

Les dispositifs intégrés destinés à la physique nucléaire

Par J.C. FAUDOU*

Résumé :

Trois équipements sont spécialement destinés à la physique nucléaire. Ils sont conçus pour permettre la mise en place d'un échantillon dans le canal du réacteur en vue d'extraire un faisceau de particules prenant naissance à la suite des captures de neutrons thermiques dans cet échantillon.

On distingue trois équipements suivant la nature du faisceau extrait :

- un faisceau de produits de fission provenant d'une source d'uranium,
- un faisceau de γ de captures provenant d'un isotope,
- un faisceau d'électrons de conversion interne provenant également d'un isotope à étudier.

L'article décrit l'ensemble des problèmes techniques et technologiques qui ont été étudiés au cours de la réalisation de ces dispositifs.

Summary :

Three items of equipment, specially designed for nuclear physics, serve to place a sample in the reactor channel in order to extract a particle beam created as a result of thermal neutron capture in this sample.

The three systems differ according to the nature of the beam required :

- *a fission product beam obtained from a uranium source,*
- *a capture γ beam obtained from an isotope*
- *An internal conversion electron beam also obtained from an isotope to be investigated.*

The technical and technological problems studied during the development of these systems are described.

Zusammenfassung :

Drei Strahlrohre sind speziell für die Kernphysik bestimmt. Diese Strahlrohre sind für den Einbau einer Probe in den Kanal des Reaktors vorgesehen, um ein Teilchenbündel oder Gammastrahlenbündel nach aussen zu führen, welches nach dem Einfang thermischer Neutronen in der Probe entsteht.

Man unterscheidet, je nach der Art des extrahierten Bündels, zwischen den drei folgenden Einrichtungen :

- ein Spaltproduktstrahl aus einer Uranquelle,
- ein Einfang-Gammastrahlenbündel aus einem Isotop
- ein Strahlenbündel von Konversionselektronen aus einem ebenfalls zu untersuchender Isotop.

Diese Arbeit beschreibt die Gesamtheit der technischen und technologischen Probleme die im Laufe der Verwirklichung dieser Einrichtungen untersucht werden.

La plupart des canaux du réacteur à haut flux ont pour but l'extraction d'un faisceau de neutrons en vue de son utilisation à l'extérieur du réacteur. Les canaux destinés à la physique nucléaire, par contre, doivent permettre l'extraction d'un faisceau de rayonnement provenant de la réaction des neutrons avec les noyaux d'un iso-

tope. L'étude de ce rayonnement permet une meilleure connaissance de la structure interne du noyau : c'est le cas de la spectrométrie des gamma de captures ou des béta de conversions internes. Elle permet également l'étude de la réaction qui a donné naissance au rayonnement : c'est le cas de la spectrométrie de produits de fission.

*Institut Max Von Laue-Paul Langevin

I. PROBLEMES COMMUNS AUX DIFFERENTS DISPOSITIFS

Quelle que soit la nature du rayonnement extrait, les dispositifs de physique nucléaire posent un certain nombre de problèmes communs :

1. La réaction qui est à l'origine du rayonnement doit se produire dans une zone où le flux de neutrons thermiques est maximum. Il faut donc introduire dans le doigt de gant, l'isotope, en très faible quantité, dans lequel les neutrons seront capturés. Cela suppose tout un appareillage intégré au réacteur, avec support de source, porte-source et moyens de manutention de ce dernier permettant l'introduction et l'extraction d'une source pendant le fonctionnement du réacteur.
2. L'intensité du faisceau à étudier, proportionnelle au flux thermique doit être maximum, tandis que celle des autres rayonnements, et en particulier du rayonnement γ , qui contribuent au bruit de fond, doit être minimum.

La distance entre la source et le cœur du réacteur correspond à la valeur maximum du rapport :

flux thermique

flux gamma

Par ailleurs, des rayonnements gamma ou bêta sont également émis par le fond ou les parois du doigt de gant. Pour limiter cet effet, on a éloigné le nez du canal de la zone de flux maximum (cas du canal β) où on l'a supprimé en réalisant un canal traversier (cas du canal γ , qui peut donc extraire 2 faisceaux).

