



**HAL**  
open science

## Étude de la densité de neutrons dans la pile de Chatillon

A. Ertaud, R. Beaugé

► **To cite this version:**

A. Ertaud, R. Beaugé. Étude de la densité de neutrons dans la pile de Chatillon. *J. Phys. Phys. Appl.*, 1952, 13 (S2), pp.10-13. 10.1051/jphysap:0195200130201000 . jpa-00212588

**HAL Id: jpa-00212588**

**<https://hal.science/jpa-00212588>**

Submitted on 4 Feb 2008

**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.

## ÉTUDE DE LA DENSITÉ DE NEUTRONS DANS LA PILE DE CHATILLON

Par A. ERTAUD et R. BEAUGÉ.

Commissariat à l'Énergie atomique.

**Sommaire.** — La répartition de la densité de neutrons dans la pile de Châtillon a été étudiée à l'aide de détecteurs de manganèse, préalablement étalonnés à l'aide d'une source ( $Ra \rightarrow \alpha \rightarrow Be$ ) dans une cuve à eau.

Les résultats sont donnés sous forme de courbes de variation de densité dans les parties accessibles de la pile. De ces courbes, on déduit un étalonnage des appareils de mesure du tableau de commande et la valeur expérimentale du laplacien de la pile.

**Méthode employée.** — Pour déterminer la densité des neutrons dans les régions accessibles de la pile de Châtillon <sup>(1)</sup> (réflecteur, colonne diffusante et tube central), nous avons utilisé la méthode suivante :

a. On étalonne une série de détecteurs de manganèse à l'aide d'une source ( $Ra \rightarrow \alpha \rightarrow Be$ ) dans une cuve à eau;

b. Les détecteurs ainsi étalonnés sont placés dans les régions à étudier et leur activité après irradiation est mesurée au compteur G. M. L'étalonnage préalable de ces détecteurs permet alors de déterminer la densité de neutrons régnant dans la région où étaient placés les détecteurs.

**Étalonnage des détecteurs.** — Nous avons utilisé deux sortes de détecteurs de manganèse relativement épais (alliage à 10 pour 100 de nickel; dimensions :  $11 \times 13$  mm; poids : 200 mg; épaisseur :  $0,135$  g : cm<sup>2</sup>, dont  $0,121$  g : cm<sup>2</sup> de manganèse) et des détecteurs plus minces réalisés par dépôt d'acétate de manganèse sur plexiglas ( $0,01$  g de manganèse par centimètre carré). Quatre de ces détecteurs ont été étalonnés dans une cuve à eau à l'aide d'une source  $Ra \rightarrow \alpha \rightarrow Be$  de 621 mC. Les détecteurs sont placés à 10 cm de la source (maximum de densité).

La densité de neutrons à 10 cm de la source, dans la cuve, a été prise égale à  $0,0492$  neutrons par centimètre cube [d'après les résultats des mesures faites par R. Cohen <sup>(2)</sup>].

Comme nous avons utilisé un assez grand nombre de détecteurs, il a semblé plus simple de les étalonner dans un champ neutronique plus commode à manipuler. Ce champ était constitué par un bloc de paraffine de  $20 \times 20 \times 25$  cm dans lequel était placée une source  $Ra \rightarrow \alpha \rightarrow Be$ . Les quatre détecteurs mentionnés ci-dessus ont servi à établir la correspondance entre les deux champs utilisés.

<sup>(1)</sup> Pour la description de la pile, voir L. KOWARSKI, *J. Physique Rad.*, 1951, 12, 751-755.

<sup>(2)</sup> R. COHEN, *Thèse*, Paris, 1951.

**Régions étudiées.** — La densité de neutrons a été mesurée dans les régions suivantes :

1° Dans les canaux expérimentaux ménagés dans le réflecteur;

2° Dans la colonne diffusante;

3° Dans le tube creux placé sur l'axe de la pile.

