

Internationale Fachmesse  
für die kerntechnische  
Industrie

nuclex 72  
CH-4021 Basel/Schweiz  
Telephon 061-32 38 50  
Telex 62 685 fairs basel

Foire internationale  
des industries  
nucléaires

International  
Nuclear  
Industries Fair

16-21 October 1972  
Basel/Switzerland



Copyright by Nuclex

Séance Technique No. 8/5

Source Pulsée pour Contrôle non Destructif par  
Neutrographie

M. Houéllé  
P. Lécorché -  
D. Morel  
H. Revol

Commissariat à l'Energie Atomique

## SOURCE PULSEE POUR CONTROLE NON DESTRUCTIF PAR NEUTROGRAPHIE

M. Houelle, P. Lécorché, D. Morel, H. Revol.

Résumé : La source décrite utilise la bouffée de neutrons produite lorsqu'on place momentanément une solution fissile dans un état surcritique. La solution est contenue dans une cuve cylindrique en configuration sous critique. L'état surcritique est atteint en approchant contre le fond de la cuve un réflecteur de neutrons mobile. La réaction est arrêtée en éloignant le réflecteur. La source est entourée par une protection biologique en béton traversée par les collimateurs de neutrons. La durée d'une bouffée est d'environ 2 minutes. La fluence de neutrons thermiques à la fenêtre d'exposition d'un collimateur de longueur 180 cm ayant une fenêtre d'entrée rectangulaire de 2 x 3 cm est :  $2,1 \times 10^8 \text{ n cm}^{-2}$ .

Abstract : The pulsed source described here uses the burst of neutrons produced when bringing momentarily a homogeneous fissile solution into a supercritical state. The solution is enclosed in a cylindrical vessel in a subcritical configuration. The supercritical state is reached by bringing a movable neutron reflector up to the bottom of the vessel. The reaction is stopped by bringing the reflector back to its initial position. The source is surrounded by a concrete biological shield through which the neutron collimators are built. The burst duration is approximately 2 minutes. The integrated thermal neutron flux at the exposure window of a 180 cm long collimator having a 2 x 3 cm rectangular input window is  $2.1 \times 10^8 \text{ n cm}^{-2}$ .

## I. INTRODUCTION :

La neutrographie ou radiographie par les neutrons est un moyen de contrôle non destructif complémentaire de la radiographie par rayons X ou  $\gamma$ . Elle utilise la propriété qu'ont les corps d'absorber plus ou moins les neutrons thermiques ou épithermiques. L'objet à examiner, soumis à un flux collimaté de neutrons, est placé devant un convertisseur ayant soit la propriété de s'activer et de fixer ainsi une image de l'objet qui est ensuite restituée par autoradiographie (neutrographie par transfert d'image), soit celle d'émettre sous l'action des neutrons des rayonnements capables d'impressionner un film radiographique (neutrographie directe).

Des installations de neutrographie équipent déjà un certain nombre de réacteurs de recherche. Elles permettent d'effectuer des examens sur des matériels faciles à transporter. Il semble intéressant de pouvoir disposer de sources d'encombrement raisonnable et de conduite simple qui puissent être installées dans un ensemble industriel. Le Commissariat à l'Energie Atomique a étudié une telle source.

## II. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

La production de neutrons est obtenue en laissant évoluer librement un milieu fissile liquide placé dans un état surcritique par apport d'un excès de réactivité. La puissance neutronique du milieu croit jusqu'à étouffement par l'entrée en jeu de mécanismes intrinsèques de réduction de la réactivité : élévation de la température de la solution, formation de bulles gazeuses par décomposition radiolytique de l'eau de la solution.

La réaction est totalement arrêtée par suppression de l'excès de réactivité.

## III. DESCRIPTION DE LA SOURCE (figure 1) :

L'appareil est composé des éléments suivants :

- une cuve en acier inoxydable de forme cylindrique contenant la solution fissile (nitrate d'uranyle fortement enrichi) entourée d'une chemise de conditionnement,
- un réflecteur de neutrons fixe entourant la cuve,

- un réflecteur de neutrons mobile placé sous la cuve et dont le mouvement est commandé par un vérin pneumatique,
- un circuit de conditionnement en température de la solution,
- une chambre d'expansion des gaz,
- un circuit de recombinaison de l'oxygène et de l'hydrogène comportant un circulateur de gaz et une cartouche contenant un catalyseur.

