

CEA-R 2451 - DROULERS Yves, PLEYBER Gaëtan, SCIERS Paul,
MAURIN Guy

BOUCLE A GAZ - MESURE CONTINUE DE FLUX DE NEUTRONS THERMIQUES ET RAPIDES.

Sommaire. - La méthode de mesure décrite dans ce rapport s'applique aussi bien au flux de neutrons thermiques, qu'au flux de neutrons rapides. On donne la description de deux réalisations pratiques dans chacun de ces domaines.

Cette méthode est particulièrement adaptée à des mesures effectuées sur des dispositifs du type "boucle". La mesure des variations relatives de flux se fait avec une précision de 5 pour cent. Le choix de la configuration du circuit gazeux donne une grande souplesse dans l'adaptation du circuit de mesure aux conditions expérimentales.

1964

13 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-R 2451 - DROULERS Yves, PLEYBER Gaëtan, SCIERS Paul,
MAURIN Guy

GAS LOOP - CONTINUOUS MEASUREMENT OF THERMAL AND FAST NEUTRON FLUXES.

Summary. - The measurement method described in this report can be applied both to thermal and fast neutron fluxes. A description is given of two practical applications in each of these two domains.

This method is particularly suitable for measurements carried out on "loop" type equipment. The measurement of the relative flux variations are carried out with an accuracy of 5 per cent. The choice of the shape of the gas circuit leaves a considerable amount of liberty for the adaptation of the measurement circuit to the experimental conditions.

1964

13 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

BOUCLE A GAZ
MESURE CONTINUE DE FLUX DE NEUTRONS
THERMIQUES ET RAPIDES

par

Yves DROULERS , Gaetan PLEYBER

Paul SCIERS , Guy MAURIN

Rapport C E A - R 2451

1964

Ba

CENTRE D'ETUDES
NUCLEAIRES DE GRENOBLE

Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.

The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.

- Rapport CEA-R 2451 -

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE GRENOBLE

Service des Piles

BOUCLE A GAZ

MESURE CONTINUE DE FLUX DE NEUTRONS THERMIQUES ET RAPIDES

par

Yves DROULERS - Gaëtan PLEYBER - Paul SCIERS - Guy MAURIN -

- Août 1964 -

BOUCLE A GAZ

MESURE CONTINUE DE FLUX DE NEUTRONS THERMIQUES ET RAPIDES

La méthode de mesure décrite dans ce rapport a été mise au point à la demande d'expérimentateurs désireux de connaître rapidement par simple lecture soit la dose neutronique reçue par leur échantillon pendant un temps donné, soit la valeur du flux instantané. C'est pourquoi, on associe toujours au dispositif décrit ci-dessous deux voies de mesure, l'une aboutissant à un tiroir numérateur totalisant le nombre d'impulsions comptées à partir de l'instant choisi, l'autre aboutissant à un enregistreur graphique dont l'indication est proportionnelle à la valeur instantanée du flux neutronique. Notons que ce dispositif ne permet pas d'obtenir directement une mesure absolue du flux ; pour ce faire, on peut comme nous l'avons fait, y associer une mesure par activation. L'étalonnage sera donc spécifique de l'emplacement expérimental.

1/ - PRINCIPE :

On établit en permanence une circulation de gaz à débit constant (Fig. 1). Le circuit comporte principalement deux parties : en pile, un serpentin d'irradiation entourant le dispositif expérimental ;

: hors pile, un serpentin de comptage entourant un cristal scintillateur associé à un tube photo multiplicateur. La chaîne de comptage est réglée de manière à compter le rayonnement γ caractéristique de la désactivation du produit formé dans la réaction choisie.

1.1. Choix du gaz détecteur :

Le corps gazeux choisi est d'utilisation courante afin de pouvoir l'employer en circuit ouvert. Ceci simplifie grandement l'établissement d'un débit constant qui peut se faire sans régulation. Par ailleurs, le temps de passage en pile doit être bref pour obtenir une réponse rapide. Ceci conduit à utiliser des réactions nucléaires ayant les caractéristiques suivantes :

Section efficace importante.

Concentration isotopique du noyau -père élevée.

Période courte du produit formé.

Enfin pour des raisons évidentes de sécurité, le gaz ne doit présenter aucun caractère corrosif ni toxique avant et après passage sous flux.

1.1.1. Mesure du flux thermique :

Pour la mesure du flux de neutrons thermiques, un corps pur comme l'Argon répond bien aux exigences énoncées ci-dessus. La réaction $A_{40} (n, \gamma) A_{41}$ a pour caractéristiques :

Section efficace : $\sigma = 0,53 \text{ b}$

Concentration isotopique : 0,996

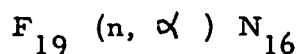
Décroissance A_{41} : $T_{1/2} = 1,85 \text{ h.}$

La rayonnement γ de désactivation de l' A_{41} a une énergie de 1,3 Mev. Les réactions du type (n, γ) sur les isotopes A_{36} et A_{38} donnent des produits ne présentant pas d'activité γ . L'Argon employé (qualité U) contient 50 ppm d'Azote et 10 ppm d'Oxygène. L'activité de l'Azote 16 formé dans la réaction $O_{16} (n, p) N_{16}$ et dans la réaction $N_{15} (n, p) N_{16}$ est négligeable par rapport à celle de l' A_{41} formé. Il en est de même pour l'activité en Oxygène 19 produit de la réaction $O_{18} (n, \gamma) O_{19}$.

