Dispositif d'irradiation aux neutrons à 20 °K

R.R. Conte, J. Dural

► To cite this version:

R.R. Conte, J. Dural. Dispositif d'irradiation aux neutrons à 20 °K. Revue de Physique Appliquée, 1967, 2 (1), pp.1-6. 10.1051/rphysap:01967002010100 . jpa-00242758

HAL Id: jpa-00242758

<https://hal.science/jpa-00242758>

Submitted on 1 Jan 1967

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

REVUE DE PHYSIQUE APPLIQUÉE

Supplément au « Journal de Physique »

DISPOSITIF D'IRRADIATION AUX NEUTRONS A 20 °K

R. R. CONTE et J. DURAL,

Centre d'Études Nucléaires de Fontenay-aux-Roses.

Résumé. — On décrit un système d'irradiation aux neutrons situé dans le réacteur Triton (type piscine) du Centre d'Études Nucléaires de Fontenay-aux-Roses.

Le dispositif comprend un *cryostat* avec garde d'azote liquide, raccordé à un *cryogénérateur* Philips PEH-100 — donnant au premier étage 300 W à 78 °K et au second étage 100 W à 20 °K. Ces deux éléments, solidaires du tableau de contrôle et de régulation, sont portés par un chariot mobile x-y, qui permet l'exploration de flux neutroniques différents.

L'ensemble, entièrement automatique, permet des irradiations dans l'hydrogène liquide, ou dans tout autre fluide cryogénique : deutérium, néon, azote...

Le dispositif est conçu de manière que les mesures (résistivité, allongement, traction, éventuellement microcalorimétrie différentielle...) se fassent *in situ*.

Toutefois, en vue des mesures en laboratoire, la sortie des échantillons à la température d'irradiation est possible.

Il est prévu, pour recueillir et exploiter les informations issues des échantillons étudiés, une chaîne d'acquisition numérique Hewlett-Packard qui remplacera les potentiomètres classiques.

Abstract. — We describe here a neutron irradiation system located in the reactor Triton (swimming-pool type) at the Fontenay-aux-Roses Nuclear Center.

The device consists of a *cryostat* with a liquid nitrogen shield connected to a Philips PEH-100 *cryogenerator* — generating 300 W at 78 °K for the first stage and 100 W at 20 °K for the second stage. Both these elements, integral with the control and regulation panel, are supported on a carriage which can be moved in two directions perpendicular to one another, thus allowing exploration of different neutron fluxes.

With this system, entirely automatic, irradiations can be carried out in liquid nitrogen or any other cryogenic fluid : deuterium, neon, nitrogen...

The device is so designed that the measurements (resistivity, elongation, traction, differential microcalorimetry when required) may take place *in situ*. However it is possible to remove the samples at irradiation temperature in order to carry out laboratory measurements.

To collect and analyse the information obtained from the samples investigated, a Hewlett-Packard numerical data system will be used in place of the conventional potentiometers.

Introduction. — Malgré leur grand intérêt pour l'étude des défauts cristallins, les dispositifs, permettant des irradiations, dans un réacteur nucléaire, à des températures inférieures à 77 °K sont encore peu nombreux. Il en existe à Grenoble (27 °K) [1], Oak-ridge (4,2 °K) [2], Argonne (4,2 °K) [3], Garching (4,2 °K) [4], Karlsruhe (11 °K) [5].

Tous comportent, bien entendu, principalement un cryostat et une source de frigories. Celle-ci, dans tous les appareils cités, constitue un élément « lourd » et encombrant puisque, dans tous les cas, il nécessite un local annexe pour les machines (compresseurs...).

Nous décrivons ici un dispositif fonctionnant à 20 °K, installé dans le réacteur Triton de Fontenay-aux-

Roses et qui se caractérise précisément par un très faible encombrement, l'ensemble du dispositif occupant sur la passerelle du réacteur une surface de 2×1 m. Cette « miniaturisation » a été rendue possible par la mise sur le marché du cryogénérateur Philips à deux étages.

