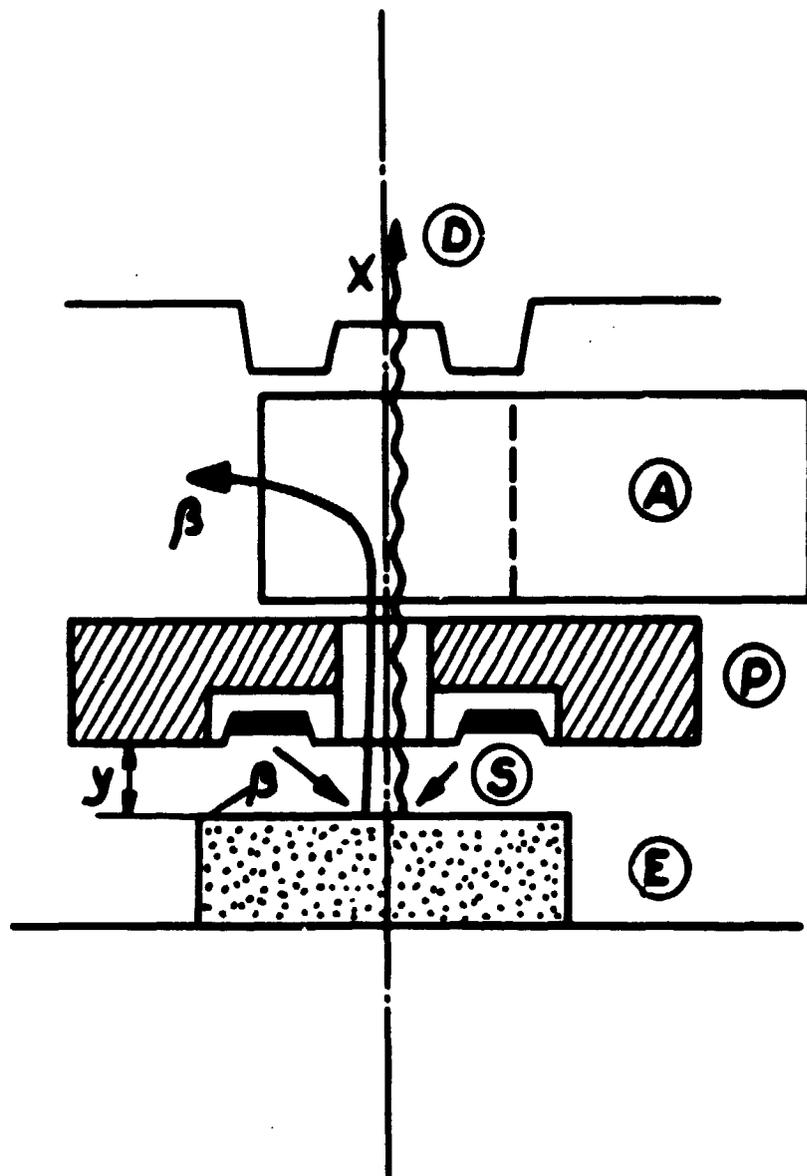


Fig: 9