La figure 2 donne la courbe expérimentale du spectre relevée au P.M. La pureté du pic montre la faible participation à l'activité totale des impuretés contenues dans le gaz.

1.1.2. Mesure du flux rapide :

Pour la mesure des flux de neutrons rapides, on emploie la réaction suivante :



ayant pour caractéristiques :

Section efficace moyennée sous le spectre de fission 8 mb.

- Décroissance : 7,35 sec.

- Seuil approximatif : 4 MeV.

- Concentration isotopique : 1

- Section efficace différentielle : (2)

Le rayonnement γ de désactivation de l'Azote 16 a une énergie supérieure à 6 MeV. La section efficace de capture (n, γ) du Fluor est faible : 9 mb à 2.200 m/sec.

Le Fluor en tant que corps simple est inutilisable, c'est là un inconvénient qui conduit à l'employer sous forme d'un composé gazeux chimiquement stable.

C'est le cas des Fréons tels que :

- Forane 11 CF_3Cl

- Forane 12 CF_2Cl_2

- Forane 13 CF_3Cl

ou de l'Héxafluorure de Soufre SF_6 . Celui-ci est cependant d'un prix de revient assez élevé par rapport aux foranes.

L'étude des diverses réactions montre qu'il est possible de s'affranchir des activités parasites en plaçant le seuil de comptage à 4 Mev (1). Ajoutons que l'on peut exploiter des réactions du type (n, γ) pour faire parallèlement une mesure de flux de neutrons thermiques. Ce sera par exemple la mesure en activité de Cl^{38} issu de la réaction $Cl^{37} (n, \gamma) Cl^{38}$ ou celle de S^{37} issu de la réaction $S^{36} (n, \gamma) S^{37}$.

La figure 3 donne la courbe expérimentale du spectre relevé au PM en utilisant du Forane 12.

1.2. Caractéristiques du circuit gazeux :

Le volume d'irradiation doit être prévu de manière à ce que l'activité du gaz puisse être comptée avec une bonne précision statistique. Cependant, le fait que le volume de comptage puisse être pris très grand par rapport au volume d'irradiation donne une grande souplesse dans le choix de ce dernier. Ce choix sera finalement guidé par des impératifs d'encombrement liés à l'emplacement et à la configuration du dispositif expérimental;

L'activité comptée sur le PM peut se mettre sous la forme :

$$(1) N = K A_c V_c \Gamma \phi \left[1 - \exp\left(-\frac{A_i V_i}{Q}\right) \right] \exp\left(-\lambda \frac{A_d V_d}{Q}\right)$$

avec :

K : facteur de géométrie

A : densité en atomes/cm³

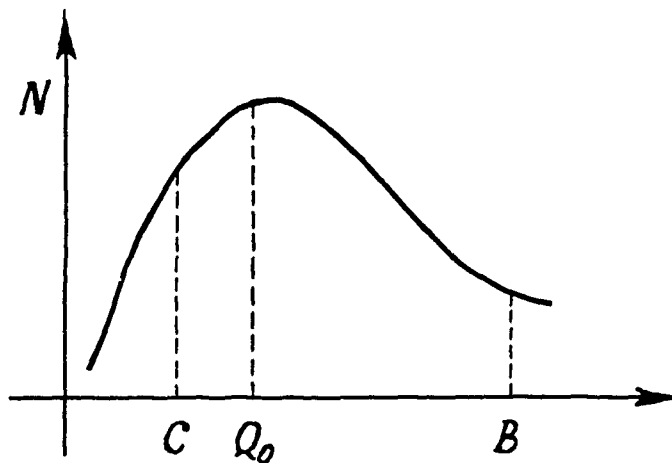
V : Volume.

ϕ : Flux en n/cm² x sec.

Q : débit en atomes/sec.

Les indices i, d et c désignent respectivement des grandeurs relatives à l'irradiation, au transit et au comptage.

Pour un circuit déterminé plongé dans un flux constant, l'activité N du gaz sera seulement fonction du débit. La figure F donne l'allure générale de la courbe représentative de N. On voit que cette courbe passe par un maximum correspondant à la valeur optimale du débit pour laquelle de faibles variations de ce même débit n'affectent pas la mesure dans des proportions gênantes pour l'expérimentateur.



La stabilité du débit gazeux est assurée par l'emploi d'un mano-détendeur à double étage. Le débitmètre est du type "rotamètre".

