

Les conduits de neutrons

Par P. AGERON et P.A. BLUM

Résumé :

Dix conduits de neutrons sont installés. Ils sont complétés par des conduits spéciaux qui répartissent les faisceaux entre les expérimentateurs. Ils desservent ainsi 40 % des possibilités expérimentales du Réacteur à Haut Flux.

Après un rapide rappel des principes, l'accent est mis sur les tolérances de fabrication à imposer pour la rugosité microscopique, les défauts angulaires macroscopiques (réglage angulaire et planéité des éléments) et les défauts de choc.

Les dispositions constructives sont conditionnées par le trajet des conduits qui partent du bloc pile, traversent d'abord une piscine, ensuite une casemate en béton pour ressortir soit dans le hall "Expérimentateurs" du réacteur, soit dans un bâtiment annexe.

Summary :

Ten neutron ducts are installed and served by special ducts which distribute the beams amongst the experimentalists, thus supplying 40 % of the experimental possibilities of the high flux reactor.

After a brief outline of the principles, stress is laid on the manufacturing tolerances to be laid down for the microscopic roughness, macroscopic angular defects (angular adjustment and flatness of elements) and shock defects.

The building arrangements are governed by the path of the ducts which leave the pile building, pass through a swimming pool and then a concrete cell and emerge either in the "experimentation" hall of the reactor or in an adjoining building.

Zusammenfassung :

10 Neutronenleiter sind installiert. Sie sind durch Spezialleiter vervollständigt, die die Strahlen zwischen den Experimentatoren aufteilt. Sie dienen ebenso 40 % der Experimentiermöglichkeiten des Hochflussreaktors.

Nach einem schnellen Wiederholen der Prinzipien wird der Akzent auf die Fabrikationstoleranzen gesetzt um die mikroskopische Rauheit, die makroskopischen winkligen Fehler (Winkelmessung und Elementebenheit) und die Abweichungen an den Stößen zu verlangen.

Die konstruktiven Möglichkeiten sind durch den Leiterweg bedingt die vom Reaktor ausgehen, überqueren zuerst ein Becken, dann eine Betonkasemate, um entweder in der Experimentierhalle des Reaktors, oder im Nebengebäude wieder herauszukommen.

Le principe des conduits à réflexion totale de neutrons a été maintes fois décrit [1], [2], [3] [4]. Il y a réflexion totale, par exemple à l'interface du vide et d'un milieu d'indice de réfraction $n < 1$, lorsque l'angle d'incidence γ est inférieur à l'angle critique γ_c où $\cos \gamma_c = n$

avec $n = \sqrt{1 - \lambda^2 \frac{Na}{\pi}}$ pour des neutrons de lon-

gueur d'onde λ et un milieu ayant une densité N d'atomes d'amplitude de diffusion cohérente a . C'est essentiellement un phénomène de surface puisque la longueur de

relaxation de l'onde évanescente

$$d = \frac{1}{\sqrt{4\pi Na}} \times \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \gamma}{\sin^2 \gamma_c}}}$$

est, par exemple pour le nickel, de l'ordre de 100 Å (pour $\gamma \ll \gamma_c$), de sorte que la transmission est négligeable pour des épaisseurs de 1 000 à 2 000 Å.

Les conduits de neutrons sont généralement des tubes de section rectangulaire, de largeur a et de hauteur b. Pour les conduits droits, les neutrons sont transmis dans un angle solide $4\gamma_c^2$ constant en tout point de la section, avec un nombre moyen de réflexions :

$$\bar{m} = \frac{L\gamma_c}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad (L \text{ étant la longueur du conduit})$$

Le plus souvent, les conduits sont courbes, de façon à supprimer toute transmission en vue directe des rayonnements parasites, neutrons rapides et gammas. La longueur minimale de vue directe est $L_1 = \sqrt{8aR}$ (R rayon de courbure du conduit). L'angle solide dans lequel sont transmis les neutrons n'est plus constant dans la section du guide mais varie en fonction de la distance x au bord extérieur du guide, et a pour valeur :

$$4\gamma_c^2 \sqrt{1 - \frac{x}{a} \frac{\gamma_*^2}{\gamma_c^2}}$$

où $\gamma_* = \sqrt{\frac{2a}{R}}$ est l'angle caractéristique du conduit

De même, le nombre n de réflexions dépend de x et vaut :

pour $\gamma \leq \gamma_c - \frac{x}{a} \gamma_*$ réflexion en guirlande

$$m = \frac{1}{\sqrt{(\gamma/\gamma_*)^2 + x/a}}$$

$\gamma \geq \gamma_c - \frac{x}{a} \gamma_*$ réflexion en zig-zag

$$m = \frac{2}{\sqrt{(\gamma/\gamma_*)^2 + \frac{x}{a}} - \sqrt{(\gamma/\gamma_*)^2 + \frac{x}{a} - 1}}$$