**Mesure de la densité de neutrons dans le réflecteur et la colonne diffusante.** — Les canaux expérimentaux de la pile peuvent être obturés complètement à l'aide de blocs de graphite (dimensions :  $99 \times 99 \times 600$  mm). Les détecteurs sont placés dans des fentes ménagées dans ces blocs. Les positions relatives des canaux expérimentaux ménagés dans le réflecteur sont données (*fig. 1* et *2*). Les détecteurs ainsi disposés sont irradiés suivant les cas, pendant 15 ou 30 mn et une correction est faite pour ramener la valeur des comptages à la saturation.

La courbe (*fig. 3*) montre la répartition des densités de neutrons en valeur relative dans les canaux nos 3 et 7.

La courbe (*fig. 4*) montre cette répartition dans le canal tangentiel n° 5 et la courbe (*fig. 5*), dans le canal tangentiel n° 1. Cette dernière courbe traduit la variation de densité de neutrons lorsqu'une des plaques est complètement enfoncée.

La courbe (*fig. 6*) montre la répartition de la densité de neutrons sur l'axe de la colonne diffusante. La variation de densité étant très grande dans la colonne diffusante, cette courbe est tracée à deux échelles différentes.

**Mesure de la densité de neutrons dans le tube central.** — La figure 7 représente la répartition de la densité de neutrons dans le tube central. On vérifie aisément que cette courbe est une sinusoïde; la théorie élémentaire prévoit cette forme dans les cas les plus simples.

Les courbes de variation des densités de neutrons

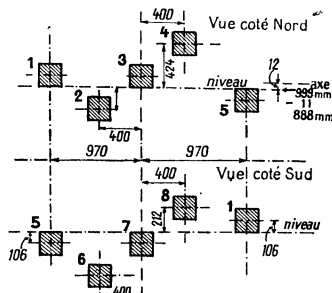


Fig. 1.

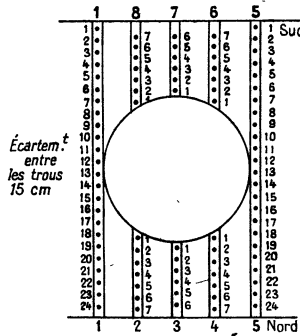


Fig. 2.

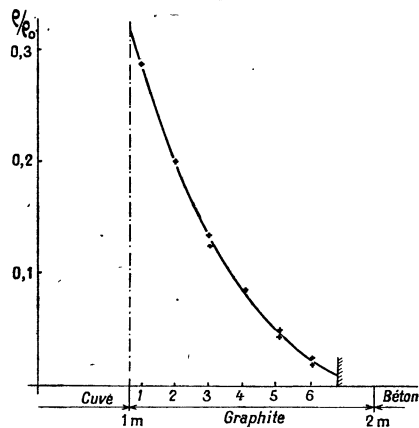


Fig. 3.

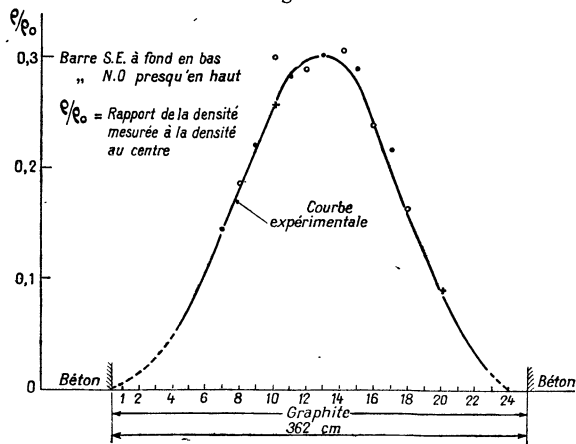


Fig. 4.

relevées comme nous l'avons indiqué, suffisent lorsqu'on utilise la pile comme source de neutrons,