Etant donné que le temps de passage en pile d'un atome du fluide détecteur est très faible vis à vis de la période du corps formé, la formule (1) peut se mettre sous la forme

$$N = K \cdot A_c \cdot V_c \cdot \sigma \cdot \lambda \cdot V_i \cdot \frac{A_i}{Q} \cdot \phi \cdot \exp\left(-\sqrt{\frac{A_d V_d}{Q}}\right)$$

où l'on voit que N varie proportionnellement avec la densité du gaz dans le volume d'irradiation. Autrement dit, il sera nécessaire d'introduire dans le terme de sensibilité un facteur correctif tenant compte des variations de température dans ce volume ; on tient pour négligeables les variations de température au niveau des volumes de sortie du flux et de comptage.

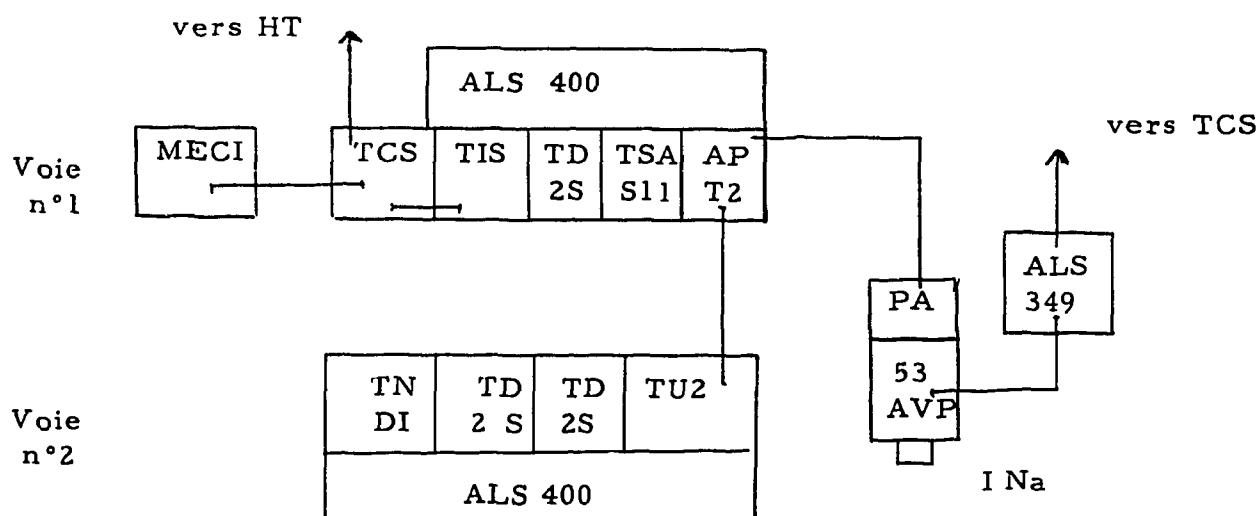
1.2.1. Choix des débits :

Dans les deux cas de mesure, les conditions de l'expérience sont telles qu'il n'est pas possible d'adopter le débit optimum. Pour l'Argon, celui-ci serait trop faible pour pouvoir être contrôlé de manière précise. C'est pourquoi, on a choisi un point de fonctionnement tel que B dans une région de pseudo-stabilité de l'activité. Par contre, pour le Fréon, cette valeur optimale est incompatible avec la pression du réservoir. On a donc été conduit à travailler en un point tel que C.

1.3. Chaîne de comptage :

1.3.1. Description

La figure ci-dessous donne le schéma de la chaîne de comptage utilisée :



Cette chaîne de comptage comprend deux voies de mesures permettant d'avoir :

- soit une valeur instantanée du flux par l'enregistrement sur MECI,
- soit une valeur intégrée du flux par accumulation du nombre de coups comptés dans un tiroir numérateur.

Un dispositif annexe, le TCS, permet par simple commutation l'enregistrement de la haute tension appliquée au tube photomultiplicateur. Cette haute tension est repérée avec une erreur de lecture correspondant au 1/2 volt.

APT2 : tiroir amplificateur.

TSAS11 : tiroir sélecteur monocanal.

TD2S : échelle de comptage
TIS : tiroir intégrateur
TNDI : tiroir numérateur
ALS400 : alimentation haute tension
ALS349 : alimentation THT du PM.

1.3.1. Chaîne transistorisée :

La chaîne de comptage décrite ci-dessus est avantageusement est avanteusement remplacée par une chaîne "nouveau standard" transistorisée comprenant un ensemble SATI 1 suivi d'une échelle à six décades ECT 2. L'ensemble SATI 1 peu encombrant remplit les fonctions d'amplificateur de sélecteur monocanal et d'intégrateur. Il comporte deux sorties permettant d'adapter soit un enregistreur galvanométrique, soit un enregistreur potentiométrique.