L'ensemble cuve, chambre d'expansion, circuit de recombinaison forme, après introduction initiale de la solution et calibration, un ensemble étanche scellé.

#### IV. FONCTIONNEMENT :

Au repos, le réflecteur mobile est éloigné du fond de la cuve contenant la solution fissile. L'ensemble est alors sous-critique.

La production de la bouffée de neutrons est obtenue de la façon suivante :

Si nécessaire, le circuit de conditionnement est mis en fonction pour amener la solution dans les conditions initiales de température et de pression.

L'air comprimé est admis sur le vérin qui pousse le réflecteur mobile contre le fond de la cuve. L'ensemble est alors dans un état surcritique et une réaction en chaîne se déclenche dans le milieu fissile. La puissance et le flux de neutrons émis augmentent de façon exponentielle jusqu'à l'entrée en jeu de mécanismes intrinsèques de freinage de la réaction tels que l'élévation de température de la solution et la formation de bulles de gaz due à la radiolyse de l'eau. Ces phénomènes réduisent progressivement l'excès de réactivité jusqu'à l'annuler. La puissance et le flux de neutrons atteignent une valeur maximale puis décroissent ensuite.

Lorsque l'énergie développée par la réaction mesurée par l'élévation de température de la solution a atteint une valeur suffisante, le réflecteur mobile est automatiquement éloigné du fond de la cuve et reprend sa position initiale. L'ensemble est de nouveau sous-critique. Il s'écoule environ deux minutes entre l'ordre de montée du

réflecteur et sa descente.

Au cours du fonctionnement, la température de la solution s'est élevée et la pression a augmenté par suite du dégagement des gaz de radiolyse. Le circuit de conditionnement et le circuit de recombinaison sont donc mis en service pour revenir aux conditions initiales de température et de pression. Ces opérations demandent environ dix minutes.

La source peut donc fonctionner à la fréquence d'une bouffée de neutrons tous les quarts d'heure.

Les courbes d'évolution de la puissance, de l'énergie et de la température présentées sur la figure 2 ont été obtenues avec l'appareillage d'étude installé à la Station de Criticité du Centre d'Etudes de Valduc. La cuve d'un diamètre de 300 mm était entourée d'un réflecteur fixe composite de plomb et polythène et contenait 1,450 kilogramme d'uranium enrichi à 93 % sous forme d'une solution de nitrate d'uranyle titrant 90 grammes de  $^{235}\text{U}$  par litre. Le réflecteur mobile était constitué d'oxyde de béryllium. Lorsqu'il était appliqué contre le fond de la cuve, la réactivité était de 0,005.

Les études d'optimisation ont montré que les caractéristiques de flux neutroniques n'étaient pas perturbées si la masse de  $^{235}\text{U}$  était réduite à 1,1 kilogramme, la teneur de la solution étant alors de 55 grammes par litre.

#### V. IMPLANTATION POUR LA NEUTROGRAPHIE :

L'implantation d'une telle source pour la neutrographie dépendra évidemment du type de pièces que l'on veut examiner. Une solution possible est représentée sur la figure 3.

La source, émettrice de neutrons et de rayonnement gamma est placée à l'intérieur d'une protection de béton. Une porte mobile permet sa mise en place et l'accès ultérieur pour visite éventuelle.

Une salle des annexes contient l'échangeur et la pompe de circulation du dispositif de conditionnement, le circulateur et la cartouche du circuit de recombinaison et les dispositifs permettant le remplissage ou la vidange de la solution.

La conduite de l'appareil s'effectue à partir d'un pupitre où sont rassemblés les instruments de contrôle et de commande.

Les neutrons de fuite utilisés pour la neutrographie sont collimatés par des canaux divergents dont les parois sont constituées d'un absorbeur de neutrons et qui traversent la paroi de béton. Les collimateurs débouchent dans une salle d'exposition protégée par des murs de béton.

Deux types de collimateurs peuvent être utilisés, le collimateur axial ou le collimateur tangentiel.