Nous décrivons succinctement la *conception générale* de l'appareil [6], le *cryostat* d'irradiation et les *performances* obtenues. Une description plus détaillée est donnée ailleurs [7].

1. Description générale (fig. 1 et 2). — L'appareil est constitué d'un *cryogénérateur* Philips PEH-100 monté sur un *chariot*, auquel est fixé un *cryostat* qui plonge dans

FIG. 1. — Vue générale du dispositif

On distingue le tableau de contrôle, le cryogénérateur, le groupe de pompage.

l'eau du réacteur piscine, jusqu'au niveau du cœur. Sur le chariot, mobile sur une passerelle du réacteur, sont fixés tous les ensembles de *régulation*, ainsi que les *pompes à vide* du cryostat. En déplaçant le chariot, on déplace donc l'ensemble du dispositif (*fig. 1*).

Le cryogénérateur, dérivé des liquéfacteurs d'air Philips, fonctionne suivant le cycle de Stirling. Muni de deux étages, il fournit pour deux gammes de température de fortes puissances frigorifiques; par exemple, simultanément 300 W à 78 °K et 100 W à 20 °K.

Chaque étage permet de reliquéfier, en circuit fermé, l'hydrogène évaporé dans le cryostat ainsi que l'azote de l'écran thermique.

Le chariot qui supporte l'ensemble du dispositif est mobile dans deux directions perpendiculaires (chariot x-y). Le déplacement maximal dans ces directions est de 30 cm. Il permet d'obtenir, à proximité du cœur, des flux variant de 10^{11} à 10^{13} nth/cm².s. L'ensemble est déplacé à la main. A la position souhaitée, on verrouille le chariot.

La description du *cryostat* fera l'objet du paragraphe 2.

La *régulation* a pour but de maintenir constante la pression, donc la température, au-dessus de l'hydrogène et de l'azote. Elle consiste à laisser le cryogénérateur fonctionner à puissance constante et à réguler la pression sur les deux circuits. Si celle-ci diminue, on dissipe de la chaleur par l'intermédiaire d'un enroule-

ment chauffant, ce qui augmente l'évaporation de liquide et rétablit la pression. Sur le circuit hydrogène, le chauffage de régulation se fait sur la branche remontante du U. Cette disposition a pour but de favoriser la circulation du liquide cryogénique. Il se crée en effet deux colonnes de densités différentes.

L'ensemble de *vide* (pompe à palette et pompe secondaire) est raccordé à la tête du cryogénérateur.

FIG. 2. — Schéma de principe du dispositif.

FIG. 3. — Cryostat : partie intermédiaire.

Il permet de faire le vide d'isolement thermique dans tout le dispositif.

2. Le cryostat d'irradiation. — Le cryostat (fig. 2) est constitué comme un vase à hélium liquide, standard. Le circuit hydrogène est constitué par un tube en U (fig. 3). L'écran d'azote liquide est compris dans l'espace annulaire entre deux tubes concentriques (fig. 3). Au voisinage du cœur, pour des raisons d'encombrement, la circulation d'hydrogène est coaxiale. Pour les mêmes raisons, l'écran azote liquide a été interrompu.

La tête du cryostat (fig. 2) dont le dessin a été inspiré par le dispositif de Garching [4] comporte un évasement et un doigt de mesures. L'évasement dans lequel se trouve le niveau du liquide contient une sonde capacitive de niveau. Le doigt permet après rotation de 180° de l'échantillon d'effectuer des mesures hors flux après irradiation. L'échantillon lui-même se trouve au bout d'un tube en acier inoxy-

dable de 10 m de long. Dans ce tube passent les conducteurs de mesure qui aboutissent au porte-échantillon. Par l'intermédiaire de sas (fig. 2), on peut introduire le porte-échantillon dans le cryostat sans risque de pollution des atmosphères interne et externe. Il ne reste plus qu'à pousser le tube ($2,6 \times 3$) pour amener le porte-échantillon au niveau du cœur du réacteur.