Par ailleurs, l'utilisation d'un stabilisateur de spectre permet le réglage automatique du seuil de comptage.

1.3.3. Stabilité de la chaîne de comptage :

Une mesure continue suppose que l'équipement électronique de la chaîne de comptage ait des caractéristiques stables. La position du pic représentatif de l'activité du gaz est telle que l'on peut compter en "discriminateur" à partir d'un seuil correspondant à la "vallée" de ce pic (fig. 2). Les tests suivants ont été faits sur la chaîne décrite en 1.3.1. :

On a étudié la stabilité du seuil de comptage par tracés de spectres à intervalles de temps réguliers. On a remarqué une dérive importante du seuil adopté pendant les premières heures de comptage de l'appareil bien que la valeur de la haute tension soit restée la même à 1 volt près. Des essais ultérieurs ont montré que ce régime transitoire est supprimé en faisant compter en permanence le PM. Pour cela, on place une source radioactive de Cobalt sous le scintillateur quelques heures avant la divergence du réacteur.

2/ - DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

2.1 Boucle à Argon :

On a réalisé deux dispositifs analogues sur les boucles RM1 et HF3 du DMCC. Le but de la manipulation est d'étudier la diffusion des produits de fission dans l'Oxyde d'Uranium fritté irradié à haute température. Les échantillons d' UO_2 ont de petites dimensions (diam. 3 mm - hauteur 15 mm). La forme adoptée pour le serpentin d'irradiation est celle d'un solénoïde à cinq spires étagées sur cinq centimètres ; il est fixé sur l'enveloppe extérieure de la boucle au contact de l'eau de réfrigération. Toute la partie en pile a été réalisée en tuyau d'inox de diamètre intérieur un millimètre. Elle comporte à ses extrémités deux vannes, rigidement fixées sur la tête de connexion.

L'étalonnage se fait en plaçant un détecteur de Cobalt à l'endroit destiné à l'échantillon d' UO_2 . Ce détecteur se présente sous forme de disque de diamètre 3 mm taillé dans une feuille d'épaisseur $1/10^e$ mm.

Cette mesure donne la sensibilité du dispositif à la température atteinte à l'intérieur du four sous chauffage nucléaire seul (environ 150°). Ultérieurement, au cours d'un palier de puissance, on a mesuré l'effet de température du four sur l'indication de la chaîne de comptage ; cet effet est assez important, il atteint 5% ce qui correspond à une élévation de température de 13° dans le serpentin d'irradiation. On trouvera Figure 4 le résultat des mesures effectuées sur HF3 sous forme de fiche d'étalonnage.

2.2 Boucle à Fréon (Forane 12) :

La mesure se fait dans SLLOE sur une boucle pour irradiation d'Oxyde de Béryllium à 1.400°C avec récupération et analyse des gaz de réaction nucléaire. Cette expérience est faite par la Section d'Etude des Réfractaires en collaboration avec les Etablissement RUGGIERI. L'échantillon de BeO a une hauteur de 20 cm. La forme adoptée pour le serpentin d'irradiation est celles d'une "cage d'écureuil" à 4 génératrices verticales, il est fixé sur l'enveloppe extérieure de la boucle au contact de l'eau de réfrigération. Comme pour la boucle à Argon la partie en pile est réalisée en tuyau d'innox de diamètre intérieur 1 mm.

L'étalonnage se fait sur une maquette entourée d'un serpentin d'irradiation qui est la réplique aussi exacte que possible de celui qui entoure le dispositif final. Les détecteurs par activation choisis sont de 3 sortes : Nickel, Aluminium, Magnésium. Ces détecteurs se présentent sous forme de disque de 10 mm taillés dans des feuilles d'épaisseur 1/10e mm. On mesure le flux en 3 endroits situés au plan médian du coeur et de part et d'autre à une distance de 8 cm dans l'axe de la maquette.

3/ - UTILISATION DE LA BOUCLE

3.1 Mise en service :

Avant la mise en pile, on devra vérifier le positionnement des spires de détection sur le dispositif expérimental. Cette vérification portera sur 2 points : la rigidité de la fixation de ces spires, et leur centrage dans le sens vertical par rapport à l'échantillon. On vérifiera également l'étanchéité du circuit.

La mise en circulation du fluide détecteur ne doit se faire qu'après le démarrage du ventilateur de la gaine à effluents gazeux.

En cas de retrait de la boucle, lorsque la pile fonctionne, le débranchement des canalisations d'amenée et de sortie du fluide détecteur ne peut se faire que moyennant les précautions suivantes :

- a) Sortie du flux de la partie sensible de la boucle
- b) Vérification grâce à l'enregistrement graphique que l'activité du gaz a décru d'un facteur 100 environ au cours de l'opération précédente.
- c) Fermeture de la bouteille de gaz
- d) Fermeture des vannes de connexions après réduction à zéro du débit
- e) Débranchement.