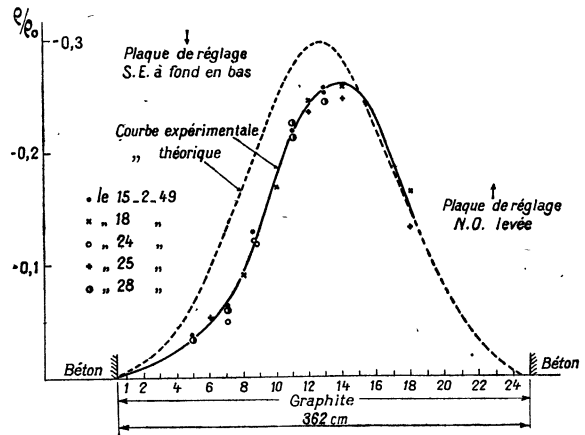


Fig. 5.

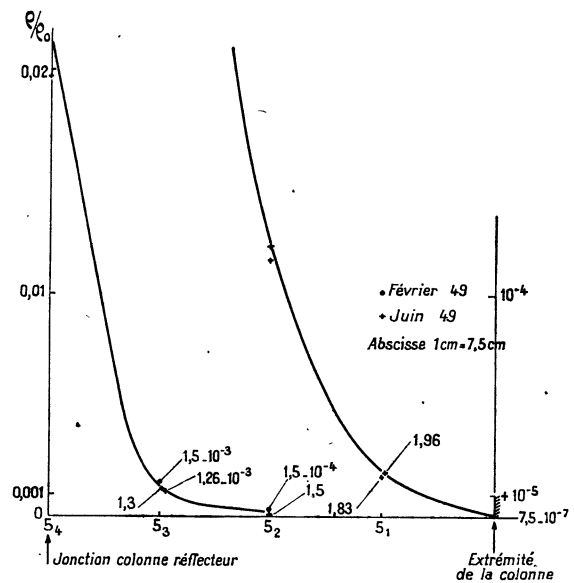


Fig. 6.

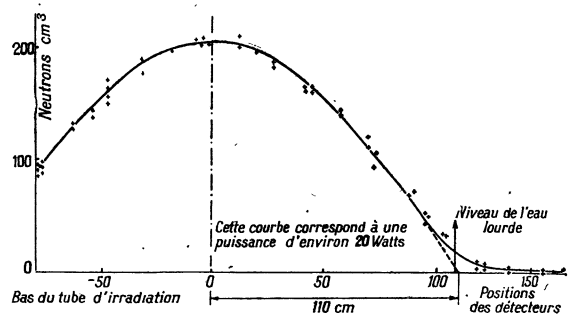


Fig. 7.

soit pour faire des expériences, soit pour la fabrication de radioéléments. On peut se contenter de graduer les appareils du tableau en flux de neutrons

au centre, par exemple, et l'on pourra en déduire immédiatement le flux de neutrons en un point de la pile dans les régions où les mesures de densité ont été faites.

On peut aussi chercher à caractériser la pile par sa puissance pour une valeur donnée du flux maximum et graduer les appareils en puissance.

On trouvera en annexe la relation entre la densité des neutrons et la puissance de la pile.

**Détermination expérimentale du laplacien.** — Rappelons que dans la théorie de la diffusion des neutrons thermiques appliquée à un milieu multiplicateur, la solution de l'équation

$$\nabla^2 n + \chi^2 n = 0 \quad (1)$$

donne la distribution des neutrons.  $\chi^2$  est appelé le laplacien qui caractérise la pile. Le relevé des densités permet une détermination expérimentale de ce laplacien (3). L'équation précédente admet comme solution, dans le cas d'une pile cylindrique de rayon  $R$  et de hauteur  $H$ ,

$$n = n_0 J_0 \left( j_{0,1} \frac{r}{R} \right) \sin \left( \frac{\pi z}{H} \right),$$

$J_0$  étant la fonction de Bessel de première espèce et  $j_{0,1}$  son premier zéro,  $R$  et  $H$  étant respectivement le rayon et la hauteur d'une pile nue ayant même laplacien que la pile réelle. Le laplacien est donné par

$$\chi^2 = \frac{j_{0,1}^2}{R^2} + \frac{\pi^2}{H^2}$$

en admettant que la répartition de densité dans la pile réelle est aussi représentée par le produit d'une fonction de Bessel et d'un sinus.