L'axe du collimateur axial passe par le centre de la source. Le flux gamma à hauteur de la fenêtre d'exposition est important. Seule la technique neutrographique de transfert indirect d'image peut être utilisée. Il est rappelé que, dans cette technique, le convertisseur (généralement de l'indium ou du dysprosium) est activé par les neutrons qui l'atteignent et qu'il est ensuite procédé à une autoradiographie de ce convertisseur. Elle est donc insensible au rayonnement gamma.

L'axe du collimateur tangentiel passe en dehors de la zone active de la solution et la fenêtre d'entrée est placée dans le réflecteur latéral au maximum de flux des neutrons thermiques. La fenêtre d'exposition n'est plus en vue directe de la solution. Le flux gamma y est encore réduit en utilisant un réflecteur fixe composite de plomb (écran gamma) et polyéthylène et en disposant dans le collimateur un écran de bismuth. Il est alors possible d'utiliser aussi bien la technique du transfert indirect d'image que celle du transfert direct. Il est rappelé que, dans cette dernière technique, le convertisseur (généralement du gadolinium) émet sous l'influence des neutrons des rayonnements capables d'impressionner instantanément une émulsion photographique. Celle-ci serait également impressionnée par le flux gamma provenant de la source s'il était trop important et une image gammagraphique se superposerait à l'image neutrographique.

Il est également rappelé que la technique du transfert direct d'image présente en particulier les avantages suivants :

- avec un même collimateur, meilleure définition de l'image,
- aucune manipulation de convertisseurs activés.

## VI. PERFORMANCES :

Les valeurs obtenues à la fenêtre d'exposition avec un collimateur de 180 cm de longueur ayant une fenêtre d'entrée de 2 x 3 cm en position axiale ou tangentielle sont les suivantes :

Fluence de neutrons thermiques :  $2,1 \cdot 10^8$  neutrons  $\text{cm}^{-2}$

Dose gamma à la fenêtre d'exposition :

- Collimateur axial : 16 R
- Collimateur tangentiel : 0,8 R

Cependant, la fluence de neutrons obtenue avec le collimateur axial comporte une composante épithermique qui améliore la réponse du convertisseur d'indium. Aussi ce collimateur est-il préférable au collimateur tangentiel lorsqu'on utilise la technique du transfert indirect d'image.

## VII. EXEMPLES DE NEUTROGRAPHIES OBTENUES AVEC LA SOURCE :

Sur la neutrographie d'une vanne (figure 4), on distingue en particulier une brasure à l'argent et un joint torique en perbunan.

Le cliché figure 5 a été obtenu en neutrographiant des baguettes de polyéthylène de différents diamètres ainsi qu'un fil de nylon placés derrière une pièce d'acier. Cette pièce est une rondelle d'acier inoxydable 2 N 3 CN 18.10 découpée en escalier. L'épaisseur d'acier varie de 10 à 45 mm.

Les pièces dont les clichés apparaissent figure 6 sont constituées de deux flasques boulonnées en acier inoxydable d'épaisseur 5 mm. L'une des flasques comporte une gorge pour joint torique. L'autre flasque comporte une cavité centrale dans laquelle de la graisse a été déposée. Les joints toriques sont en viton.

Sur l'ensemble a, le joint est défectueux et a une section inférieure à celle de la gorge. La profondeur de la cavité centrale est 0,1 mm.

Sur l'ensemble b, le joint est de section convenable mais il en manque une partie. La profondeur de la cavité est 0,2 mm.