3.2 Mesure des flux

Une lecture directe et l'utilisation des fiches d'étalonnage permet à l'expérimentateur d'avoir une mesure rapide du flux. Cette valeur sera confirmée par compte rendu du Groupe Dosimétrie au vu de l'enregistrement. Sur cet enregistrement seront portées toutes les indications nécessaires à l'authentification des différentes mesures. Chaque pointé sera accompagné des renseignements suivants :

Date - Heure

Seuil affiché

Débitmètre

Température du four.

Quotidiennement, le Groupe Dosimétrie effectuera les vérifications nécessaires au maintien de bonnes conditions de comptage.

4/ - VALIDITE DE LA METHODE

4.1 Estimation des erreurs :

Soit ϕ le flux instantané, V la tension lue sur l'enregistreur et K un terme correctif. Les indices T, S, d correspondent à la température, au seuil, au débit. On a :

$$\phi = k_T \times k_S \times k_d \times S_i \times V$$

Soit :

$$\frac{\Delta \phi}{\phi} = \frac{\Delta k_T}{k_T} + \frac{\Delta k_S}{k_S} + \frac{\Delta k_d}{k_d} + \frac{\Delta S_i}{S_i} + \frac{\Delta V}{V}$$

La quantité $\frac{\Delta k_T}{k_T} + \frac{\Delta k_S}{k_S} + \frac{\Delta k_d}{k_d}$ est égale à 4 %

La grandeur $\frac{\Delta S_i}{S_i}$ comprend :

- l'erreur statique du comptage d'un détecteur inconnu par rapport à un détecteur étalon. (2% en prenant l'erreur à 68%).

- l'erreur sur la valeur de l'étalon lui-même, donnée pour 5%.

La grandeur $\frac{\Delta V}{V}$ est liée aux variations statistiques de l'activité du gaz.

L'aiguille du MECI oscille d'une manière aléatoire entre un minimum et un maximum. On prend la valeur correspondant au milieu de cette bande de mesure comme celle représentant au mieux le flux à mesurer. Dans ces conditions l'erreur cherchée se réduit à une erreur de lecture (0,5%).

4.2 Conclusion

Cette méthode est particulièrement adaptée à des mesures faites sur des dispositifs expérimentaux encombrant du type "boucle". Par contre, il semble difficile de l'utiliser pour des mesures ponctuelles ; dans un tel cas, le volume d'amenée du gaz deviendrait trop important par rapport au volume d'irradiation.

Le mesure des variations relatives du flux se fait avec une précision de 5%. Cette précision pourrait être améliorée jusqu'à 2% par l'emploi d'une régulation de débit et par un réglage automatique du seuil. Ajoutons pour terminer que le choix de la configuration du circuit gazeux donne une grande souplesse dans l'adaptation du circuit de mesure aux conditions expérimentales.

Manuscrit reçu le 17 avril 1964

BIBLIOGRAPHIE

- 1/ - G. MAURIN : Etude des diverses méthodes d'intégration de flux de neutrons rapides
C. E. N. G. - INT/Pi - 171-130.
- 2/ - GABBARD : Study of Neutron Reaction $\text{Li}^6 (n, \alpha) \text{H}^3$ -
PAVIS $\text{F}^{19} (n, \gamma) \text{F}^{20}$ and $\text{I}^{127} (n, \gamma) \text{I}^{128}$
BONNER Phys. Rev. Vol. 114 (Avril 59).