I. TOLERANCES DE FABRICATION

La transmission dans les limites d'angle solides mentionnées plus haut, n'est égale à un que pour des conduits parfaits. Dans les conduits réels, il se produit des manques de réflexion qui entraînent des pertes de neutrons (par diffusion et absorption) et qui sont dues à des défauts de différents types :

A. Rugosité microscopique

La rugosité de la surface réfléchissante, à l'échelle microscopique (c'est-à-dire de dimension comparable à la profondeur de pénétration), provoque autour de la réflexion franche, une réflexion diffuse pour laquelle l'angle après réflexion peut être supérieur à l'angle critique, ce qui entraîne une perte à la réflexion suivante. La part réfléchie de façon diffuse est proportionnelle [5] à :

$$\gamma \sqrt{\frac{\omega}{\lambda}} < \frac{\xi^2}{d^2}$$

$\langle \xi^2 \rangle$ et ω étant respectivement la moyenne quadratique et la longueur de corrélation de la rugosité supposée répartie au hasard. Cette relation montre que la perte est admissible pour des valeurs de ω et de $\langle \xi^2 \rangle^{1/2}$ pas trop grandes par rapport respectivement à la longueur d'onde et à la profondeur de pénétration. Toutefois cette relation s'applique mal pour les grandes valeurs de ω et de $\langle \xi^2 \rangle^{1/2}$ et par ailleurs ces paramètres sont difficilement mesurables. On préfère se fier à l'expérience des conduits existants qui a montré que la réflectivité est suffisante (environ 97% à 99%) pour des surfaces polies de qualité miroir. Cette qualité étant obtenue couramment par polissage de plaques de verre, c'est ce matériau qui est le plus souvent utilisé comme support de la couche mince réfléchissante ; par exemple 2 000 Å de nickel déposé par évaporation sous vide.

L'influence de ce défaut sur la transmission est proportionnelle au nombre moyen de réflexions, donc à la longueur d'onde des neutrons et à la longueur du conduit.

B. Défauts angulaires macroscopiques

Les conduits sont faits de plaques planes assemblées de façon à constituer un tube courbe. Les ondulations ou le voilage des plaques, l'imprécision de leur réglage angulaire, l'approximation polygonale de la courbure font que les neutrons ayant un angle d'incidence voisin de l'angle critique peuvent se présenter à la réflexion suivante avec un angle d'incidence supérieur à l'angle critique et ne pas être réfléchis. Si on désigne par a_1 , a_2 et a_3 les écarts angulaires maximaux des surfaces par rapport à leur position idéale, dus respectivement aux ondulations, à l'imprécision de réglage et à l'approximation polygonale, la perte est proportionnelle à :

$$\frac{1}{\gamma_c} \sqrt{n_{\max} (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)}$$

(n_{\max} nombre de réflexions pour γ voisin de γ_c).
dû au fait que les écarts sont distribués au hasard entre les valeurs maximales $\pm a_i$.

L'incertitude de réglage a_2 , par autocollimation peut être facilement inférieure à $0,5 \cdot 10^{-4}$ radian. L'approximation polygonale est $a_3 = \frac{l}{2R}$ (l : longueur droite élémentaire). On choisit $l = 1$ m, ce qui donne $a_3 < 0,5 \cdot 10^{-4}$

pour les conduits de neutrons thermiques ($R > 10000$ m) et $< 2 \cdot 10^{-4}$ pour les conduits de neutrons froids ($R > 2500$ m) sauf pour les conduits très courbes où $l = 25$ cm. C'est une bonne planéité des plaques qui est la plus difficile à réaliser. On a pu obtenir $\alpha_1 \leq 10^{-4}$ pour les conduits thermiques et $\alpha_1 \leq 3 \cdot 10^{-4}$ pour les conduits froids.