VIII. CONCLUSION :

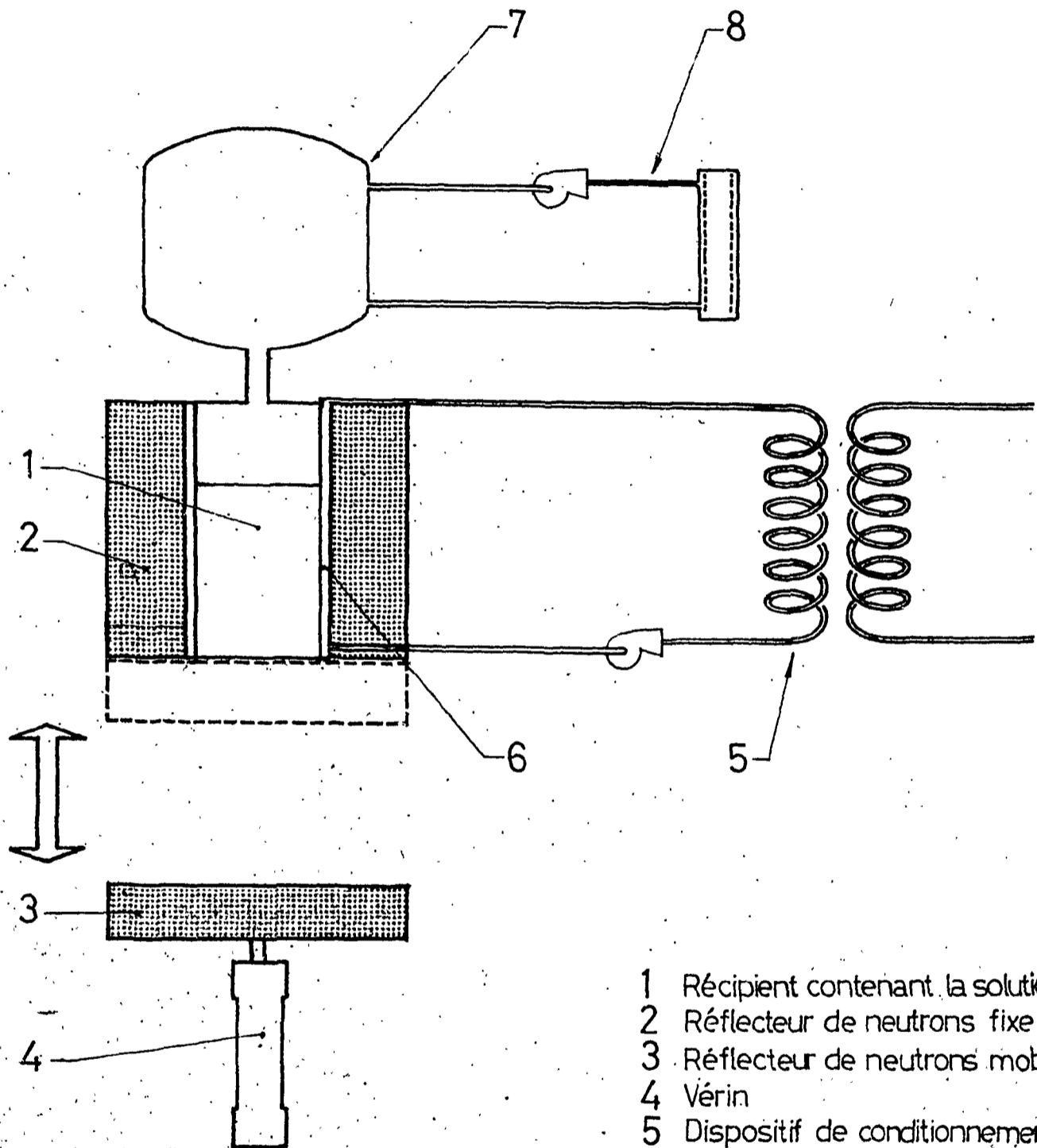
Les résultats obtenus montrent que la source qui a été décrite peut être utilisée avec profit dans le contrôle non destructif par neutrographie. Elle ne nécessite qu'une infrastructure limitée et présente une grande simplicité d'emploi.

Une installation d'études est en service à la Station de Criticité du Centre d'Etudes de Valduc.

Une autre installation est en fonctionnement depuis deux ans sur le Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache. Elle est utilisée en routine pour l'examen des combustibles irradiés dans le réacteur RAPSODIE.

Une installation plus perfectionnée équipera la cellule d'examen des combustibles irradiés de la Centrale PHENIX à Marcoule.