Contre l'effet des parois, on utilise des collimateurs qui empêchent de voir, du spectromètre, les parois du canal ou les structures (porte-source et mécanismes divers).

Dans le cas du canal pour spectrométrie de bêta, l'aluminium du doigt de gant a été remplacé par le zircolay, en raison du spectre bêta d'activation beaucoup plus faible de ce dernier, et les bêta parasites résiduels sont absorbés par un chemisage intérieur en graphite.

3. En raison de la grande longueur de vol des faisceaux entre la source et le spectromètre (entre 10 m et 14 m) et du freinage des particules chargées. Il est nécessaire de maintenir les canaux sous un bon vide secondaire (10^{-6} Torr pour les produits de fission, 10^{-4} pour les bêta) ou sous atmosphère rigoureusement contrôlée (hélium à 10^{-1} Torr pour les gamma).
4. La présence des sources et des mécanismes à l'intérieur du doigt de gant entraîne des problèmes d'échanges thermiques pendant le fonctionnement, limités au rayonnement en raison du vide, ou des problèmes d'activation lors des démontages ou des interventions pour dépannage. Quelques chiffres permettent de situer le problème : les sources, donc le nez des porte-

source, sont situés en moyenne à 55 cm de l'axe du cœur (50 pour le canal produits de fission et 78 cm pour le canal bêta) ; l'échauffement nucléaire dû essentiellement aux gamma venant du cœur, et aux gamma et bêta de capture dans les matériaux irradiés eux-mêmes atteint :

2,3 W/g au nez du porte-source du canal pour produits de fission.

0,4 W/g dans le cas du canal β .

Du fait de l'énergie dégagée dans la fission, la source d' ^{235}U du canal pour produits de fission dégage 6 W/cm². Le courant de neutrons thermiques qui, sur l'axe du canal, à 3 m de l'axe du cœur, sort au nez des blocs mécaniques démontables, est encore de l'ordre de 3.10^{11} n/cm²s, alors que l'activation de l'acier inoxydable contenant 4 000 ppm de Co, est importante du point de vue protection à partir de 10^6 n/cm²s et celle de l'aluminium à partir de 10^9 n/cm²s.

5. Les dimensions et l'orientation de la source sont ajustables depuis l'extérieur du réacteur, dans les conditions normales de travail. Ceci suppose, divers mécanismes devant travailler sous flux, sous vide et en température donc sans aucune lubrification.
6. Dans le cas du canal bêta, enfin, la déviation des électrons par le champ magnétique terrestre, compte tenu de leur grande longueur de vol, est telle que seuls les électrons d'énergie supérieure à 100 keV atteignent le spectromètre. Pour améliorer les qualités du dispositif en le rendant apte à mesurer les bêta jusqu'à des énergies de 30 keV, il a fallu blinder tout le parcours des électrons avec du Mumétal.

II. DESCRIPTION DES DISPOSITIFS

A. Canal "Produits de fission" (Figures 1, 2 et 3).

1. C'est une poutre tubulaire légère, réalisée en tôles minces d'acier inoxydable rivées à froid. La longueur est de 3.66 m. La section rectangulaire, choisie de façon à laisser passer le faisceau, varie de 130 x 120 mm au nez à 130 x 190 à l'arrière. La poutre est prolongée à l'arrière par une plaque en acier inoxydable, l'ensemble constituant un chariot de 5,1 m de long.

Ce chariot porte deux rails qui permettent le roulement et le guidage transversal sur des galets solidaires de la partie fixe du canal, et une crémaillère.

En position de travail, le chariot porte-source repose sur le bloc mécanique de longueur 2 670 mm qui est logé dans la partie arrière du doigt de gant.

Le porte à faux du chariot vers l'avant est de l'ordre de 2 000 mm.