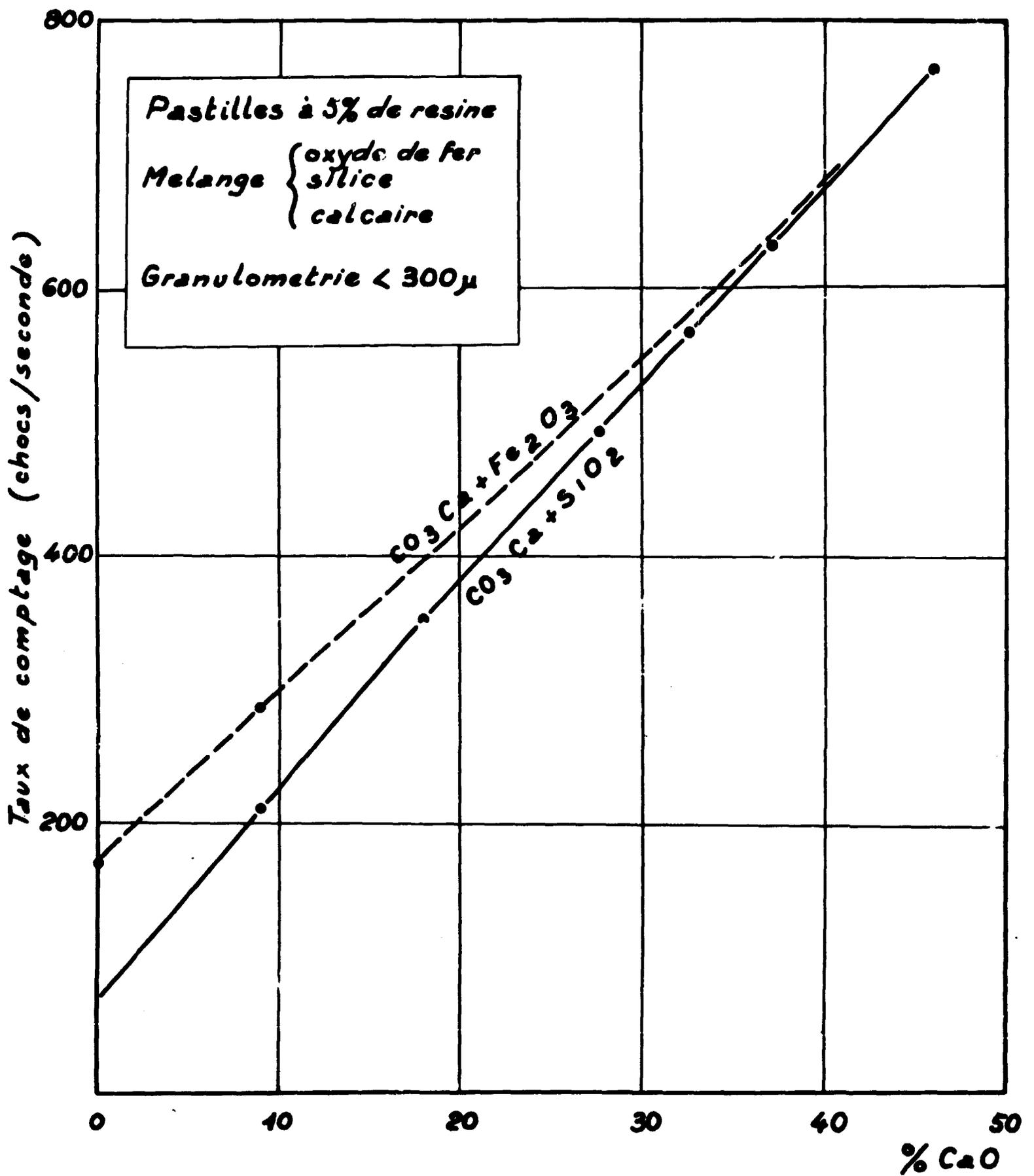


Fig: 10

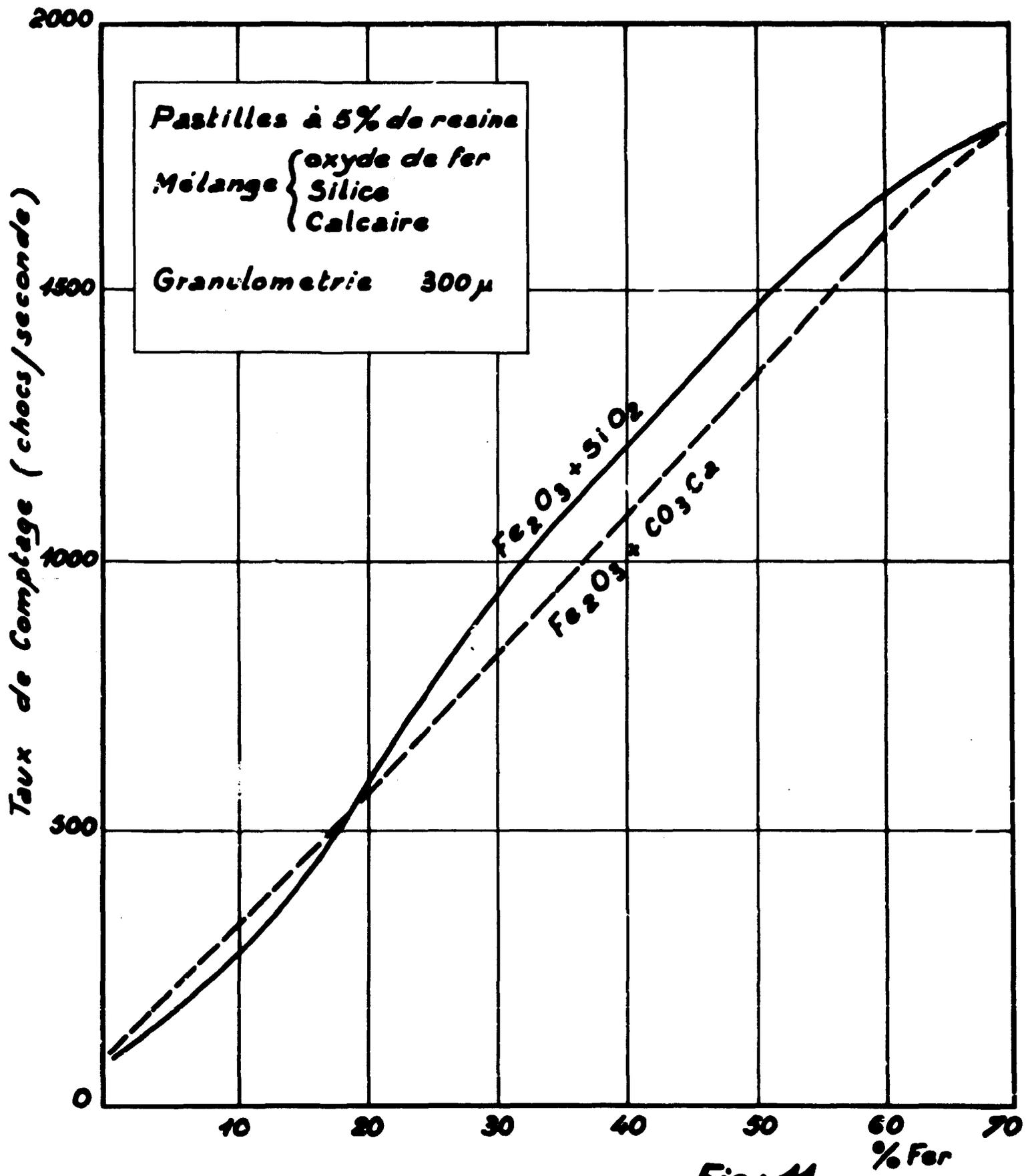