- 1 Récipient contenant la solution
- 2 Réflecteur de neutrons fixe
- 3 Réflecteur de neutrons mobile
- 4 Vérin
- 5 Dispositif de conditionnement
- 6 Chemise
- 7 Chambre d'expansion
- 8 Circuit de recombinaison

Fig 1-Description de l'appareil

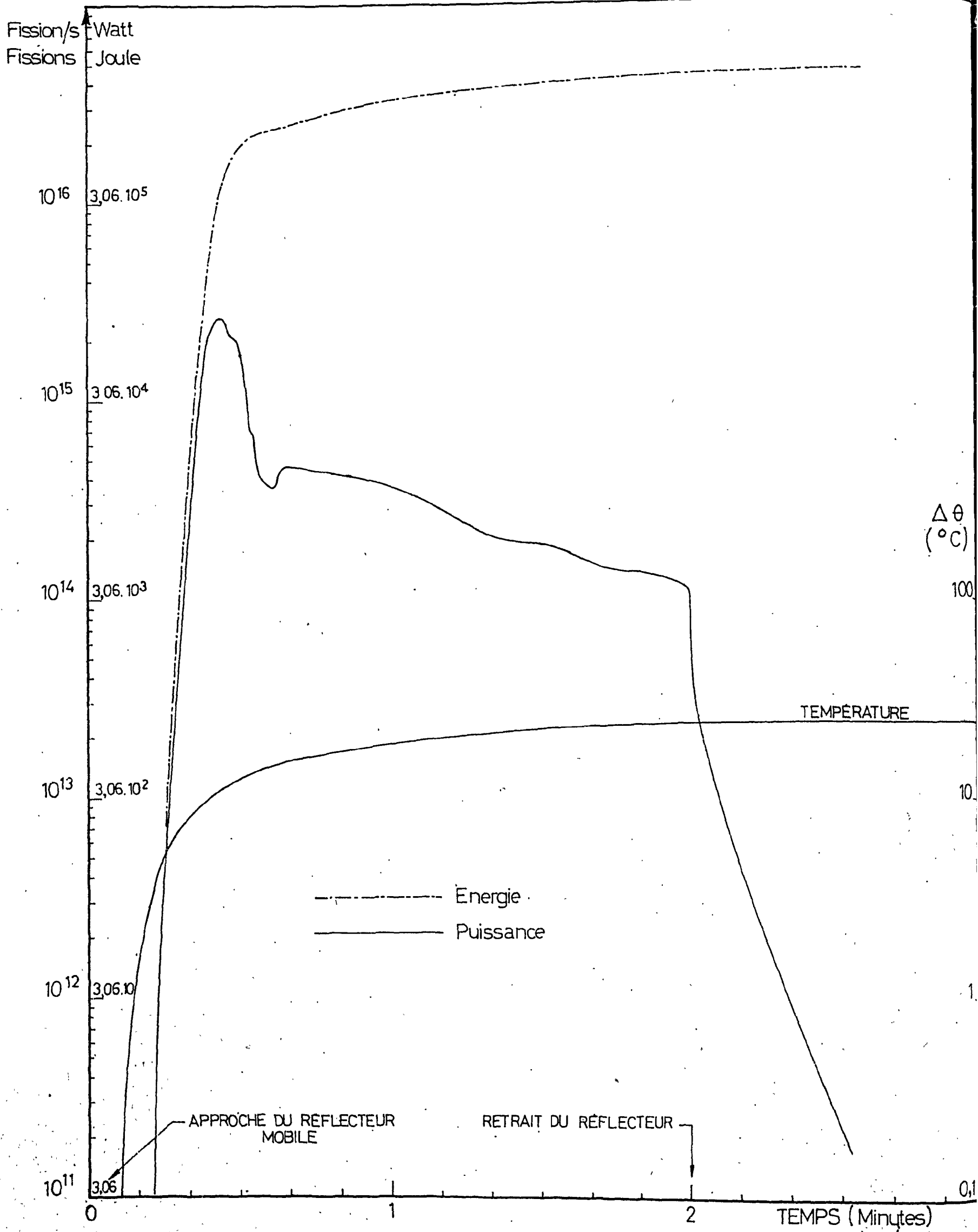


Fig:2\_ Evolution en fonction du temps, de la puissance, de l'énergie et de la température de la solution