Le relevé expérimental de la densité de neutrons sur l'axe de la pile permet de vérifier que cette densité suit bien une loi en sinus. La figure 7 montre que  $H$  (hauteur de la pile nue correspondante) sera égale à 220 cm.

La disposition de la pile rend impossible le relevé de la densité suivant un rayon, mais on peut mesurer le rapport des densités au bord et au centre. Ce rapport est égal à 0,37. Le rayon de la pile nue correspondante sera donné par

$$0,37 = J_0 \left( j_{0,1} \frac{91}{R} \right),$$

soit  $R = 125$  cm. D'où

$$\chi^2 = \left( \frac{2,405}{125} \right)^2 + \left( \frac{\pi}{220} \right)^2 \approx 5,8 \text{ m}^{-2}.$$

(3) Cette méthode a été utilisée entre autres, par F. C. COLMER et D. J. LITTLER, *Nucleonics*, 1951, 8 (1), 3.

Ces mesures correspondent à une température moyenne de la pile de 40° C.

*Nota.* — On peut aussi déterminer le laplacien correspondant à une température différente en utilisant les résultats de l'étude cinétique de la pile (4).

## ANNEXE.

**Relation entre la densité des neutrons et la puissance de la pile.** — La mesure de la densité des neutrons sur l'axe de la pile permet de relier la densité de neutrons au point de densité maximum, à la puissance dégagée par la pile. Nous donnons dans cette annexe le calcul qui conduit à cette correspondance.

Soit  $\bar{n}_0(h)$  la densité moyenne de neutrons thermiques dans la section d'une barre d'oxyde d'uranium à la cote  $h$  (comptée à partir de la surface libre de l'eau lourde). Le nombre de fissions produites par seconde dans cette barre sera

$$F = \int_0^H \bar{n}_0(h) \sigma_f N_0 \nu S dh, \quad (1)$$

où

$\sigma_f$ , section efficace de fission de l'U pour les neutrons thermiques;

$N_0$ , nombre de noyaux d'uranium par centimètre cube;

$S$ , section de la barre d'oxyde d'uranium en centimètres carrés;

$\nu$ , vitesse standard des neutrons ( $\nu = 2200 \text{ m} : \text{s}$ );

$H$ , hauteur de la barre d'oxyde d'uranium immergée.

Si l'on appelle  $F_0$  le nombre de fissions par seconde produites dans le barreau central supposé en place, on aura, pour un barreau dont l'axe sera situé à la distance  $r$  de celui du barreau central,

$$F_r = F_0 J_0 \left( j_{0,1} \frac{r}{R} \right), \quad (2)$$

$J_0$  étant la fonction de Bessel de première espèce,  $R$  le rayon de la pile nue, déjà déterminé expérimentalement lors du calcul du laplacien ( $R = 125$  cm).

Il suffira pour avoir le nombre de fissions total correspondant à une densité moyenne  $\bar{n}_0(h)$  dans la barre centrale, de calculer  $F_r$  pour chaque barre et de faire la somme des résultats obtenus.

En fait, la mesure possible à laquelle on peut relier le plus facilement la densité moyenne dans

(4) A. ERTAUD, R. BEAUGÉ, H. FAUQUEZ et L. VAUTREY, *J. Physique Rad.*, 1951, 12, 17 A-25 A.

la barre d'oxyde d'uranium est la densité le long de cette barre. Nous emploierons la théorie élémentaire de la diffusion (*voir*, par exemple, A. M. Weinberg, rapport déclassé MDDC 1071).