Fig: 11

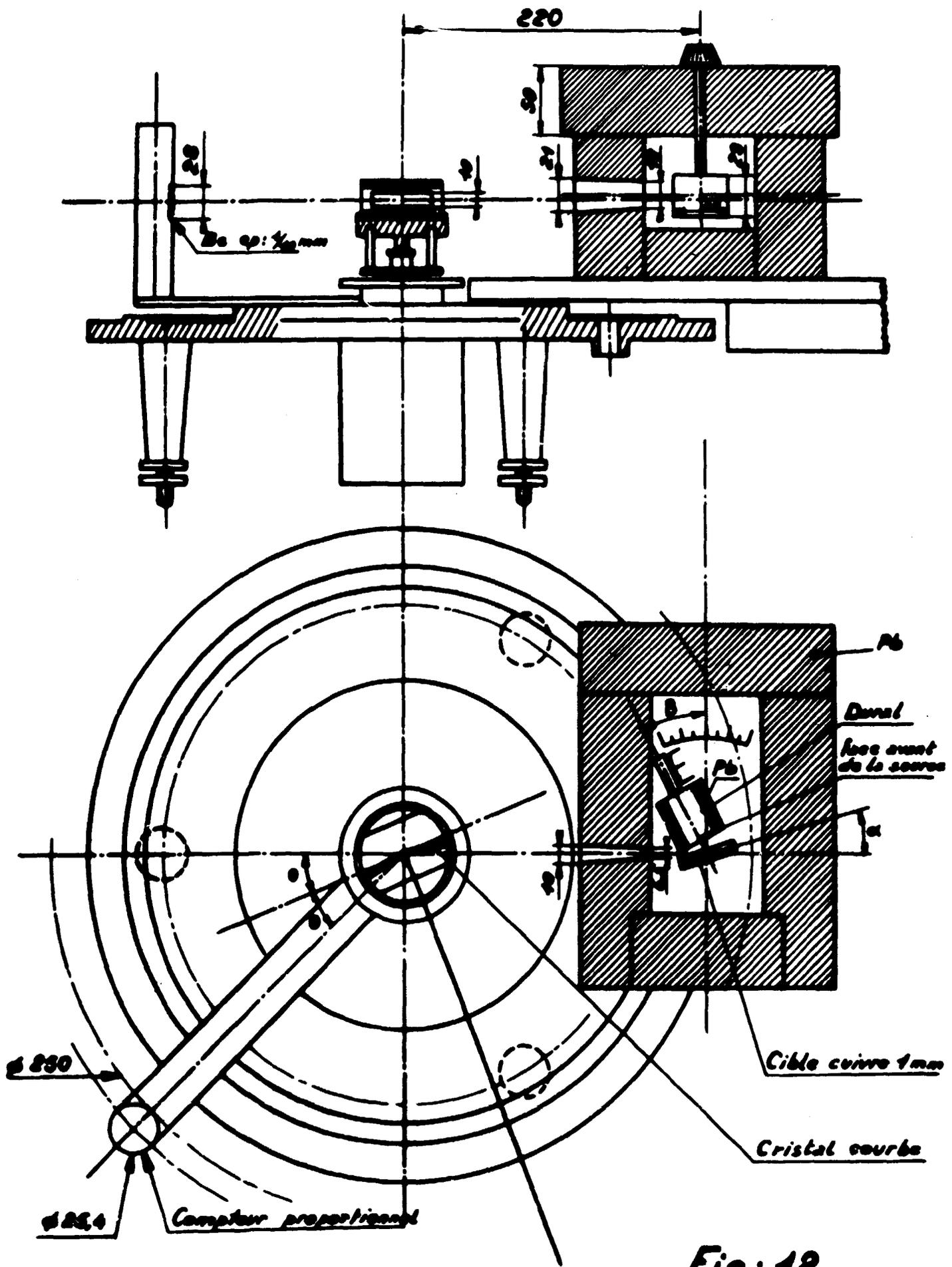