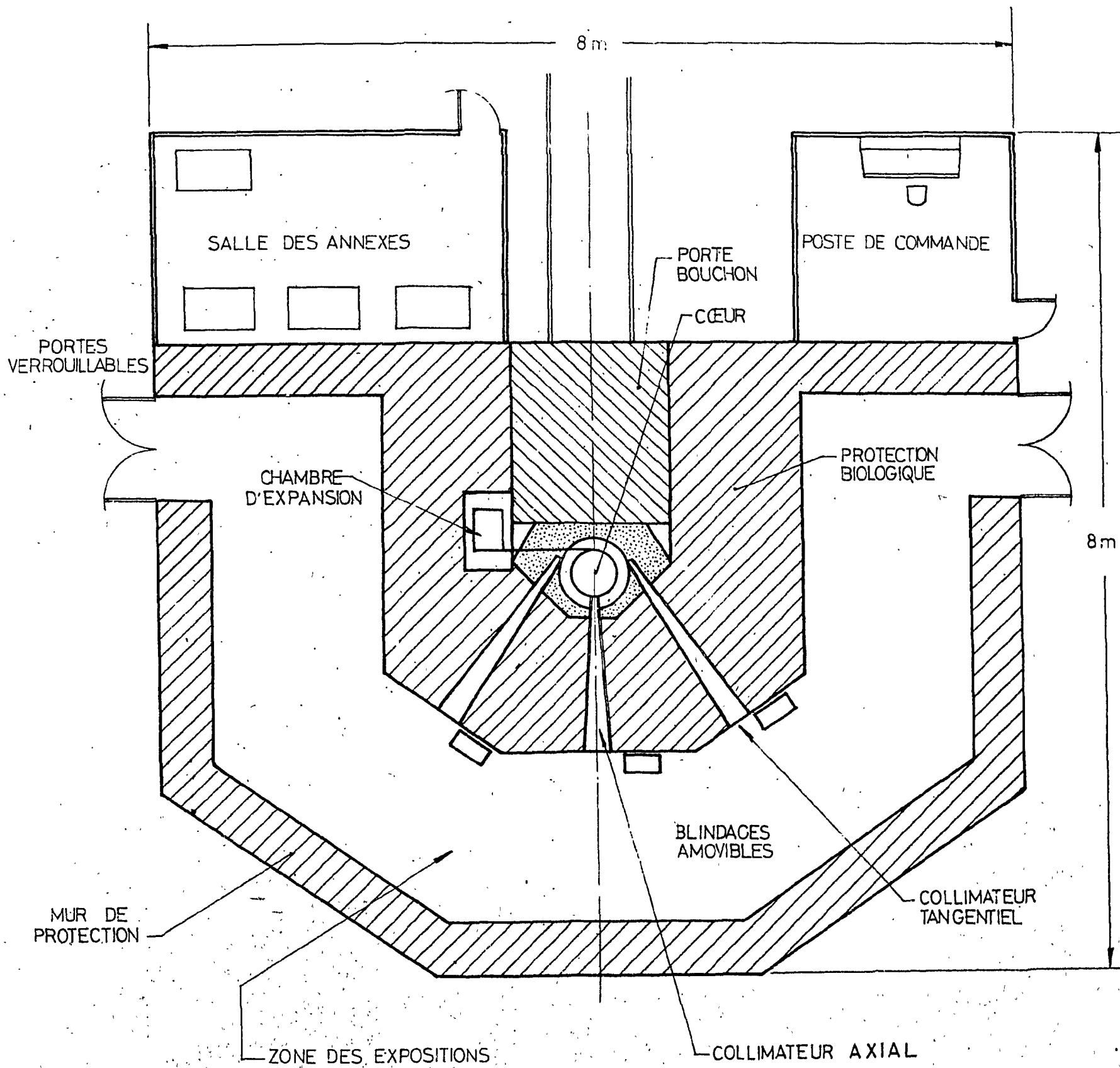


Fig. 3 - Disposition générale possible du réacteur source

