

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 64 (1948-1950)
Heft: 274

Artikel: Mesure d'un flux de neutrons et de la valeur relative d'une section efficace par la méthode photographique
Autor: Haenny, C. / Klement, O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-273976>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

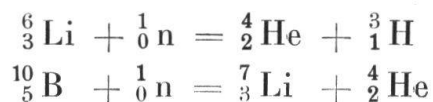
Mesure d'un flux de neutrons et de la valeur relative d'une section efficace par la méthode photographique

PAR

Ch. HAENNY et O. KLEMENT

(Séance du 16 février 1949)

La mesure d'un flux de neutrons ne peut se faire qu'en utilisant l'un des effets secondaires des neutrons conduisant à une ionisation mesurable : la radioactivité provoquée, les chocs entre neutrons et noyaux légers (noyaux d'hydrogène) ou une réaction nucléaire donnant naissance à une particule chargée rapide. La mesure est d'autant plus facile et précise que les effets ionisants secondaires seront plus importants. Les réactions utilisées devront présenter un rendement aussi élevé que possible et les particules ionisantes devront avoir un parcours aussi grand que possible. Les collisions élastiques avec les noyaux légers ne pourront servir que pour le dosage des neutrons rapides à l'exclusion des neutrons lents et des neutrons thermiques dont l'énergie cinétique correspond à celle des atomes et molécules du milieu ambiant. Tandis que la plupart des réactions nucléaires ont un rendement très variable qui n'est pas une fonction simple de la vitesse des neutrons, certaines présentent dans le domaine des neutrons lents et thermiques un rendement qui croît avec régularité proportionnellement à l'inverse de la vitesse des neutrons. C'est le cas pour les deux réactions suivantes :



qui sont généralement mises en œuvre pour la mesure des neutrons lents et thermiques à l'aide d'une chambre d'ionisation ou d'un tube compteur rempli d'un composé gazeux du B ou du Li. Le trifluorure de bore est communément utilisé à cet effet. Les appareils lorsqu'ils sont petits, sont peu sensibles et peu précis, et lorsqu'ils sont d'un grand volume, ils ne permettent pas de travailler dans des conditions de bonne géométrie.

Tableau 1.

Composition des émulsions « Ilford for Nuclear Research »

en g/cc	sel de Lithium incorporé	sel de Bore incorporé
Ag	1,80	1,69
Br	1,31	1,22
I	0,051	0,046
C	0,26	0,25
H	0,045	0,051
O	0,35	0,35
S	0,071	0,009
N	0,08	0,061
Li	0,031	
Na		0,048
B		0,045

Chaque noyau de B 10 (ou de Li 6) qui réagit donne naissance à un noyau de Li 7 et à un hélium (pour le Li, un triton et un hélium) rapides dont les trajectoires partent du noyau et s'en vont en directions opposées (conservation de la quantité de mouvement). L'ionisation courante produite tout au long de ces trajectoires crée une « image » latente analogue à celle produite par la lumière. La plaque photographique développée et fixée, regardée au microscope à fort grossissement, présente des traces noires faites des grains d'argent développés tout au long des trajectoires parcourues par les particules chargées. Les figures 2 et 3 montrent ce que l'on observe ainsi dans le cas du bore ou celui du lithium.

La vision oculaire permet de distinguer avec beaucoup de sûreté les traces des grains très espacés du voile photographique.

Les fragments de traces les plus épais correspondent aux trajectoires parcourues par les particules les plus fortement chargées. Pour une réaction donnée, celle du bore par exemple, les diverses traces ne sont pas toutes rigoureusement de la même longueur. Les variations résultent d'une part du phénomène connu en radioactivité sous le nom de fluctuations de parcours et d'autre part du fait que l'un des noyaux (ici le Li 7) peut être formé dans la réaction à un état excité. Il retient une certaine énergie qui est émise par la suite sous la forme de radiations gamma qui n'impressionnent que peu ou pas l'émulsion photographique. La réaction du bore donne lieu ainsi à des groupes de particules de vitesse initiale différente ce qui explique l'existence des deux maxima de la courbe de répartition du nombre des traces en fonction de la longueur (figure 4). La plupart des traces ont des longueurs

comprises entre 6 et 8 μ , cependant on peut considérer que toutes les traces longues de 4 à 10 μ correspondent à la réaction du bore 10. Le nombre de traces que l'on peut comp-

