

PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Cellule à hydrogène liquide dans la pile
EL 3 de Saclay

par

B. JACROT, A. LACAZE et L. WEIL

Rapport CEA n° **1361**

1960

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY
SERVICE DE DOCUMENTATION
Boîte postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et O.)

CEA 1361 - JACROT B., LACAZE A., WEIL L.

Cellule à hydrogène liquide dans la pile EL3 de Saclay (1960).

Sommaire. — Description et résultats concernant la cellule à hydrogène liquide de EL3 utilisée pour obtenir des neutrons lents.

CEA 1361 - JACROT B., LACAZE A., WEIL L.

The liquid hydrogen cell in the EL3 Saclay reactor (1960).

Summary. — Description and results in connection with the liquid hydrogen cell, for obtaining slow neutrons, in the EL3.





Reprinted from

Extrait des

**PROCEEDINGS OF THE 10th INTERNATIONAL CONGRESS OF REFRIGERATION
COMPTES RENDUS DU 10^e CONGRES INTERNATIONAL DU FROID**

Copenhagen 1959

Copenhague 1959

Volume 1

Tome 1

COPYRIGHT PERGAMON PRESS LTD., LONDON, 1960

Cellule à hydrogène liquide dans la pile EL3 de Saclay

Liquid Hydrogen Cell of the Pile EL3 of Saclay

B. JACROT, A. LACAZE et L. WEIL

Université de Grenoble et Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, France

SUMMARY. Description and results in connection with the liquid hydrogen cell, for obtaining slow neutrons, in the EL3.

Dans un grand nombre d'expériences de Physique du Solide, telles que le tracé du diagramme de phonons, il est intéressant de pouvoir travailler avec des neutrons de très basse énergie, de l'ordre de 10^{-3} électrons-volts (longeurs d'onde associées de quelques angströms). Or, en raison de la température du ralentisseur, ces neutrons très lents sont peu nombreux dans les spectres de neutrons produits par les diverses piles expérimentales. Le meilleur moyen d'«enrichissement» consiste à placer une cellule avec de l'hydrogène liquide, ou, éventuellement du deutérium liquide, dans une zone de la pile où règne une forte densité de neutrons thermiques. Le ralentissement résulte de leur mise en équilibre à 20° K. Le volume d'hydrogène liquide nécessaire est assez petit car le libre parcours des neutrons est petit (de l'ordre du cm) dans cette substance. Il suffit d'écrire la loi de Maxwell pour se rendre compte que l'on obtiendra ainsi un maximum à une longueur d'onde de 6 \AA environ. Expérimentalement, la possibilité du ralentissement a été vérifiée par Butterworth *et al* [1] sur une cible à hydrogène liquide dans une pile de faible puissance (BEPO, $1,3 \cdot 10^{12}$ neutrons/cm²); le volume d'hydrogène liquide utilisé pour obtenir

une densité raisonnable de neutrons était de 100 cm^3 . Nous avons cherché à réaliser une installation pouvant assurer d'une manière aussi automatique que possible une grande durée de fonctionnement, atteignant plusieurs jours sans interruption, et à mettre à profit un faisceau de neutrons thermiques important, malgré le dégagement de chaleur important qui en résulte. Nous avons utilisé un canal de la pile EL3 de Saclay ayant un flux de neutrons thermiques de 10^{14} neutrons par cm^2 .

LE DISPOSITIF GENERAL ADOPTE

A l'intérieur du canal dont la figure 1 ci-jointe donne le schéma, nous avons placé un ensemble fermé B, partie aluminium - côte coeur - et partie acier. A l'intérieur, en C, une boîte cylindro-sphérique d'environ 400 cm^3 est alimentée en hydrogène liquide par l'intermédiaire d'une ligne comprenant:

a) à l'intérieur de la pile des tubes placés sur supports isolants dans des rainures ménagées dans la partie acier du "bouchon" B, tubes dont l'isolement thermique est simplement assuré par le vide établi à l'intérieur de celui-ci.

b) à l'extérieur de la pile, sur environ deux ou trois mètres, de simples tubes isolés à vide d'un modèle courant.

c) sur un trajet de 25 mètres entre la pile et le liquéfacteur situé, pour des raisons de sécurité, à l'extérieur du hall pile, un pipe-line qui fait l'objet d'une communication indépendante.

Le retour d'hydrogène vaporisé au ballast du liquéfacteur se fait, hors de la pile, sans protection thermique.

L'ISOLEMENT DE LA CELLULE

Pour obtenir dans la cellule une quantité d'hydrogène liquide raisonnable, c'est-à-dire non soumise à une ébullition trop importante, il était nécessaire de réduire au minimum l'apport de chaleur extérieur. Celui-ci provient de la conduction par les cales de centrage, des échanges de chaleur par rayonnement thermique, enfin de l'énergie apportée tant dans le métal de l'enceinte C que dans l'hydrogène qu'elle contient par les rayons gamma et les neutrons rapides.