C. Défaut de choc

Les variations d_a et d_b , respectivement en largeur et en hauteur, des dimensions intérieures des différents tronçons et de leur positionnement entraînent une perte proportionnelle à $\frac{d_a}{a} + \frac{d_b}{b}$

En assortissant les tronçons après fabrication, on peut obtenir $d_a < 10^{-2}$ mm et $d_b < 10^{-1}$ mm.

Les interruptions longitudinales entre tronçons entraînent des pertes beaucoup plus faibles et il est possible de tolérer des chanfreins de 0,5 mm et, tous les 10 m, des espaces de dilatation de 3 mm.

II. REALISATION DES CONDUITS

A. Disposition générale

L'installation se compose de 10 conduits qui desservent en neutrons 40 % des possibilités expérimentales du réacteur à haut flux. Deux d'entre eux aboutissent à des dispositifs situés dans le hall du réacteur et les huit autres sont utilisés dans un bâtiment annexe de 90 m de longueur sur 35 m de largeur. Cinq conduits forment la nappe H1 et visent la source froide. La nappe H2, formée par les cinq autres conduits, vise le réflecteur d'eau lourde.

La longueur totale installée à poste fixe est de 473 mètres. Il convient d'y ajouter 120 mètres de conduits spéciaux qui répartissent à la sortie des conduits principaux les faisceaux de neutrons entre les différentes expériences.

Les conduits principaux sont courbés et leurs rayons vont de 25 m à 27 000 m (leurs caractéristiques sont réunies dans le tableau I du premier article de ce numéro.) L'obtention d'une longueur de vue directe à la paroi du hall du réacteur correspond à un rayon de courbure de 2 700 m.

B. Les conduits principaux

Les conduits principaux traversent plusieurs zones. Aussi distingue-t-on la partie en pile, la partie en piscine, la partie en casemate dans le hall pile, la partie en casemate dans le bâtiment annexe.

Un conduit est formé de tubes de verre de section intérieure rectangulaire de 30 mm de largeur et de 200 mm de hauteur. La longueur standard de l'élément de tube est de 1 mètre pour la plus grande partie de l'ensemble. Les faces internes du tube sont polies de manière à obtenir une rugosité arithmétique moyenne de 300 Angströms. Ces faces reçoivent ensuite un revêtement de nickel d'environ 2 000 Angströms d'épaisseur. Le verre est du verre boré (13% de B_2O_3) fourni par SOVIREL pour la partie en pile et par SCHOTT pour le reste de la fourniture.

1. Partie en pile

Dans la partie en pile (Figure 1) seule la nappe H1 est constituée de conduits de neutrons. La nappe H2 est constituée de collimateurs formés de plaques de verre PYREX non polies. Cette partie en pile, enfermée dans un carter unique, étanche au vide, vient s'insérer dans des cavités qui permettent l'approche maximum des sources de neutrons. Sur l'avant des cavités sont disposés deux obturateurs liquides que l'on peut remplir d'eau déminéralisée. Sur l'arrière de la partie en pile des obturateurs de plomb viennent compléter l'obturation des faisceaux, ce qui permettra le travail éventuel sur les conduits en casemate pendant la marche du réacteur. La partie en pile a été réalisée par NEYRPIC/ALSTHOM et JOBIN-YVON - JOUAN-QUETIN.

2. Partie hors pile

La partie en pile débouche dans une piscine dont le but est d'une part de compléter la protection propre du réacteur et d'autre part d'atténuer le rayonnement dû à l'absorption des neutrons dans le verre boré. Les conduits de neutrons qui sont dans la piscine et ceux qui leur succèdent en casemate sont construits suivant le même principe, principe d'ailleurs déjà mis en œuvre au réacteur FRM de GARCHING, près de MUNICH. Chaque conduit se trouve dans un tube d'acier qui lui sert à la fois de carter d'étanchéité au vide (et à l'eau pour la partie en piscine) et de poutre support. Chaque tube d'acier mesure en général 10 mètres. Les tubes sont munis de traversées diverses pour les réglages et les visées (Figure 2).

Le positionnement en hauteur et l'horizontalité se font par l'extérieur au moyen de vis de longueur constante. Des languettes assurent l'emboîtement des éléments successifs dont la verticalité et l'orientation angulaire est assurée au moyen de 2 vis, par autocollimation.