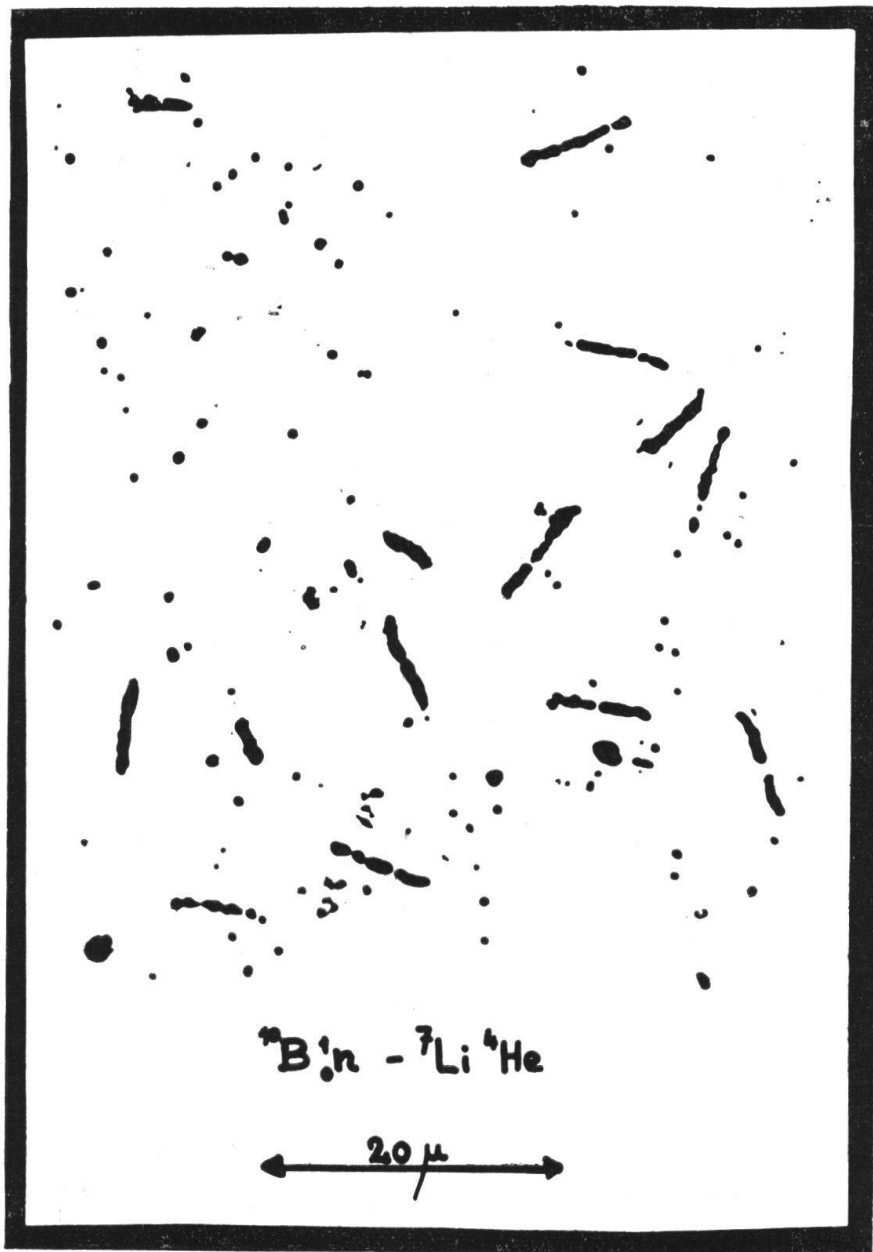


FIG. 2. — Traces produites dans l'émulsion par la réaction entre le bore 10 et les neutrons thermiques.

ter par unité de surface est proportionnel : à la concentration en bore, au nombre des neutrons qui ont traversé l'émulsion (si le flux des neutrons est constant, le nombre des traces sera directement proportionnel à la durée de l'irradiation),

au rendement de la réaction. En physique nucléaire, le rendement d'une réaction donnée s'exprime mieux à l'aide d'une grandeur que l'on appelle la section efficace σ .