Si  $\mathcal{L}_0$  est l'inverse de la longueur de diffusion des neutrons thermiques dans l'oxyde d'uranium et si l'on admet que les sources sont réparties uniquement dans le ralentisseur, l'équation régissant la distribution des neutrons thermiques dans la barre sera

$$\nabla_{n_0}^2 \mathcal{L}_0^2 n_0 = 0$$

dont la solution sera

$$n_0(r) = A_1 I_0(\mathcal{L}_0 \cdot r), \quad (3)$$

$A_1$  étant une constante et  $I_0$  la fonction de Bessel de 2<sup>e</sup> espèce. Posons  $x = \mathcal{L}_0 a$ ,  $a$  étant le rayon de la barre d'oxyde d'uranium; si  $n_a$  est la densité le long de la barre, on a

$$A_1 = \frac{n_a}{I_0}(x) \quad (4)$$

et la densité moyenne dans une section droite de la barre sera donnée en fonction de la densité sur le bord par la formule suivante :

$$\bar{n}_0 = \frac{2 n_a I_1(x)}{x I_0(x)} \quad (5)$$

En fait, la densité a été mesurée sur la paroi externe d'un tube d'aluminium contenant l'oxyde d'uranium, soit  $n_A$  cette densité.

La condition de continuité du flux au contact aluminium-oxyde d'uranium permet, en admettant une variation linéaire de densité dans l'épaisseur du tube, d'écrire le rapport entre la densité  $n_A$  le long de la barre et la densité  $n_0$  moyenne dans l'oxyde d'uranium, soit

$$\frac{n_A}{n_0} = \frac{x I_0(x)}{2 I_1(x)} + \frac{2t \mathcal{L}_0}{2} \frac{l_{S_0}}{l_{S_1}} \quad (6)$$

( $l_{S_1}$  et  $l_{S_0}$  étant respectivement les libres parcours moyens dans l'aluminium et dans l'oxyde d'uranium).

Le deuxième terme représente l'effet de l'aluminium.

Le calcul a été fait en adoptant les valeurs suivantes :

Section de capture (y compris la fission de l'U) : 7,2 barns (5);

Section de diffusion de l'uranium : 8,2 barns (5);  
Section de diffusion de l'oxygène : 4,1 barns;  
Section de capture de l'oxygène : 0,001 barn;  
Densité de l'oxyde d'uranium : 8,3;  
 $a$  (rayon des pastilles d'uranium) : 3,3 cm;  
 $t$  (épaisseur de la gaine d'aluminium) : 0,16 cm.

On trouve ainsi

$$\frac{n_A}{n_0} = 1,17. \quad (7)$$

Nous pouvons alors écrire l'équation (1) sous la forme

$$F_0 = \int_0^H \frac{n_A(h)}{1,17} \sigma_f N_0 \nu S dh. \quad (8)$$

On peut admettre que la variation de  $n_A(h)$  en fonction de  $h$  est la même que celle qui est relevée dans le tube central (courbe *fig. 7*) et se confond avec une portion de sinusoïde dans la partie active de la pile. L'équation (8) donne alors une relation entre le nombre de fissions dégagé par seconde dans la barre centrale et la densité à un point quelconque de la surface de cette barre (densité maximum, par exemple).

De plus, la formule (2) permet de calculer le nombre de neutrons dégagés par seconde dans une barre quelconque pour une densité donnée sur la paroi de la barre centrale. Si l'on admet alors que  $3 \cdot 10^{10}$  fissions par seconde dégagent une puissance de 1 W, on pourra calculer facilement la densité maximum sur la paroi de la barre centrale correspondant à cette puissance. Le calcul fait en sommant sur toutes les barres donne pour la densité maximum sur la paroi de la barre centrale correspondant à une puissance de 1 W : 11,3 neutrons par centimètre cube.

Nous avons mesuré, au moyen d'un détecteur étalonné en densités absolues (*voir* au début), la densité maximum sur la paroi de la barre centrale, pour un certain niveau de puissance de la pile. En relevant, en même temps, l'indication de la chambre à trifluorure de bore qui sert à mesurer (en unités relatives) la puissance et en comparant les deux indications, nous arrivons à étalonner la chambre en unités de puissance.

Manuscrit reçu le 21 juillet 1951.

(5) *Atomics*, janv. 1951, p. 15.