SCHEMA DE LA BOUCLE A GAZ —

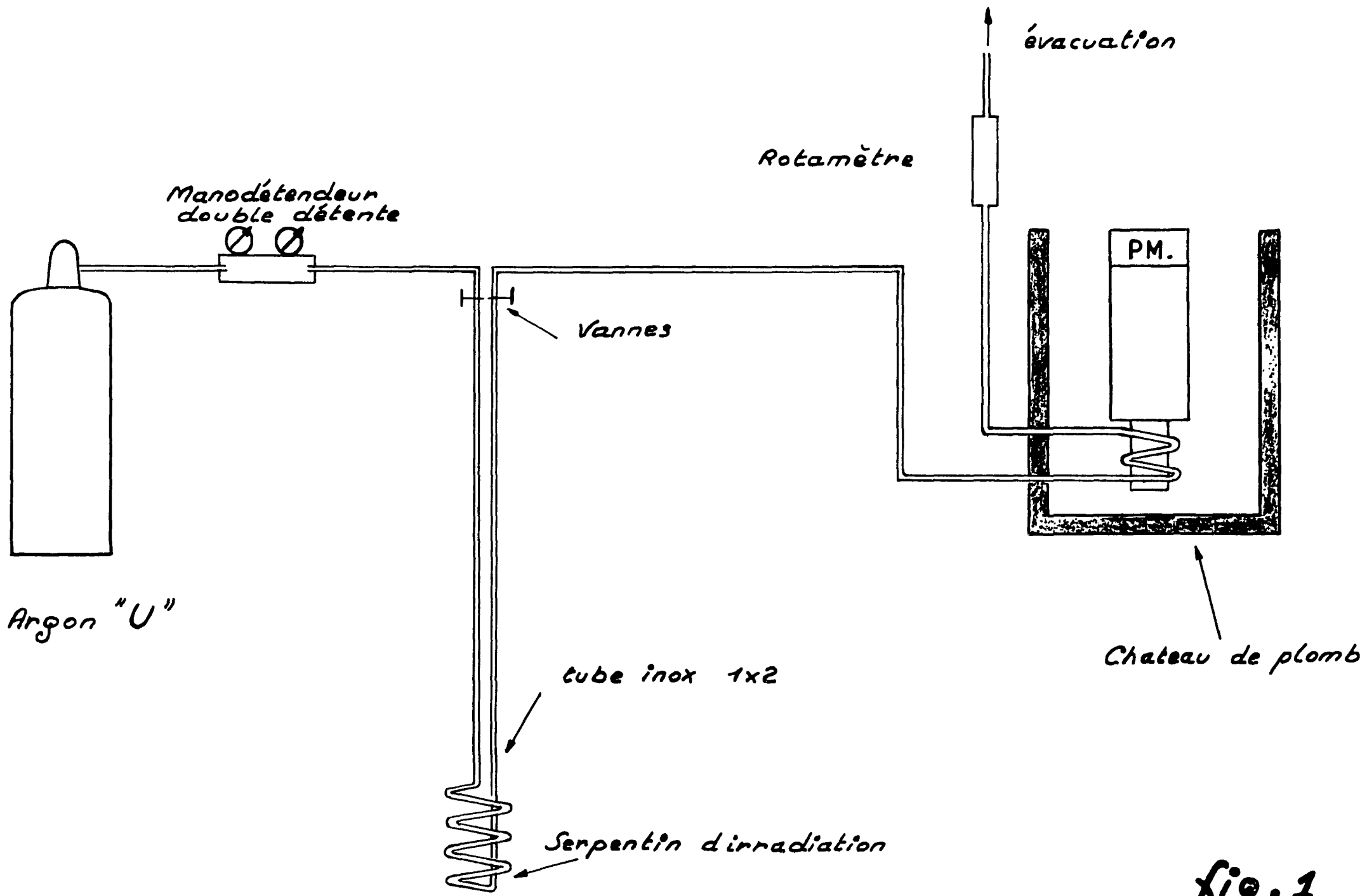