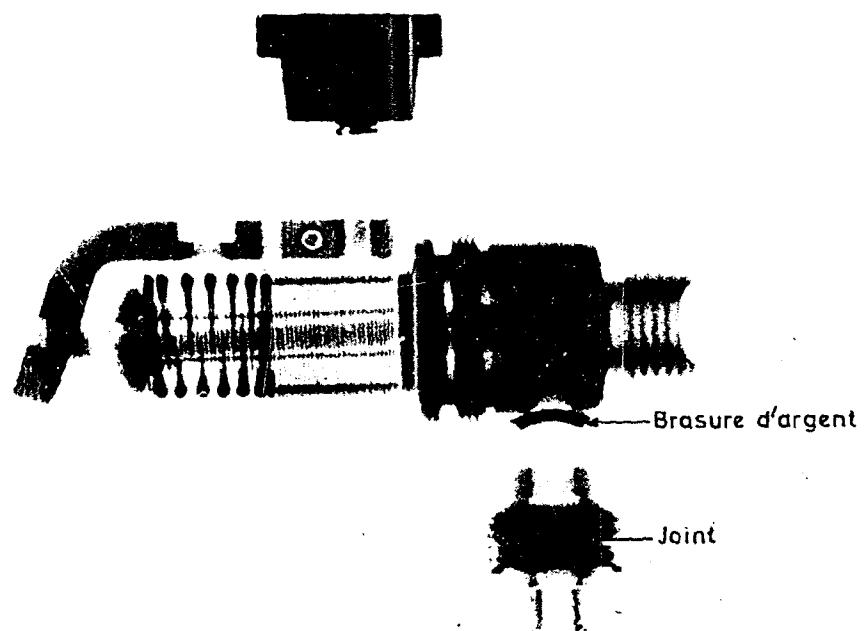


Fig. 4 - Neutrographie d'une vanne

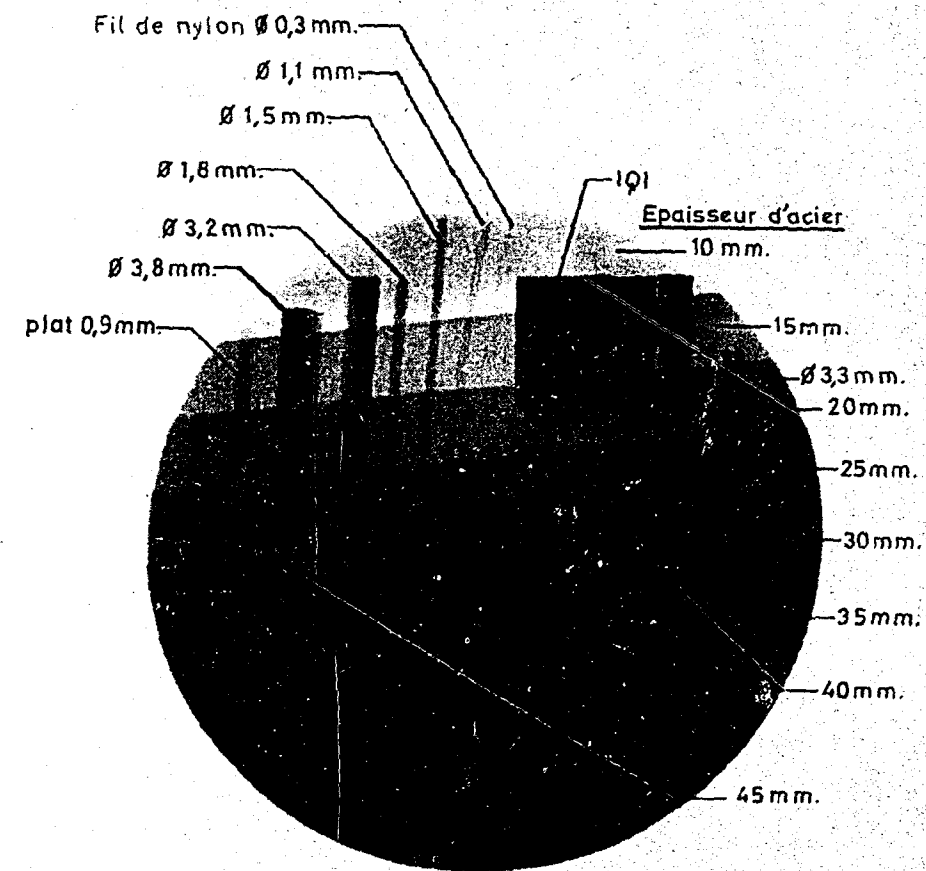