Fig: 12

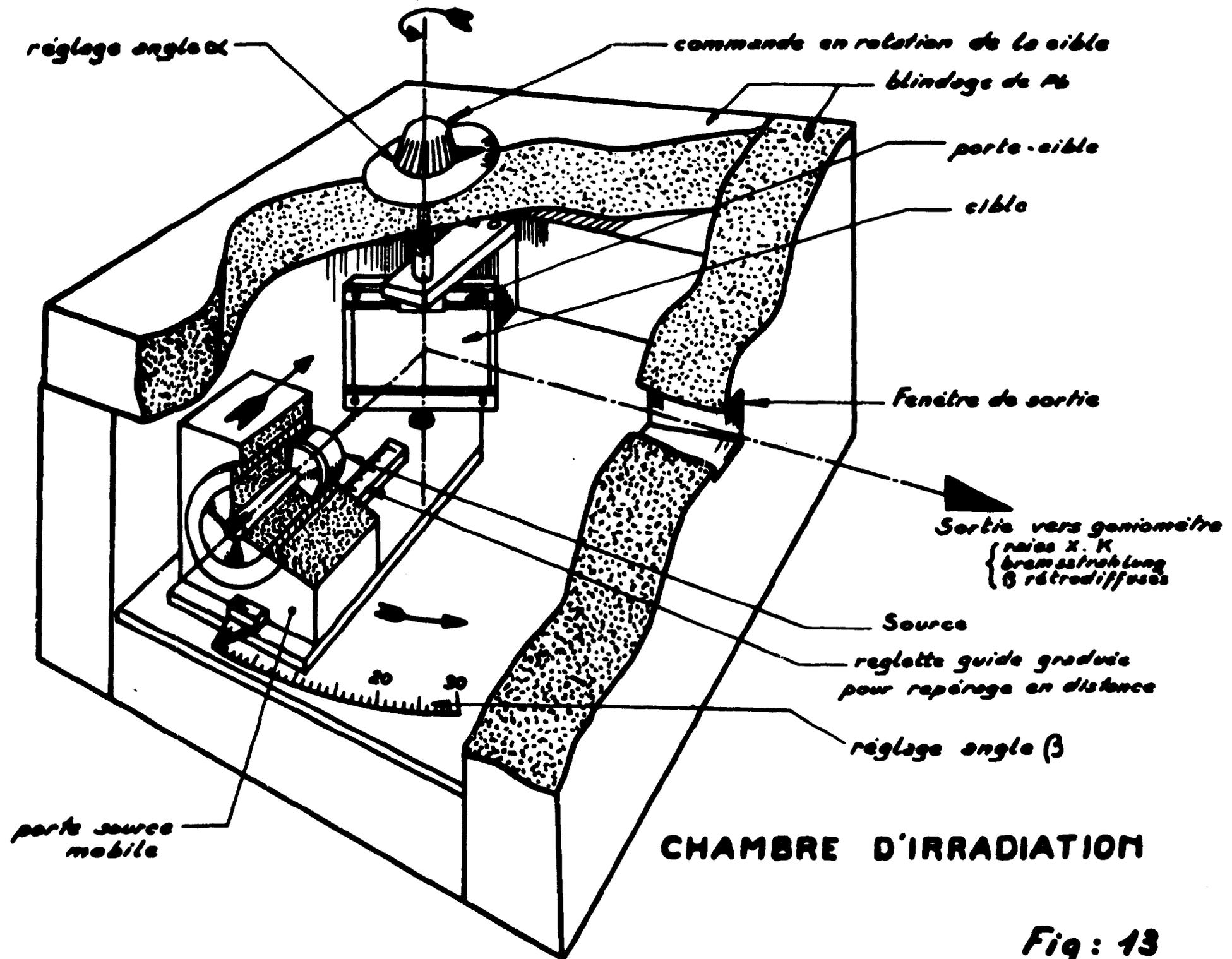


Fig: 13