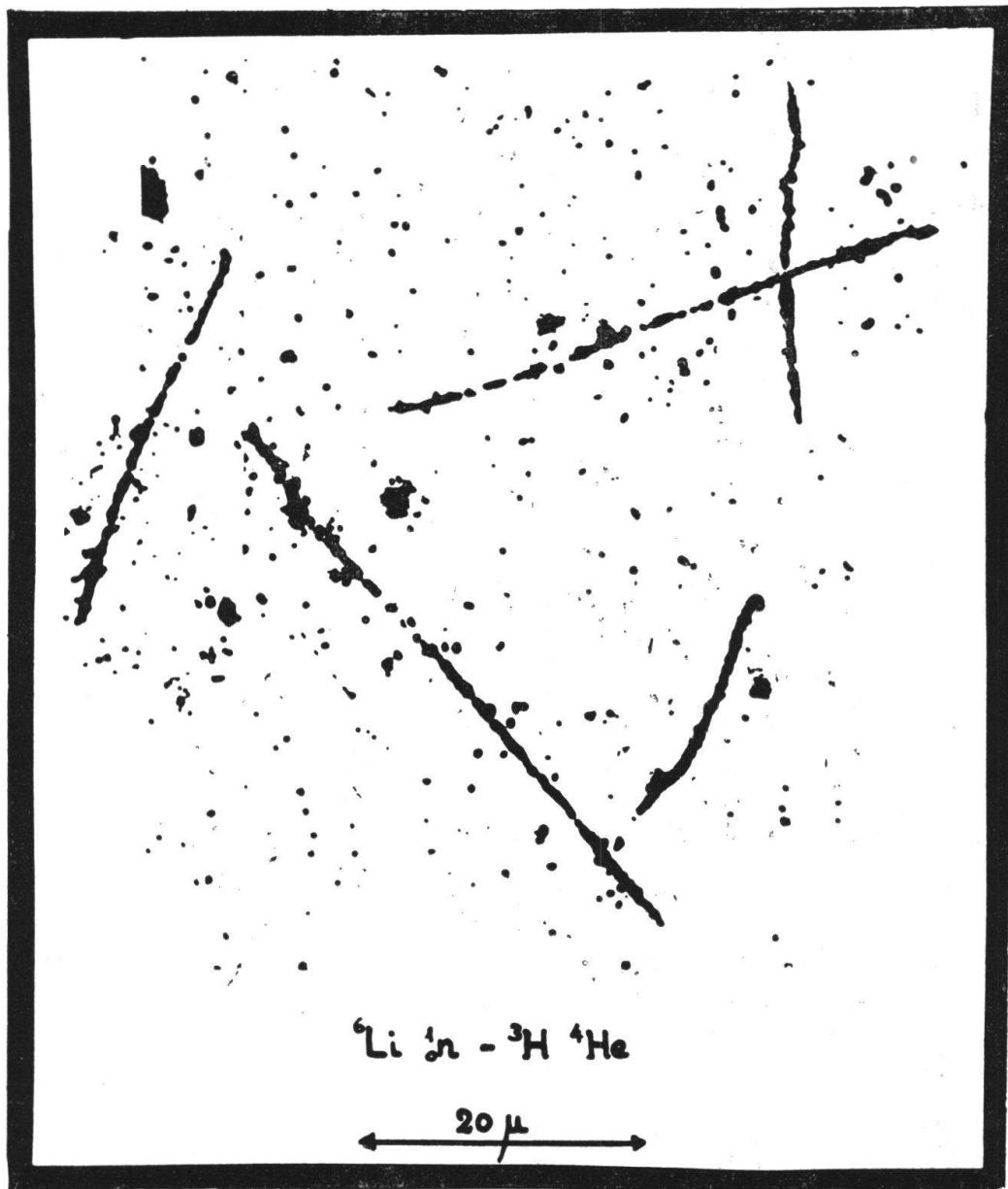


FIG. 3. — Traces produites dans l'émulsion par la réaction entre le lithium 6 et les neutrons thermiques.