A la sortie de la piscine, chaque conduit est muni d'une vanne de sécurité étanche à l'eau. A la traversée de l'enceinte du bâtiment du réacteur, chaque conduit reçoit une vanne étanche à l'air pour maintenir le principe du confinement. Il est en outre prévu de garnir d'un absorbant les opercules de ces dernières vannes pour leur faire jouer le rôle d'obturateur de faisceaux. Depuis la partie en pile, les conduits sont construits par la firme M.A.N. d'Augsburg, la partie "optique" étant réalisée par JOBIN-YVON JOUAN-QUETIN.

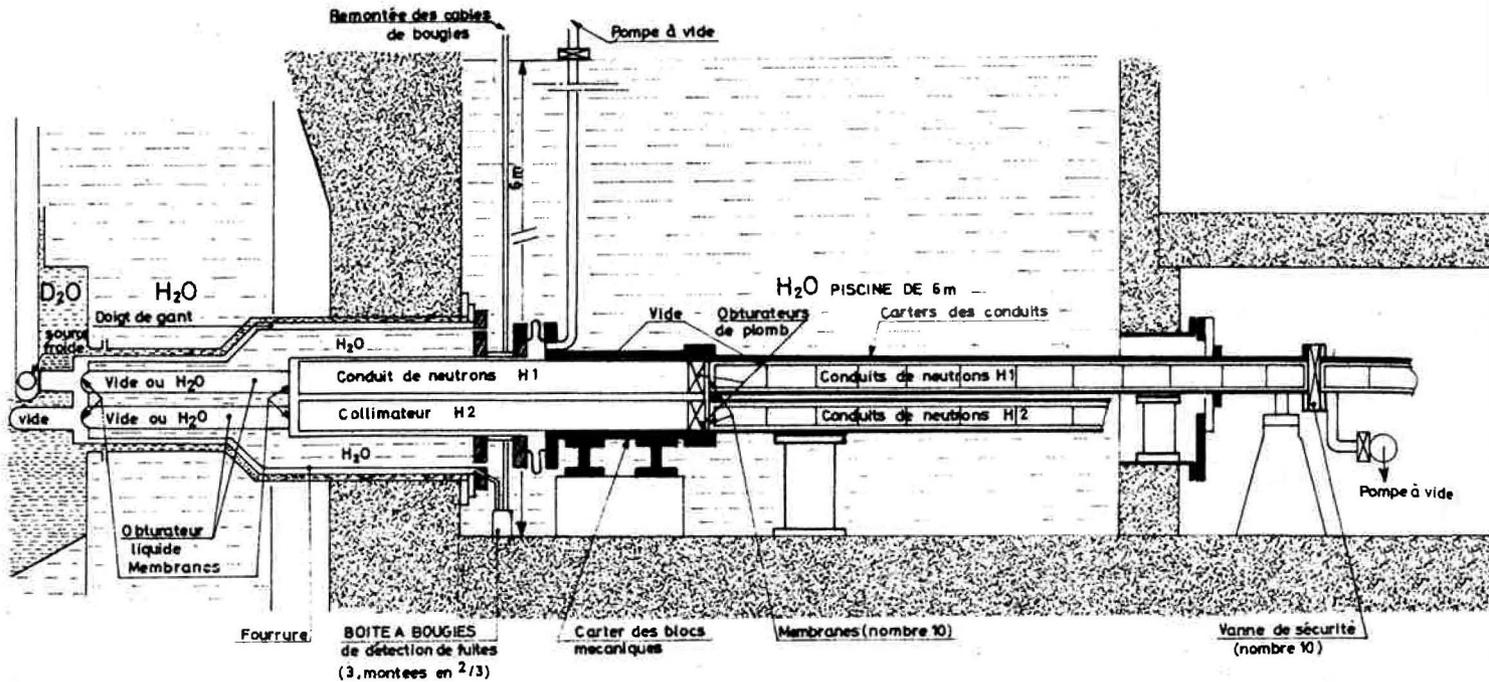


Figure 1 : Conduits de neutrons : partie en pile et en piscine

C. Les conduits spéciaux

La raison du choix d'une hauteur de 200 mm pour les conduits de neutrons principaux est de pouvoir fournir aux physiciens utilisateurs trois faisceaux de neutrons superposés, de manière à alimenter au moins trois expériences par conduit. Les conduits spéciaux répartissent donc ces faisceaux. Leur réalisation a été confiée à la Société SRPI-MORIN. Le maximum de souplesse a été recherché : les conduits spéciaux sont formés de tronçons standard rectilignes de 5 mètres, avec soit une section de 30 x 125 mm, soit une section de 30 x 50 mm. Le conduit n'est plus en carter mais tient son vide lui-même, suivant la technique mise en oeuvre au réacteur EL3 de SACLAY'