3. Performances. — 3.1. OPÉRATIONS DE DÉMARRAGE (fig. 2). — L'introduction des fluides dans les deux circuits étant identique, nous ne décrirons le processus que pour le circuit hydrogène.

État initial : Cryogénérateur arrêté — Circuits fluides du cryostat à la pression atmosphérique (air) — Vide d'isolement $\simeq 10^{-6}$ bar.

Manœuvres : Vannes V_4 et V_5 fermées, V_1 et V_3 ouvertes. On fait le vide dans le circuit au moyen de la pompe auxiliaire ($\simeq 10^{-2}$ bar). On ouvre V_4 et D_2 en

contrôlant la pression sur le manomètre M. Mise en route du cryogénérateur.

Le gaz circulant entre la tête du cryogénérateur et le cryostat se refroidit et refroidit à son tour tout le circuit. Lorsque la température de l'ensemble atteint 20 °K la liquéfaction commence. Par l'intermédiaire de la vanne à pression constante D₂, le gaz est introduit au fur et à mesure de sa liquéfaction. Lorsque les niveaux sont atteints on ferme V₄.

Pour arrêter le système, on ouvre V₅ et on coupe la marge du cryogénérateur. En cas de montée en pression (> 5 bars), une soupape S laisse échapper le gaz dans le circuit d'évacuation des gaz pollués

Volume N₂ : 4,5 m³ TPN Volume H₂ : 4,5 m³ TPN.

3.2. ESSAIS HORS FLUX. — Les premiers essais du dispositif ont été faits hors flux, donc en l'absence de

FIG. 4. — Courbes de refroidissement du système.

chauffage du rayonnement γ . Nous donnons (fig. 4) les courbes de refroidissement des deux circuits en fonction du temps. La courbe relative au circuit azote montre que la liquéfaction complète est obtenue après 4 h 30 (à comparer à 3 h 30 calculées, ce qui représente une augmentation de durée de 22 %; cette augmentation n'est que de 13 % pour l'hydrogène).

Les pertes du cryostat, sur les deux circuits, ont été mesurées à l'aide d'un compteur volumétrique à gaz. Elles sont respectivement :

azote : 61 W hydrogène : 4,75 W

ce qui correspond approximativement à des puissances spécifiques de $4,75 \times 10^{-4}$ W/cm² pour l'hydrogène et 3×10^{-3} W/cm² pour l'azote.

La durée de mise en froid et de remplissage des circuits est assez longue. Cela vient plus particulièrement de la circulation par convection naturelle des gaz dans les circuits.

3.3. RÉSULTATS EN FLUX. — Nous avons, au cours d'une irradiation d'une centaine d'heures, mesuré les

variations de résistivité du tungstène en fonction du temps.

L'échantillon est constitué par un fil (150 μ de diamètre, 17 cm de long) de tungstène brut de tréfilage, isolé dans un tube d'alumine. La détermination de sa résistance est faite par mesure à 4 fils. La valeur du courant est mesurée par l'intermédiaire d'une résistance étalon de 1 Ω , les tensions à l'aide d'un voltmètre numérique (2 401 C) Hewlett-Packard assurant 1 μ V.

Nous avons choisi une pression de régulation sur l'hydrogène (2 450 g/cm²) nettement supérieure à la pression atmosphérique de manière à éviter à coup sûr toute rentrée d'air sur le bain d'hydrogène. Cette pression correspond à une température de 23,8 °K.

On trouvera sur la figure 5 les résultats de cette irradiation. Durant les 3 premières heures (point A, fig. 5), le flux de neutrons était différent de ce qu'il fut pour le reste de l'expérience : inférieur pour la première heure (3×10^{11} nth/cm².s) et supérieur pour les deux suivantes ($1,3 \times 10^{12}$ nth/cm².s). Au-delà, l'échantillon se trouvait dans un flux thermique que nous avons mesuré égal à : $7,4 \times 10^{11}$ nth/cm².s. A ce flux correspond approximativement un flux de neutrons rapides égal à $1,2 \times 10^{11}$ n/cm².s. On notera un début de saturation dans la variation de $\Delta\rho$.