Soit un faisceau de particules de même nature frappant une cible très mince, si

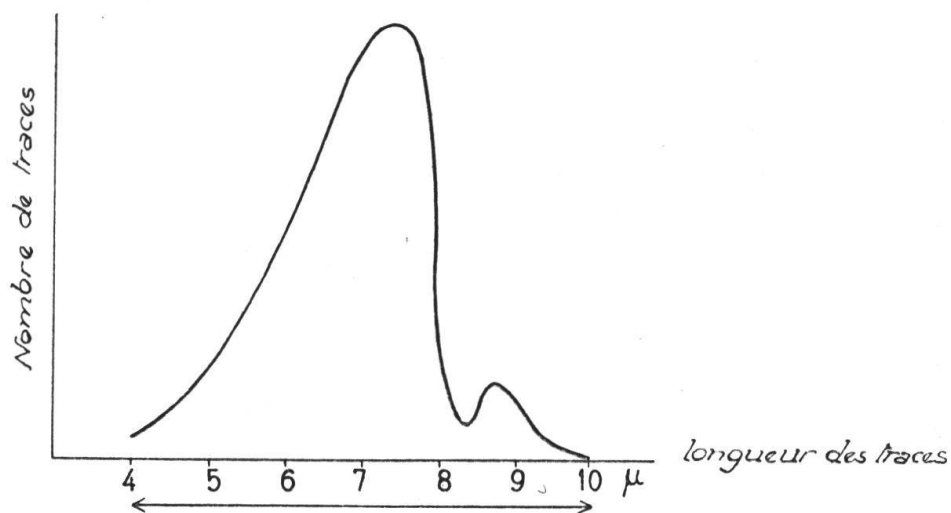
Φ = flux de neutrons incidents, soit le nombre de neutrons incidents par sec. et par cm^2 ;

n_c = nombre de noyaux par cm^2 de la cible ;

N = nombre des réactions nucléaires produites par sec. et par cm^2 de la cible.

$$\sigma = \frac{N}{\Phi \cdot n_c} \text{ cm}^2$$

La section efficace a la dimension d'une surface. Elle traduit la probabilité pour qu'une réaction donnée ait lieu entre un neutron et un des noyaux considérés. La section efficace varie avec l'énergie cinétique des neutrons incidents.



Courbe de distribution des parcours

FIG. 4.

Pour le B 10 et pour le Li 6, σ est proportionnelle à l'inverse de la vitesse des neutrons lents.

La couche d'émulsion photographique de 50 ou de 100 μ constitue une couche très mince pour les neutrons. Si N est mesuré par le dénombrement des traces produites dans l'émulsion par la réaction du B 10 ou par celle du Li 6, il est évident que connaissant la section efficace σ relative à la réaction utilisée on aura :

$$\Phi = \frac{N}{\sigma \cdot n_c}$$

c'est-à-dire le flux de neutrons dans les conditions où la plaque aura été exposée.

La valeur de la section efficace est de mieux en mieux connue pour les différentes vitesses des neutrons. Le nom-

bre de noyaux de B 10 par cm^2 de plaque est déterminé par l'analyse chimique. La précision de la mesure d'un flux de neutrons est essentiellement liée à la détermination de N. L'erreur commise sur cette dernière grandeur est tout d'abord due à la fluctuation radioactive ; l'écart type étant exprimé par la racine carrée du nombre total des traces comptées, il en faudra dénombrer 10 000 pour abaisser cet écart à 1 %.

Il convient de tenir compte, pour le retrancher, d'un effet zéro très petit d'ailleurs, afin d'éliminer les traces provenant de réactions qui se sont produites par les neutrons cosmiques par exemple en dehors de l'irradiation par le flux de neutrons à mesurer. Il suffit pour cela de dénombrer les traces de 4 à 10 μ que présente, après développement et fixage, une plaque du même lot que celles irradiées.

Les traces sortantes dans le verre ou dans l'air sont comptées si elles ont une longueur supérieure à la moitié de la longueur moyenne. Aucune des autres espèces nucléaires présentes dans l'émulsion n'est susceptible de donner naissance à des traces que l'on pourrait prendre pour des traces produites par le Li 6 ou le B 10 sauf l'azote qui en donnant lieu à la réaction $^{14}_7\text{N} (n, p) ^{14}_6\text{C}^*$ fournit des traces dont la longueur tombe dans le domaine de celles dues au B 10. La concentration de l'émulsion en azote est de même ordre que celle du bore. La section efficace relative au bore étant environ 400 fois celle correspondant à l'azote¹, l'erreur causée peut être considérée comme négligeable. Elle a tendance à élever le nombre des traces comptées qui est sans doute toujours trop petit par suite des traces verticales qui pourraient échapper à l'observation dans le cas du bore. La concentration en bore est donnée en gr de bore par cm^3 de l'émulsion vierge : il faut donc connaître l'épaisseur de l'émulsion et il convient de s'assurer que les variations d'épaisseur n'introduisent pas d'importantes causes d'erreurs. La mesure de l'épaisseur d'une émulsion vierge opaque ne peut être faite facilement ni par un procédé optique, ni par un procédé mécanique entraînant l'usage d'un palpeur qui écrase inévitablement l'émulsion en arrivant à son contact. Des mesures relativement grossières à $\pm 2 \mu$ ont été exécutées cependant. Mais l'épaisseur de l'émulsion vierge a généralement été déterminée par la mesure optique de l'épaisseur de la couche développée, fixée et séchée dans une enceinte à humidité relative constante égale

¹ E. BALDINGER et S. HUBER : *Helv. Phys. Acta*, tome 12, p. 330, 1939.
P. CÜER : *Journal de Physique*, tome 8, p. 83, 1947.