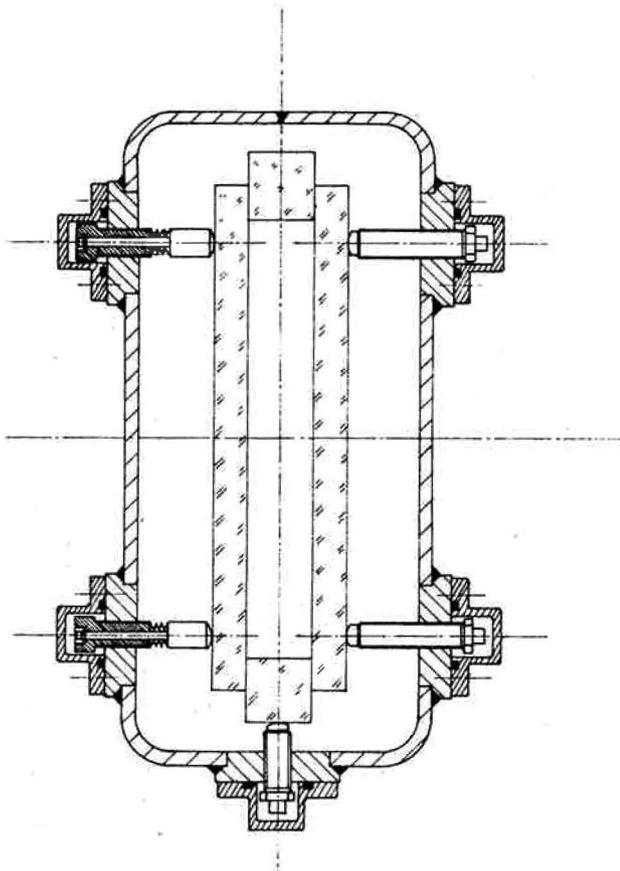


Figure 2 : Conduits de neutrons : section courante

D. Protection des conduits

Les neutrons non réfléchis sont absorbés par le bore qui émet un gamma de capture de 0,5 MeV, de telle sorte que, même au-delà de la vue directe, il faut entourer les conduits d'une protection biologique.

A proximité du réacteur, cette protection est assurée par une piscine d'eau déminéralisée. Ensuite les conduits principaux circulent dans une casemate qui les englobe tous. Cette casemate est formée de blocs et de dalles amovibles, en béton, soit du béton ordinaire, soit du béton hydrogéné (béton à la serpentine) de densité 2,2, du côté des conduits froids.

A leur extrémité, les conduits principaux sortent de la casemate pour alimenter les conduits spéciaux. Chaque conduit spécial reçoit sa propre protection individuelle sous forme d'une poutre en béton qui vient le coiffer.

Comme les autres protections amovibles des dispositifs expérimentaux, les protections des conduits de neutrons ont été fabriqués et posés par l'Entreprise REYDEL et ses Fils, de VOIRON.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] H. MAIER-LEIBNITZ, T. SPRINGER—“The use of neutron optical devices on beam hole experiments” *J. of Nuclear Energy* V. 17 No 15 July 1963.
- [2] B. FARNOUX, B. HENNION, J. FAGOT—Description et caractéristiques neutroniques du tube conducteur de neutrons installé près du réacteur EL3. Neutron Inelastic Scattering IAEA Vienna 1968.
- [3] B. JACROT— Utilisation of neutron guide tubes for neutron inelastic scattering, Instrumentation for neutron inelastic scattering research IAEA Vienna 1970.
- [4] C. BOUTON — Etude et réalisation de conduits de neutrons (Thèse).
- [5] A. STEYERL—“Transmissionmessungen mit ultrakalten Neutronen” Thèse à l'Université de Munich fev. 71.