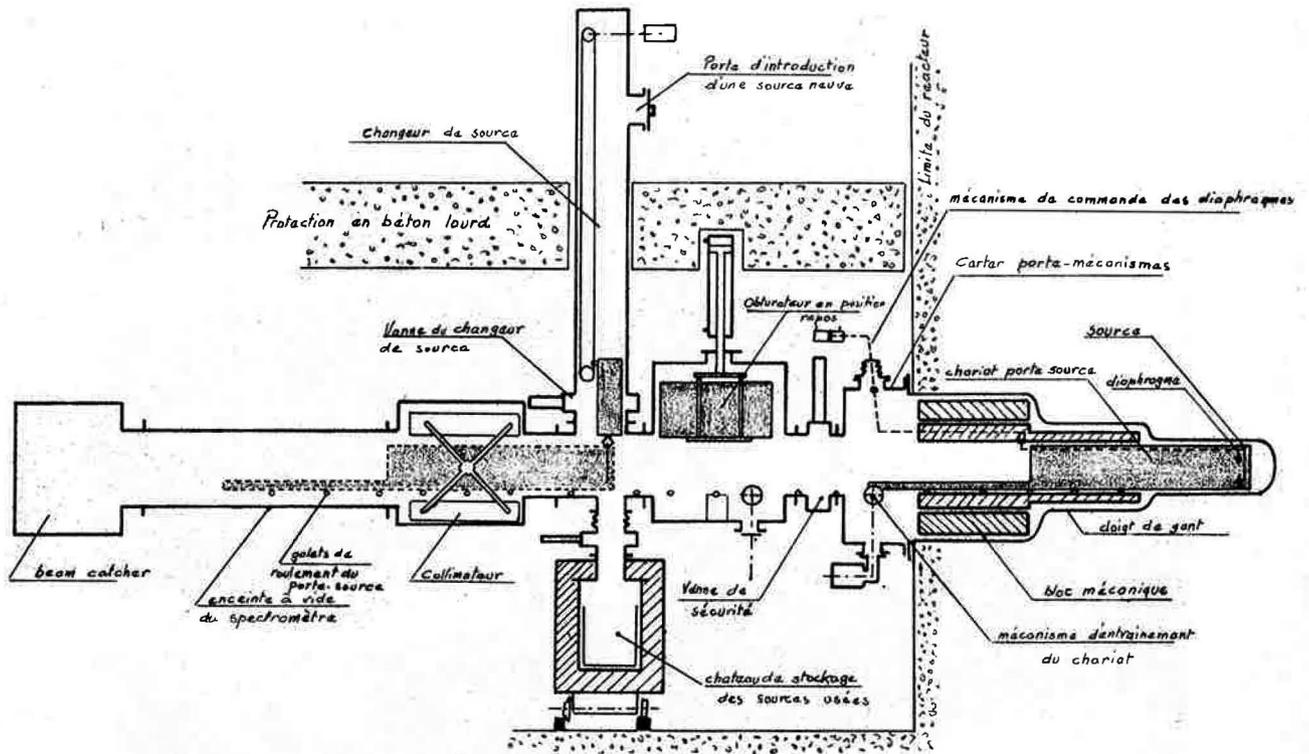


Figure 1 : Equipement pour spectrométrie de produits de fission (échelle non respectée)