Fig. 5 - Neutrographie d'objets derrière acier

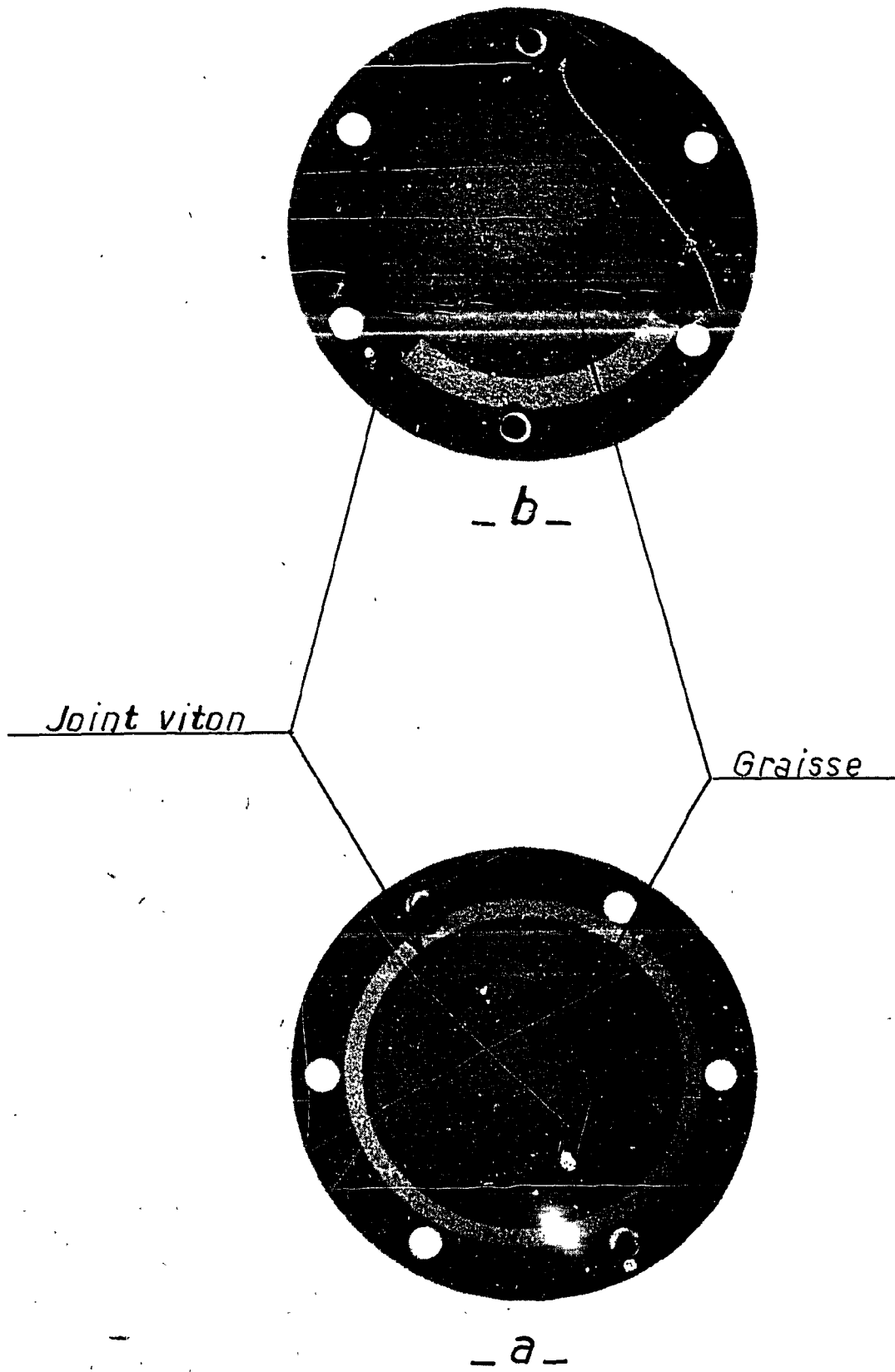


Fig. 6 - Contrôle de joint et de propreté