Un calcul basé sur des expériences antérieures et des considérations théoriques a montré que, même pour l'aluminium, un des métaux les plus favorables que l'on puisse utiliser, les pertes dues à ce dernier facteur étaient encore de l'ordre de $0,2 \text{ Watt/gramme}$, soit pour l'ensemble de la boîte utilisée, pourtant réalisée avec une épaisseur de $5/10^e$, épaisseur minimum, compte-tenu de sa forme et de la nécessité de soudures, une perte de 12 Watts ; par ailleurs la dissipation de puissance dans l'hydrogène liquide est de l'ordre de 30 Watts . Le tout correspond à une vaporisation d'un peu plus de 5 l/heure . En comparaison avec ces pertes, toutes les autres apparaissent négligeables. En particulier, celles par rayonnement thermique ne sont encore que de l'ordre du watt (même avec un pouvoir émissif de $0,1$) à condition toutefois que le bout en aluminium de l'enceinte B reste à une température voisine de l'ambiante. Or, nous avons dû donner, pour des raisons de sécurité, à cette partie une épaisseur considérable (12 mm) lui permettant de résister à une surpression de l'ordre d'une centaine d'atmosphères. Elle s'échauffe donc considérablement sous l'effet du rayonnement gamma et ne peut céder la chaleur à l'extérieur, si on ne prend aucune précaution particulière, sans que sa température monte à 200 ou 300° , mettant d'une part en cause l'isolement thermique de C au point de vue rayonnement thermique, et, d'autre part la sécurité elle-même en raison du recuit du métal. En établissant un contact intime à l'aide d'un liant entre l'extrémité en aluminium de B et le doigt de gant solidaire de la cuve d'eau lourde de la pile, on arrive à maintenir la température aux environs de 150° C . Nous avons rajouté, à l'intérieur, et autour de C, un écran en aluminium E, refroidi par une circulation d'air, ramenant ainsi à une valeur négligeable l'apport de chaleur rayonnée.

Enfin, les cales de centrage sont en acier inoxydable.

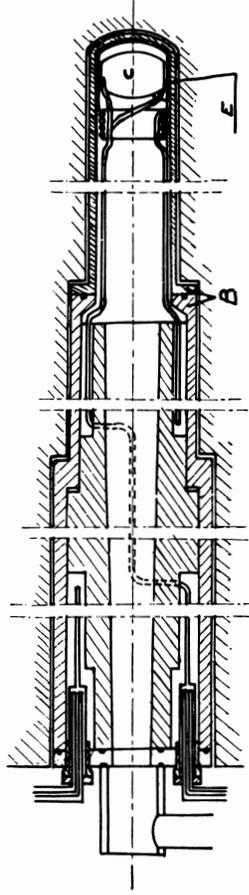


Fig. 1. Schéma de l'intérieur du canal.

PRINCIPE DE LA REGULATION

L'hydrogène est liquéfié à vitesse constante par un liquéfacteur T.B.T. classique, équipé toutefois de compresseurs à membrane Corblin, pour éviter toute souillure par l'huile de graissage qui serait, s'accumulant à l'intérieur de la pile, une sérieuse cause de perturbation. Cet hydrogène est acheminé vers la boîte terminale du pipe-line (*voir* publication indépendante). Dans cette boîte terminale, la fraction vaporisée est séparée et renvoyée vers le liquéfacteur et une pompe puise l'hydrogène liquide et le refoule dans la cellule C. La régulation se fait selon les principes suivants:

1°) maintien à un niveau constant de l'hydrogène à l'intérieur de la boîte terminale du pipe-line.

2°) mise en fonctionnement de la pompe jusqu'à ce que la cellule à hydrogène liquide dans la pile soit pleine. Pendant une vingtaine de minutes (Fig. 3) on refroidit en mettant la pompe en marche durant des temps courts; lorsque la cellule est pleine on observe un palier de neutrons diffusés (Fig. 3); on vérifie le remplissage au bulbe t_1 (Fig. 2), à tension de vapeur d'hydrogène, réuni à un des tubes de sortie. Le contrôle d'alimentation est actuellement manuel mais son automatisme est en cours.

Dans la réalisation actuelle, le contrôle du liquéfacteur reste effectué manuellement et on peut réduire son débit, actuellement 12 litres/heure maximum.

A l'arrêt de l'installation et après réchauffage, une pression de 2 atm. absolues s'établit dans l'ensemble du circuit hydrogène.