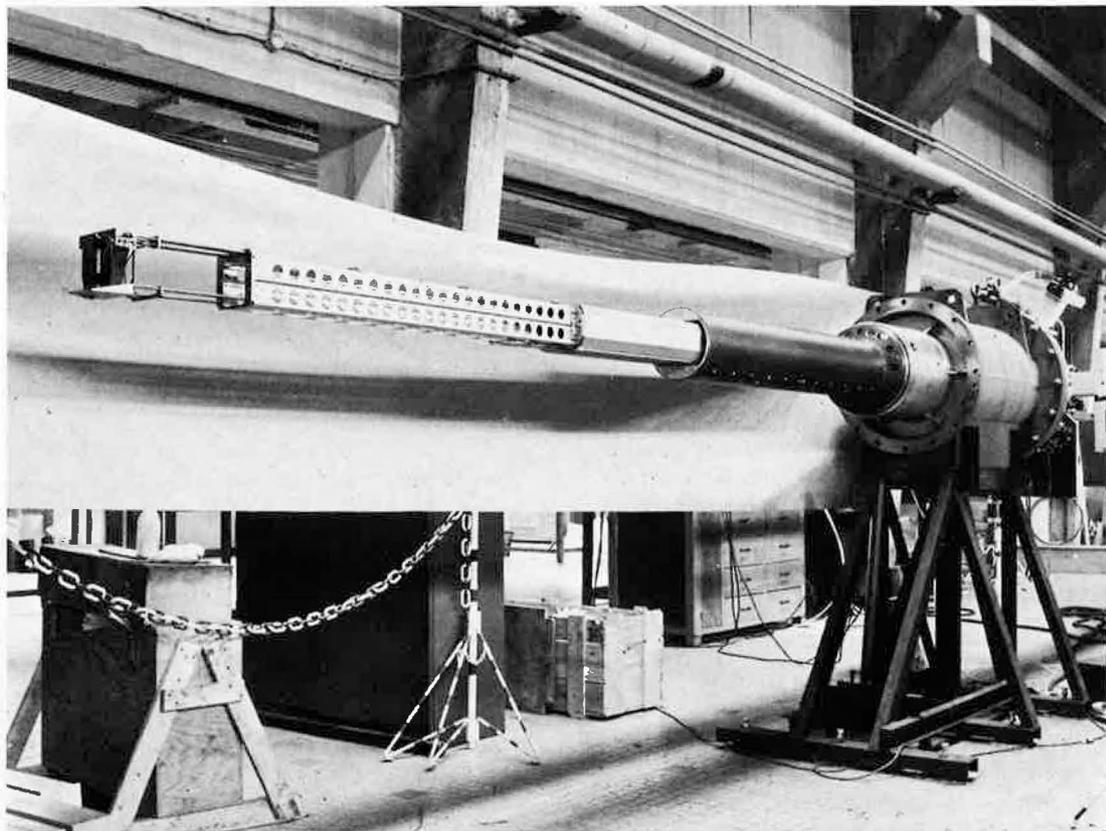


Figure 2 : Partié en pile du canal Produits de fission - Montage en atelier

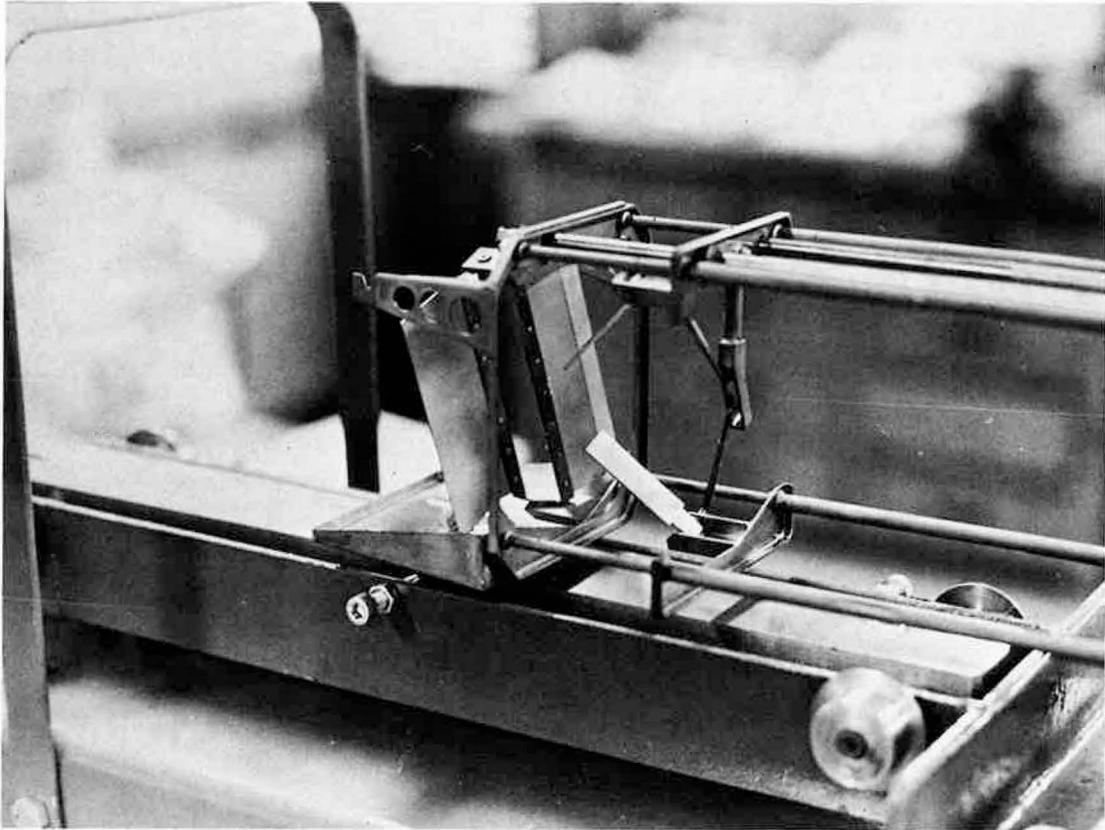


Figure 3 : Canal pour produits de fission - Nez du porte-source

A l'avant du chariot, on trouve la source, constituée d'un dépôt mince ($0,2 \text{ mg/cm}^2$) d' ^{235}U sur une plaque de cuivre de $100 \times 100 \text{ mm}$. La dimension du dépôt est de $90 \times 20 \text{ mm}^2$. La plaque de cuivre a été choisie pour augmenter la surface de rayonnement.

Tout près de la source sont placés deux diaphragmes depuis l'extérieur permettant d'ajuster :

- la hauteur de la partie utile de la source entre 40 et 80 mm à 1 mm près ;
- la largeur entre 0 et 10 mm à $\pm 0,1 \text{ mm}$ dans un sens.

Ces diaphragmes sont commandés à l'aide de 2 tringles d'acier inoxydable, placées sur le dessus du chariot et qui peuvent être mues en translation. Elles reposent sur des paliers secs en molybdène. Pour des raisons qui sont liées au réglage du spectromètre, la position de la source doit pouvoir être ajustée dans un plan perpendiculaire à l'axe du faisceau, par rotation de $\pm 3^\circ$ autour de cet axe avec une précision de $20'$ d'angle.

Ce réglage est obtenu en faisant tourner tout le chariot, par rotation d'une partie du bloc mécanique.

2. Le bloc mécanique

Il est constitué de 2 parties concentriques. La partie extérieure, massive, remplie d'une protection de béton lourd de densité 6,5 pour reconstituer dans le doigt de gant la protection du réacteur, est introduite dans le