Les variations de résistivité par irradiation du tungstène écroui ont été mesurées à 78 °K [8]. Compte

FIG. 5. — Variation de la résistivité à 23,8 °K en fonction du temps d'irradiation dans le tungstène (1) pur (99,99).

$R_0 = 0,0851 \Omega$ $\rho_0 = 0,8844 \mu\Omega \text{ cm}$.

tenu des incertitudes sur les flux exacts de neutrons rapides dans les deux expériences, les résultats sont relativement comparables.

N. B. — Nous avons remarqué quelques oscillations des valeurs de $\Delta\rho$ entre 3 et 45 heures. Nous avons alors mis en fonctionnement le chauffage fixe (3 W)

(1) Aimablement fournis par M. Perriot G., C.E.N., Saclay.

sur la branche remontante du U (circuit H_2) et ces oscillations ont pratiquement disparu.

Nous attribuons donc ces oscillations à un échange thermique insuffisant entre le fil et l'hydrogène, dû à la mauvaise circulation du fluide d'irradiation. Le chauffage auxiliaire chargé d'accélérer la circulation par effet de pompe à bulles assure donc bien son rôle.

4. Conclusion. — La grande simplicité du réfrigérateur, lié au cycle de Stirling — refroidissement de surfaces sur lesquelles se condensent l'hydrogène et l'azote en circuit fermé — assure un fonctionnement stable. Les risques de « bouchage » sont inexistantes. Le mode de régulation des pressions, c'est-à-dire des températures dans les circuits H_2 et N_2 , fonctionne bien et assure une stabilité de l'ordre de $\pm 0,065$ °K

sur l'hydrogène et de $\pm 0,25$ °K sur la garde d'azote liquide.

Le principe de réfrigération permet la liquéfaction de fluides cryogéniques différents : néon, deutérium... dans le même dispositif d'irradiation. Enfin, l'ensemble décrit est extrêmement compact, ce qui facilite son implantation dans un réacteur.

Remerciements. — Nous remercions nos camarades de laboratoire : MM. Asty ⁽¹⁾, Jousset ⁽¹⁾, Weinberg ⁽¹⁾, pour leur aide lors des mesures de résistivité.

⁽¹⁾ Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, Section de Métallurgie du Plutonium.

Manuscrit reçu le 8 décembre 1966.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOCHIROU (L.), LE CALVEZ (J.), DOULAT (J.), VERDIER (J.), LACAZE (L.), WEIL (L.), Rapport C.E.A., 1964, R. 2514.
- [2] COLTMAN (R. R.), BLEWITT (T. H.), NOGGLE (T. S.), *Rev. Sci. Inst.*, 1957, **28**, 375.
- [3] KLANK (A. C.), BLEWITT (T. H.), MINARIK (J. J.), SCOTT (T. L.), International Institute of refrigeration, Com. I, 13-18 juin 1966, Boulder, à paraître.
- [4] DOLL (R. von), MEISSNER (H.), RIEHL (N.), SCHILLING (W.), SCHMEISSNER (F.), *Z. Angew. Physik*, 17 Band, 5 Heft, 1964, S. 321-329.
- [5] DECKER (W.), DIEHL (J.), LEITZ (Ch.), HAIN (K.), KATHEDER (H.), Rapport KFK 463. Max Planck institut für Metallforschung, Karlsruhe.
- [6] CONTE (R. R.), Cryogenic Engineering Conferences, juin 1966, Boulder.
- [7] CONTE (R. R.) et DURAL (J.), Rapport C.E.A., à paraître.
- [8] THOMPSON (M. W.), *Phil. Mag.*, 1960, **5**, 51, 278.