Plusieurs dispositifs de sécurité ont été prévus. En dehors de ceux qu'il est clas-

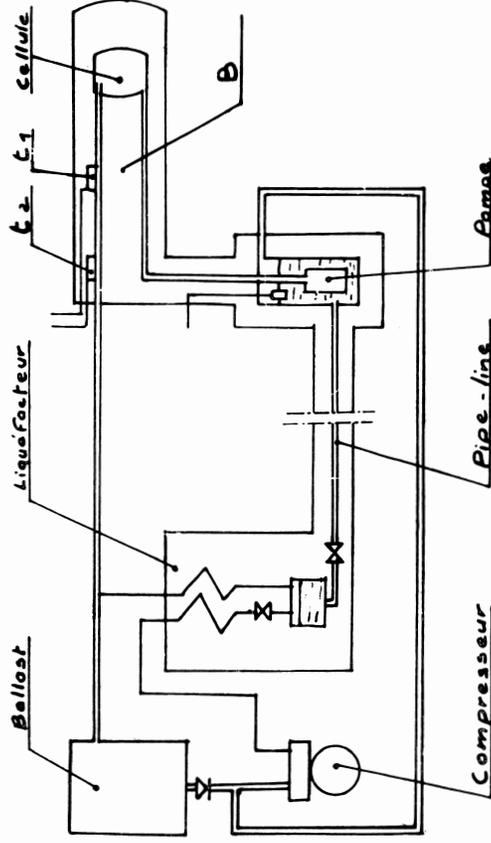


Fig. 2. Dispositifs de remplissage de la boîte.

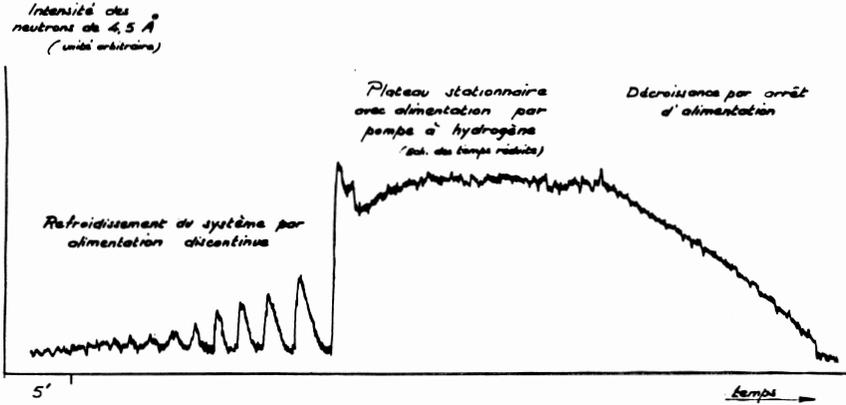


Fig. 3.

sique d'envisager, signalons celui qui nous a conduits, en raison du très bon isolement de la cellule à hydrogène placée dans la pile, à faire tomber le vide d'isolement dans l'enceinte B, dès que l'hydrogène ne circule plus. En effet, à ce moment-là, la douzaine de watts dissipés par absorption des gamma entraînerait le recuit de l'aluminium de la cellule C. Le métal fluerait sous la pression d'hydrogène à l'arrêt. Le vide d'isolement est supprimé grâce à l'introduction automatique d'une petite quantité d'hélium (pression de 10^{-3} mm). Lors de la mise en route des dispositifs de régulation automatique permettent d'établir le vide à l'intérieur de la pile aussitôt que l'hydrogène froid se met à circuler: un deuxième bulbe t_2 à azote est placé à cet effet sur le circuit d'hydrogène à l'intérieur de la pile et permet de contrôler la température du gaz qui circule.

RESULTATS OBTENUS

Nous avons fait les mesures de gain à deux longueurs d'onde, respectivement 4,7 et 5,7 Å. Le gain mesuré a été de 7 et de 15. Il est intéressant de remarquer que les gains ainsi obtenus sont remarquablement stables. Ces gains sont toutefois inférieurs à ceux que l'on pouvait espérer théoriquement, soit 28 et 55. Des raisons de cet écart sont:

- 1° la capture dans l'hydrogène qui fait perdre environ 25 %.
- 2° le fait que la boîte d'hydrogène n'est pas dans un flux isotrope.
- 3° le fait que le volume d'hydrogène est trop petit pour assurer une thermalisation complète.
- 4° L'influence de la variation du taux d'ortho-hydrogène a été mise en évidence d'une façon particulièrement suggestive par la lente décroissance de l'intensité, de l'ordre du pour cent à l'heure, correspondant à une progression de la transformation ortho-para au cours d'un fonctionnement prolongé du liquéfacteur. En effet, l'ortho-hydrogène a une beaucoup plus grande interaction que le parahydrogène avec les neutrons lents.

CONCLUSION

En définitive, l'installation réalisée a fonctionné pendant plusieurs centaines d'heures. Nous avons d'ores et déjà obtenu des renseignements sur le spectre de phonons dans les solides, renseignements qui feront l'objet d'une publication indépendante.

BIBLIOGRAPHIE

1. BUTTERWORTH, I., EGELSTAFF, P. A., LONDON, H. and WEBB, F. J. *Phil. Mag.*, **2**, 917, 1957.