147 Pm

Cible de Cuivre

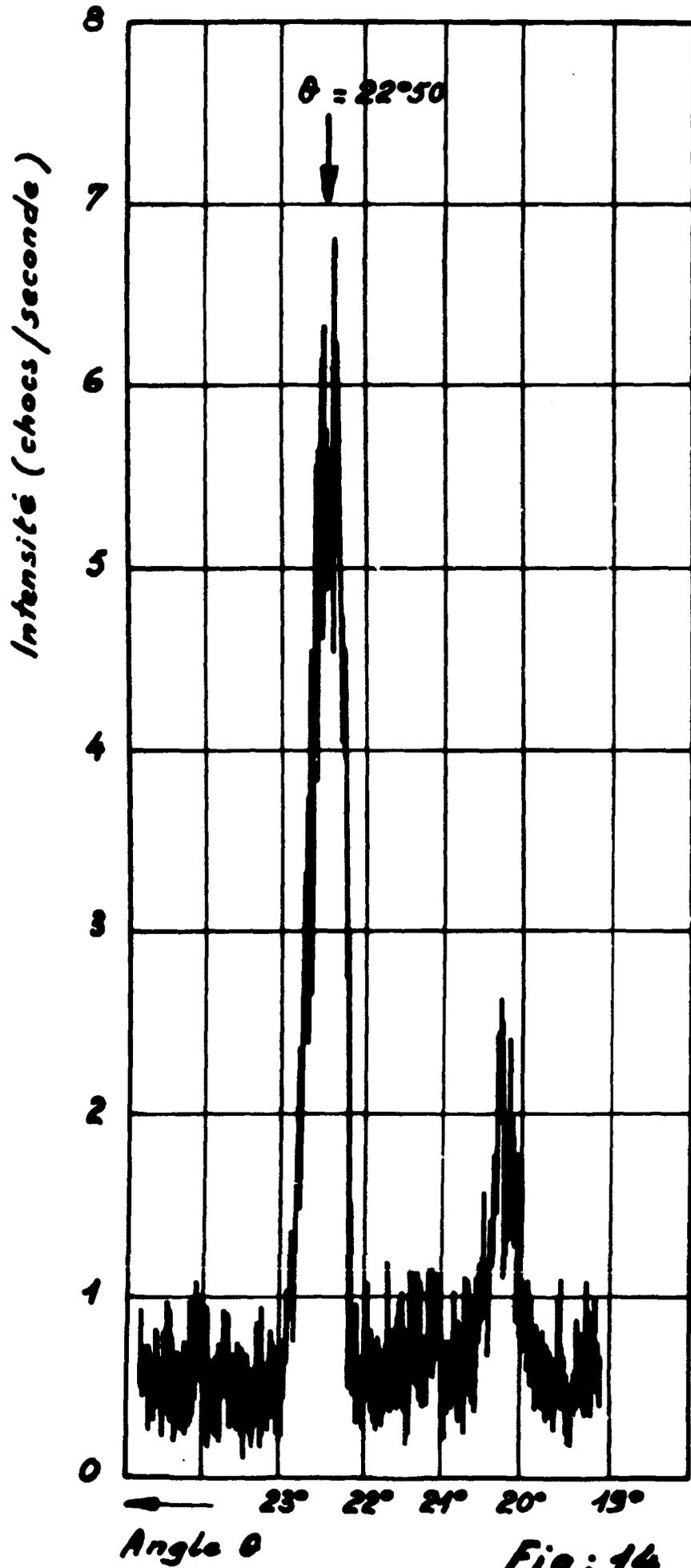