canal par roulement sur des galets comme les bouchons standards. La partie intérieure, qui supporte le chariot porte-source, peut tourner dans la partie extérieure.

3. Les mécanismes de commande

Ces mécanismes, constitués suivant les cas par des groupes motoréducteurs ou par des vérins, sont disposés à la périphérie d'un carter en acier qui vient fermer le doigt de gant. Ce carter porte, dans l'axe du faisceau, une ouverture de grande dimension qui peut être obturée à l'aide d'une vanne du type guillotine de diamètre 300 mm. La commande de cette vanne de sécurité est liée au fonctionnement du réacteur.

a) Commande de translation

Elle est assurée par des systèmes de pignons entraînant la crémaillère liée au porte-source.

b) Commande des diaphragmes

Des vérins hydrauliques disposés à l'extérieur de l'enceinte à vide entraînent en translation, par l'intermédiaire d'un levier oscillant logé dans un soufflet d'étanchéité, des tiges de commande liées à la partie tournante du bloc mécanique. La liaison levier-tige se fait par l'intermédiaire d'une fourchette étudiée de façon à rendre le réglage des diaphragmes indépendant de la position angulaire du chariot. La liaison entre les tiges, solidaires du bloc mécanique, et les tringles, liées au porte-source,

se fait au moyen de fourchettes escamotables lors du recul du chariot.

c) Il existe également un verrouillage du chariot en position avant qui a un double rôle :

- maintien du chariot pour empêcher un recul intempestif en travers de la vanne de sécurité ;
- butée précise de positionnement.