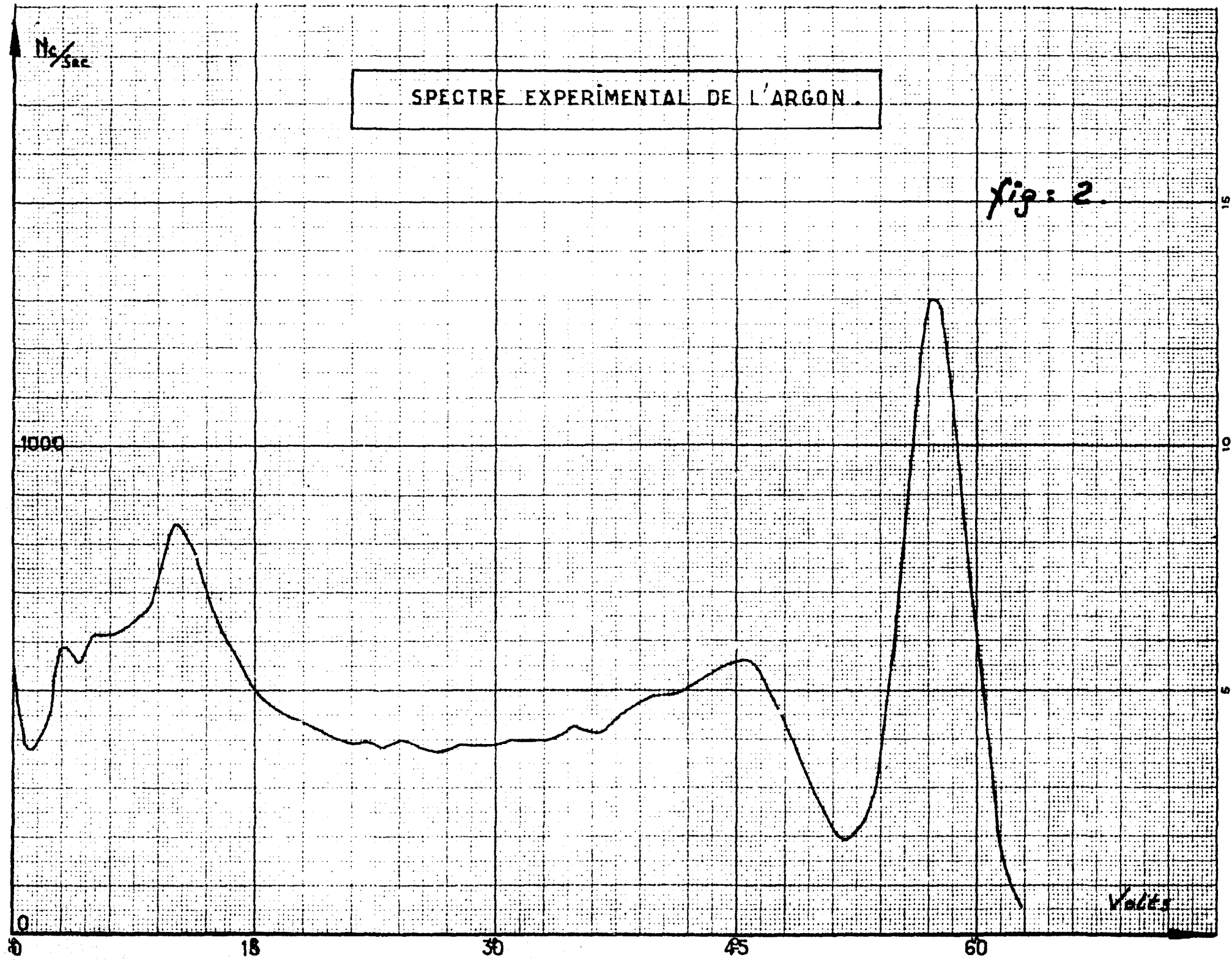
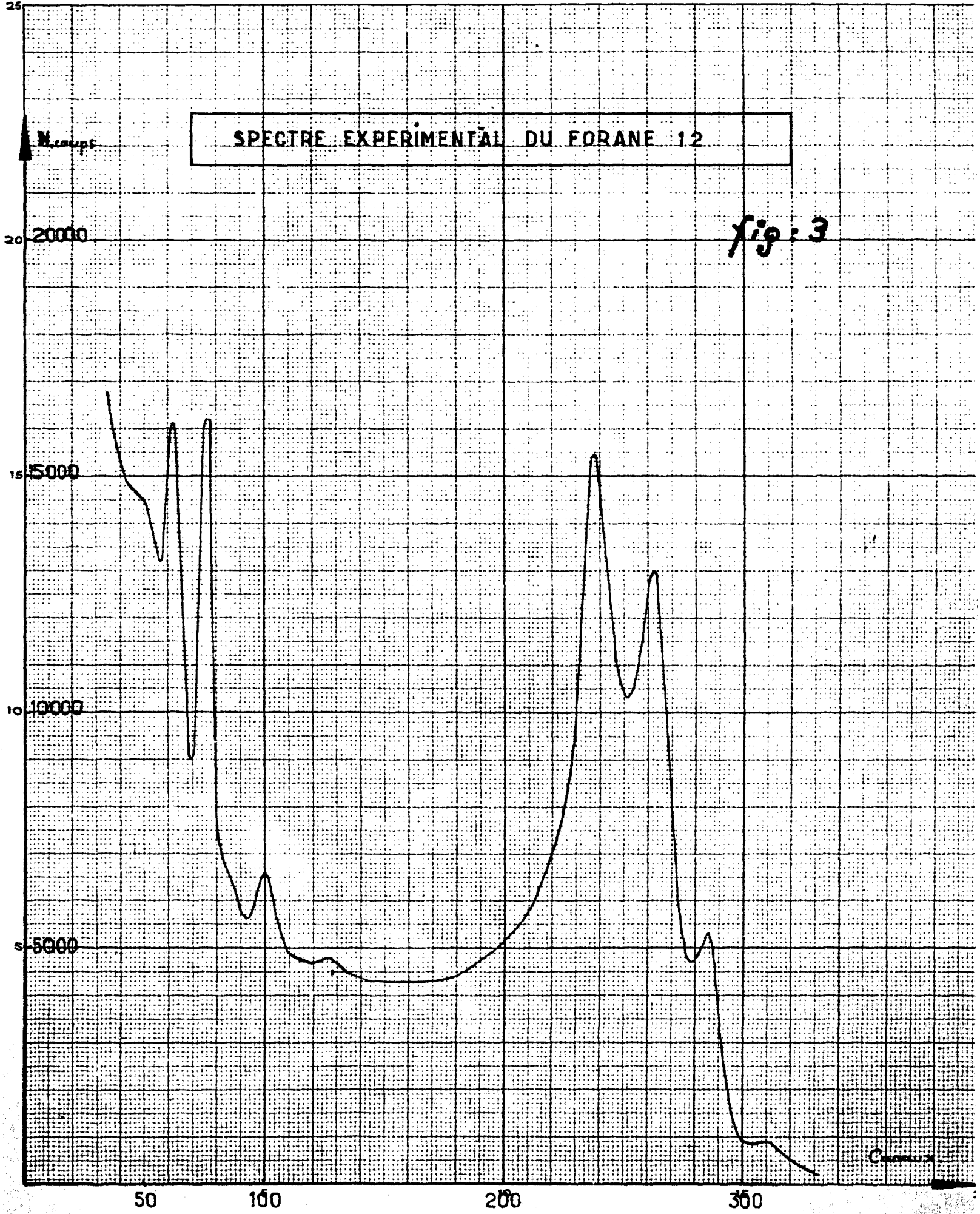