Fig: 14

^{85}Kr Cuivre Cristal Courbe LIF

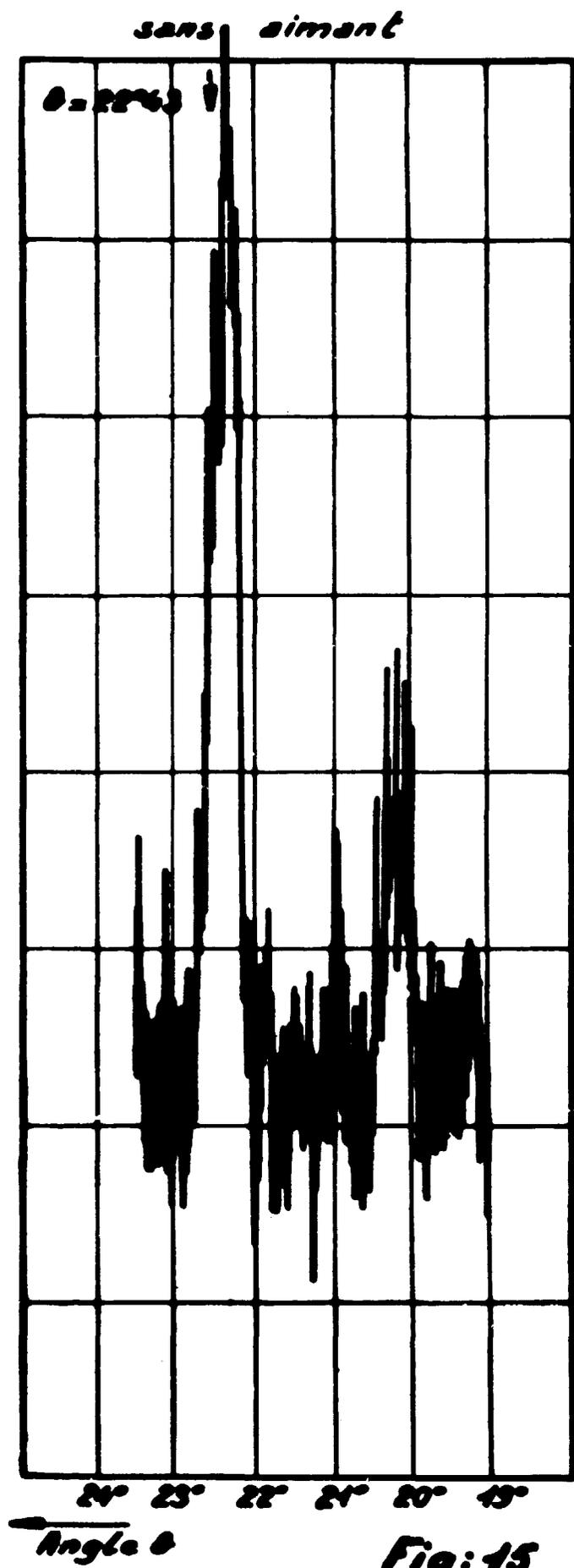
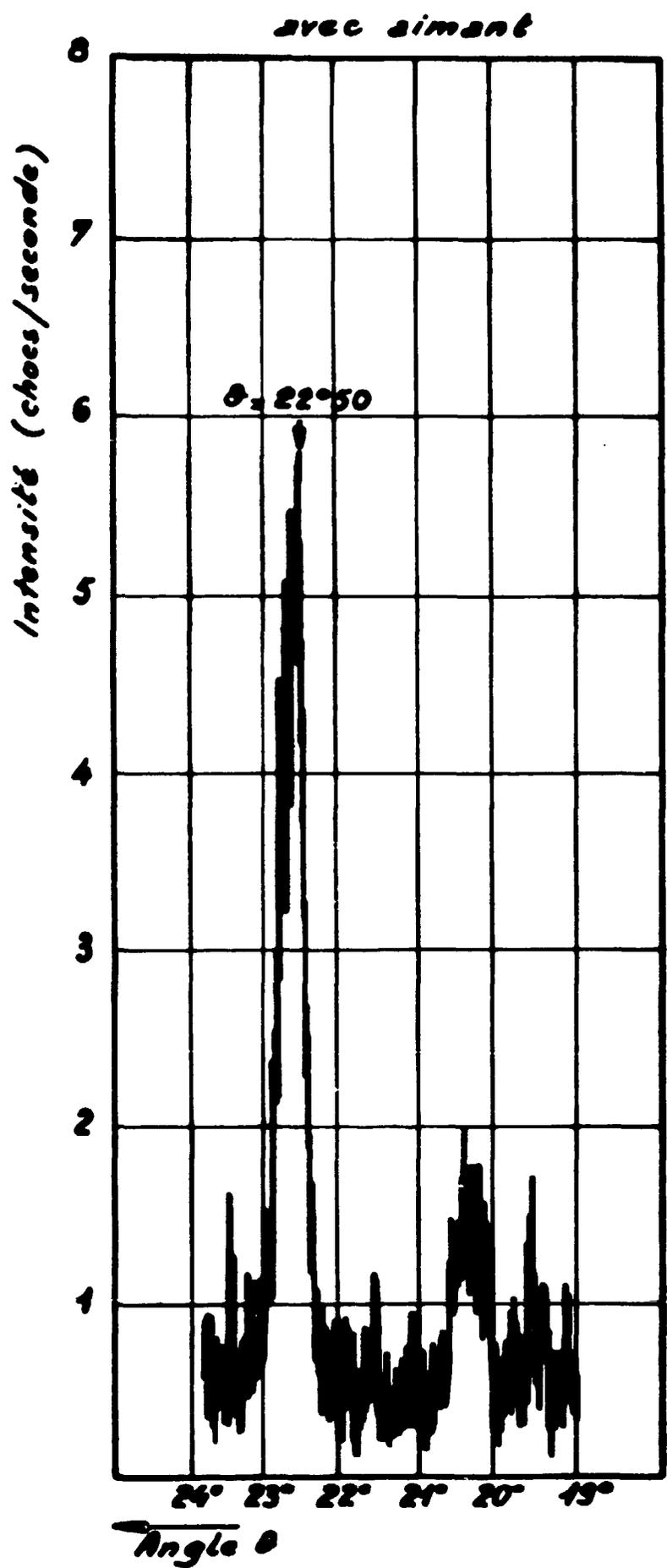