4. Partie extérieure au réacteur

Dans le prolongement de l'axe du canal, on trouve successivement :

- L'obturateur, enceinte à vide dans laquelle est stocké le bouchon destiné à obturer le faisceau en cas d'intervention sur le dispositif.
- Le changeur de source, qui permet, à l'aide d'une pince manoeuvrable sous vide, d'extraire une source consommée et de la déposer dans un château de stockage, et d'introduire une source neuve depuis le toit de la casemate en béton qui entoure le dispositif.
- Un collimateur réglable permettant de limiter la dimension du faisceau.
- A 8 m de la source, se trouve alors l'aimant du spectromètre qui dévie les produits de fission selon un arc de cercle de rayon 4 m.
- Le "beam catcher" situé dans l'axe du canal, après l'aimant. Il intercepte les neutrons rapides et les gamma. Il est constitué d'une enceinte étanche entourée d'un mur de béton qui atteint 2,5 m d'épaisseur dans l'axe du faisceau.

B) Canal traversier pour spectromètre gamma

Le principe est le même que celui du canal décrit précédemment ; il en diffère cependant par :

- La section du faisceau, beaucoup plus faible, de l'ordre de $50 \times 15 \text{ mm}^2$, limitée par des rondelles de plomb empilées pour constituer des collimateurs de l'ordre de 2 m de longueur.
- Le passage libre circulaire de diamètre 120 mm, dans lequel circule un collimateur muni de billes porteuses permettant le déplacement longitudinal et une rotation de $\pm 10^\circ$ autour de l'axe du canal. Le porte-source est un tube de section circulaire en tôle de zircaloy. Long de 2 m, il est fixé en porte à faux au nez

* Les équipements du canal pour produits de fission et du canal bêta vertical ont été étudiés et réalisés par les Ateliers de Prototypes et des Techniques Avancées du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble.

du collimateur mobile. La source est un sandwich très mince de l'isotope à étudier entre 2 feuilles d'aluminium. Il est suspendu au bout du porte-source, de sorte que, du spectromètre, on n'en voit que la tranche. Pour corriger un mauvais positionnement, la source repose sur le porte-source par l'intermédiaire d'un support pivotant autour d'un axe vertical. La commande de ce mouvement se fait depuis l'extérieur, par translation d'une tringle, comme précédemment.

- Le vide moins poussé qui permet d'adopter pour les traversées étanches des solutions plus classiques.

C) Canal bêta vertical (Figures 4)

L'ensemble du dispositif est construit autour de 2 axes principaux. L'un vertical est destiné à permettre à l'aide d'un treuil la mise en place et le retrait de la source.

L'autre, incliné de 7° par rapport à la verticale, permet la sortie du faisceau d'électrons de conversion vers le spectromètre disposé sur la margelle de la piscine.

On peut discerner 3 parties essentielles : la partie basse en contact avec l'eau lourde, la partie intermédiaire dans la piscine et la partie supérieure sur une passerelle en forme de plongeur.

1. La partie basse (Figure 5) ***

En forme de Y, elle est réalisée en zircaloy et mesure 7 m de long. Sa construction a fait appel à des tôles roulées, d'épaisseur comprise entre 5 et 10 mm et à des brides usinées, entièrement soudées sous argon. La branche inférieure du Y, qui mesure 1750 mm entre le plan de la source et le fond du canal, a été usinée intérieurement puis gainée de graphite. Le tube de zircaloy a été chauffé pour permettre l'introduction sans jeu des viroles en graphite. Le fretage ainsi obtenu assure un bon contact thermique entre graphite et zircaloy. La partie basse repose par l'intermédiaire d'une bride d'aluminium sur la structure supérieure du bloc pile, à 4500 mm au dessus du plan médian du cœur.

2. La partie intermédiaire

Elle comporte un double obturateur commandé mécaniquement depuis le dessus de la piscine. Cet obturateur a surtout pour but de permettre, lorsque le réacteur est arrêté, l'accès sur la structure supérieure des équipes d'exploitation. On trouve ensuite 2 tubes en aluminium de 200 mm de diamètre environ et de 8 m de long. Le tube vertical contient 2 rails de guidage du porte-source. Le tube incliné est entièrement doublé à l'intérieur avec une chemise en Mumétal. Un troisième

** L'équipement du canal traversier pour spectrométrie gamma a été étudié et réalisé par la Division Neyrpic (Département des Applications Nucléaires) de la Société Alstom.