fig. 1





FICHE D'ETALONNAGE DE LA BOUCLE HF3 EN 75

fig: 4

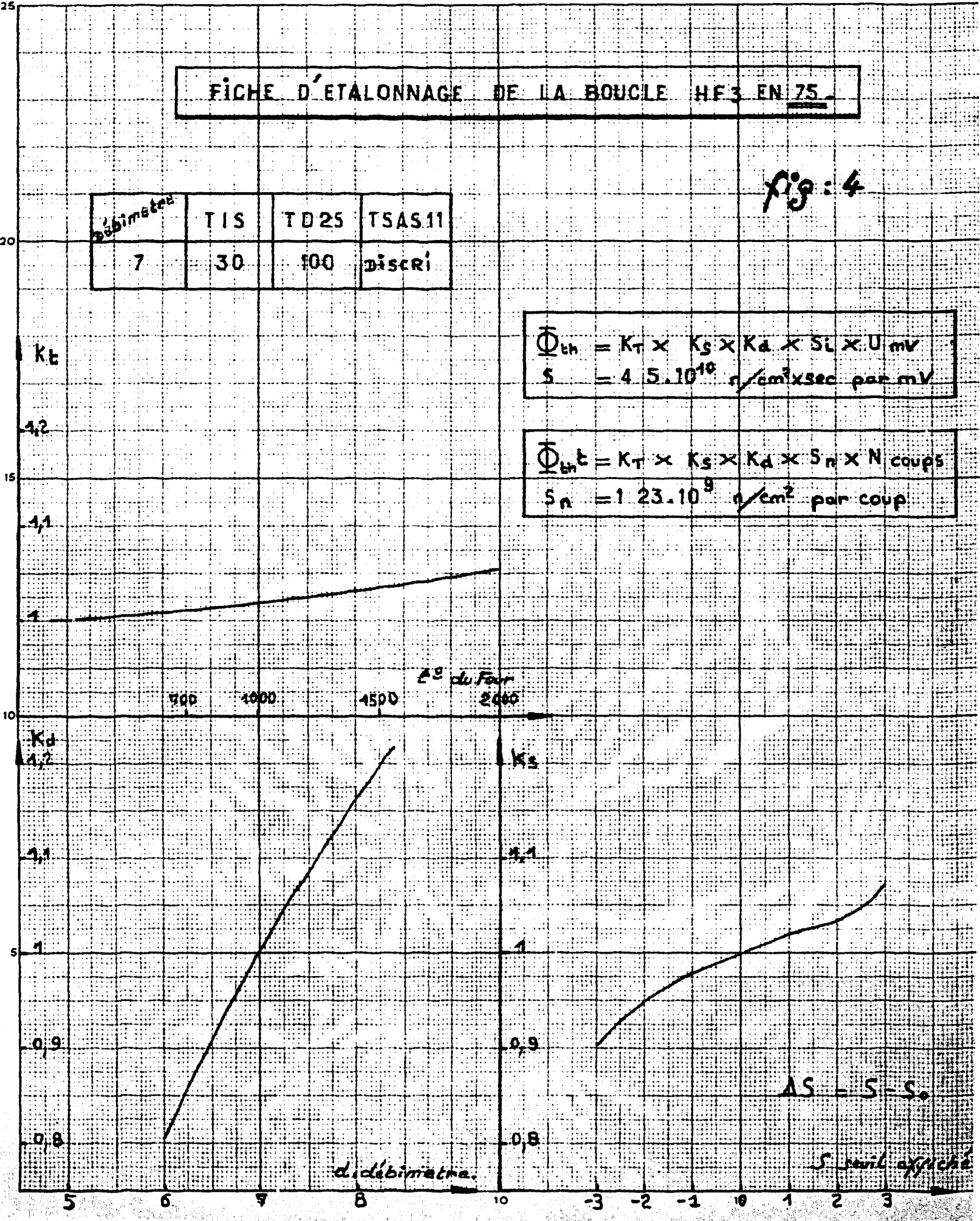
bobinées	TIS	TD25	TSAS.11
7	30	100	discr1

$$\Phi_{th} = K_T \times K_S \times K_d \times S_L \times U \text{ mV}$$

$$S = 4.5 \cdot 10^{10} \text{ n/cm}^2 \text{ sec par mV}$$

$$\Phi_{th} = K_T \times K_S \times K_d \times S_n \times N \text{ coups}$$

$$S_n = 1.23 \cdot 10^9 \text{ n/cm}^2 \text{ par coup}$$



AS - S - So

S rail oxyché

FIN