Fig:15

$^{90}\text{Sr}+\gamma$
Culvre
Cristal courbe LiF
avec aimant

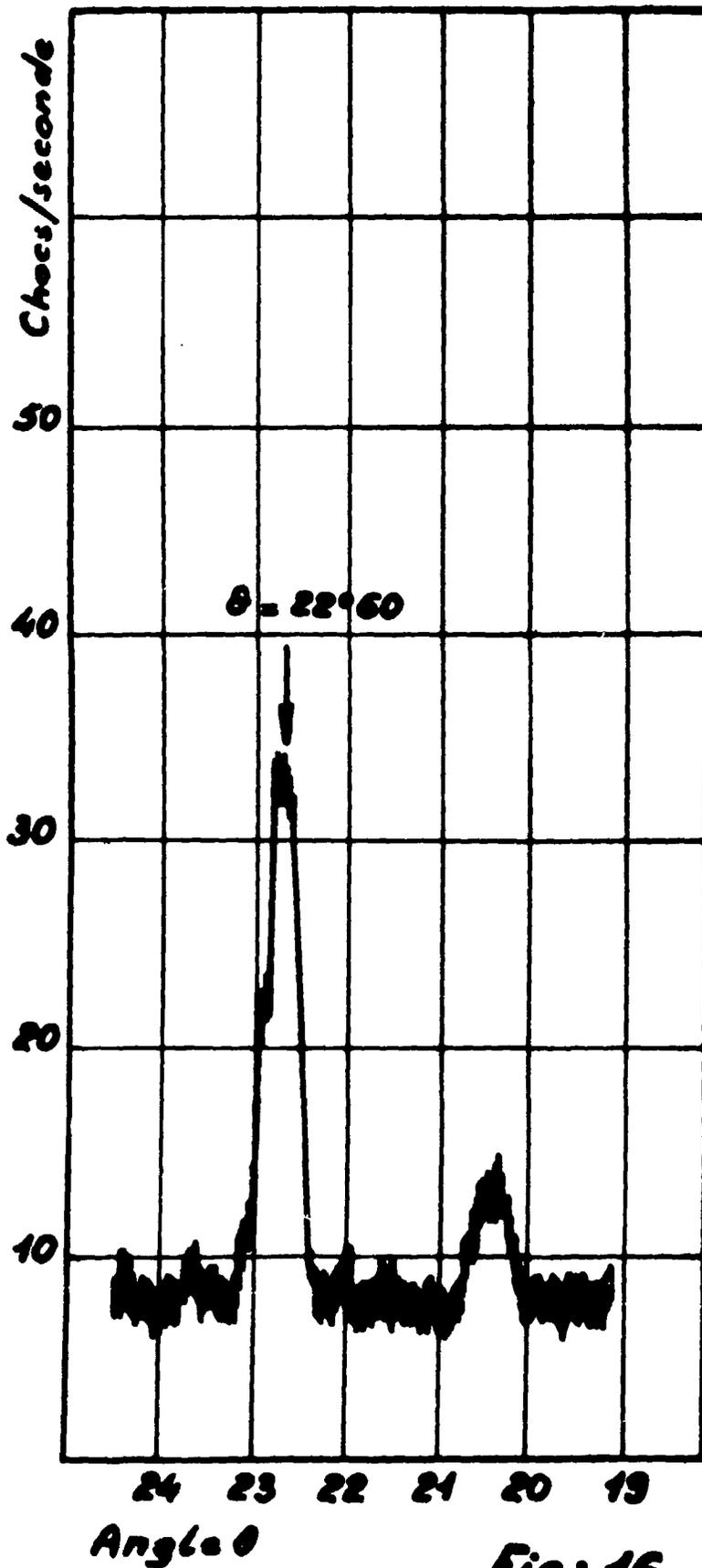


Fig: 16

FIN