*** La partie basse en Zircaloy a été réalisée par les établissements TREFIMETAUX d'Argenteuil.

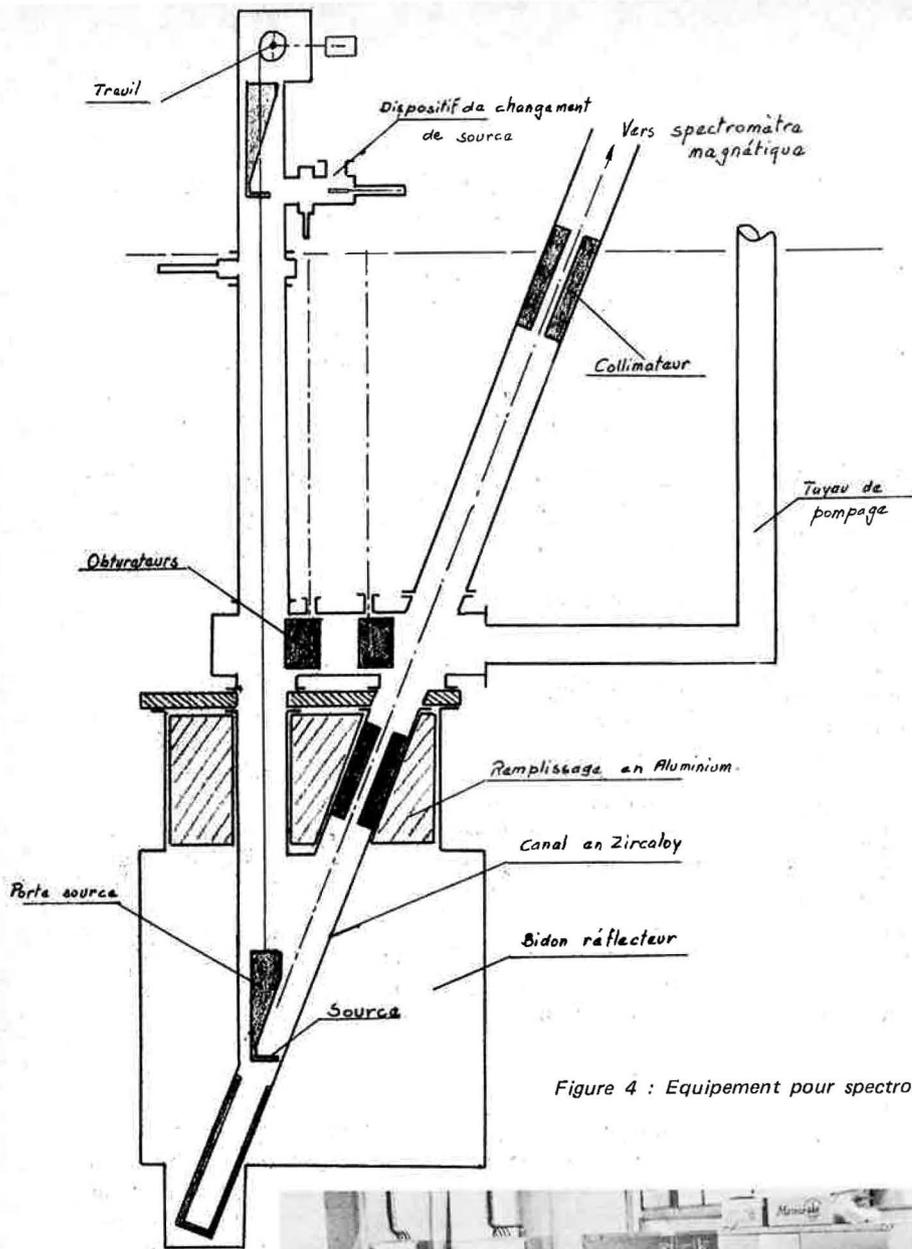


Figure 4 : Equipement pour spectrométrie Bêta

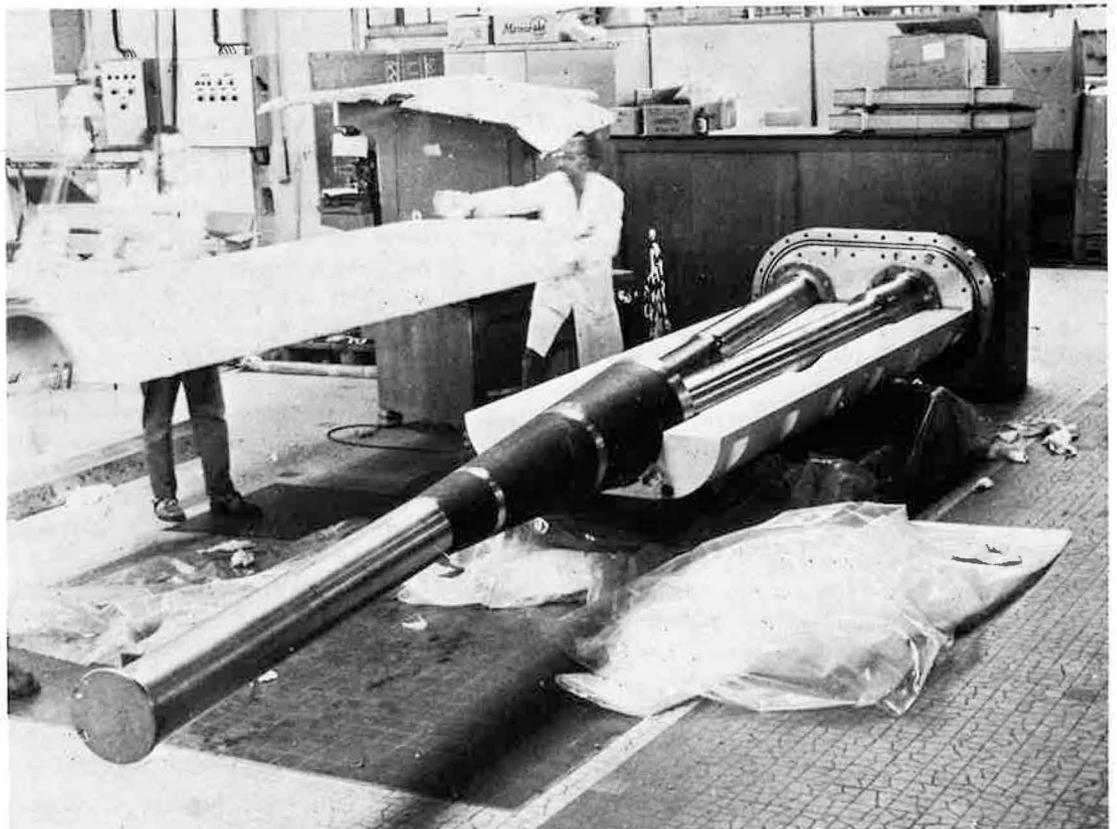


Figure 5 :
Partie basse
du canal
Bêta
Habillage
en atelier

tube de 350 mm de diamètre assure la liaison entre la partie basse et le groupe de pompage de 1200 l/s placé près du spectromètre.

3. La partie supérieure

Le tube vertical est coiffé d'un château de plomb dont l'épaisseur, variant entre 10 et 15 cm, permet la remontée du porte-source et de son câble de soutien sans refroidissement préalable. Le porte-source mesure 800 mm

de long et pèse 2,8 kg. Il est usiné dans du graphite nucléaire, dont le taux en sodium est inférieur à 0,5 ppm.

L'extrémité supérieure du château porte le treuil mu par un groupe motoréducteur et étudié pour détecter rapidement un frottement anormal du porte-source ou un coincement du câble. Sur le côté du château, en face d'un hublot, un dispositif à axe horizontal permet l'échange de la source, réacteur en fonctionnement et sous vide.