à 50 %. Cette mesure peut être effectuée à l'aide d'un microscope à fort grossissement dont on réduit le plus possible la profondeur de champ. L'épaisseur de la couche de gélatine est mesurée par le déplacement correspondant à la différence des mises au point des surfaces limites de la gélatine du côté de l'air et du côté du verre. Les variations locales d'épaisseur sont rares et n'entraînent pas d'erreur importante en général. Par contre, l'une des émulsions au Li que nous avons utilisées était de 5μ plus mince que l'épaisseur de 50μ indiquée par le fabricant.

Nous n'avons pas été gênés dans nos mesures par les défauts de sensibilité de l'émulsion et nous n'avons pas observé de variation de concentration du bore qui puisse être mise en évidence.

Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs obtenues, à titre d'exemple. Les chiffres de la quatrième colonne représentent le nombre de traces par champ du microscope corrigé de l'effet zéro et compte tenu des variations éventuelles de l'épaisseur de l'émulsion. La dernière colonne indique le flux équivalent de neutrons par sec. et par cm^2 de plaque.

On a pris pour la section efficace correspondant à la réaction du bore avec les neutrons thermiques, la valeur de 600 barns¹ ce qui nous a permis de calculer le flux équivalent de neutrons.

Les réactions du bore et du lithium avec les neutrons thermiques ne donnent lieu ni l'une ni l'autre à des effets de

Tableau 2.

Intensité d'un même flux de neutrons mesurée par des émulsions imprégnées d'un sel du bore ou du lithium.

Élément réagissant	Durée de l'irradiation	Nombre de traces par champ MICROSCOPIQUE		Nombre de traces corrigé par b d'irradiation	Flux neutrons par sec. par cm^2
		Valeurs brutes	Valeurs corrigées		
B	72 h	114	$112,5 \pm 3 \%$	1,56	} 578 ± 17
B	74 h	115	$113,5 \pm 3,5 \%$	1,53	
Li	72 h	13	$12,3 \pm 3 \%$	0,171	} 581 ± 18
Li	74 h	13,5	$12,6 \pm 4 \%$	0,170	
Li	$2 \frac{1}{4}$	0,6	$0,4 \pm 4 \%$	0,182	} 618 ± 19
Li	$2 \frac{1}{4}$	0,61	$0,41 \pm 3 \%$	0,182	

¹ Tables de Constantes et Données numériques. — Constantes sélectionnées Physique Nucléaire, R. GREGOIRE, F. JOLIOT et I. CURIE, Hermann. Paris, 1948, p. 103. — 1 barn (b) = 10^{-24} cm^2 .

résonance dans le domaine des neutrons thermiques. Les sections efficaces étant dans les deux cas proportionnelles à l'inverse des vitesses des neutrons, le rapport des nombres de traces ramenés à une même concentration atomique en chacun de ces éléments est une mesure du rapport des sections efficaces. Si l'on utilise à cet effet les plaques irradiées pendant 72 et 74 heures, on trouve pour ce rapport les valeurs suivantes :

$$(72 \text{ h}) : \frac{\sigma_{\text{Li}}}{\sigma_{\text{B}}} = 0,102 \pm 0,0065$$

$$(74 \text{ h}) : \frac{\sigma_{\text{Li}}}{\sigma_{\text{B}}} = 0,103 \pm 0,0075$$

Il y a lieu de remarquer que ce nombre est déterminé exclusivement par nos mesures ; il n'est pas lié à d'autres déterminations, il est indépendant de la valeur admise comme section efficace pour la réaction du bore. Les traces courtes dues au bore, lorsqu'elles sont très inclinées, pouvant plus facilement échapper à l'observation que les traces dues au lithium, le nombre trouvé pour ce rapport doit être très légèrement plus grand que la valeur réelle. Notre résultat est en bon accord avec les mesures les plus récentes effectuées par d'autres méthodes ainsi que le montre le tableau 3.

La section efficace relative à la réaction du Lithium est

$$\sigma_{\text{Li}} = 0,102 \cdot 600 = 61,2 \text{ b}$$

en prenant toujours 600 barns comme section efficace de la réaction du bore avec les neutrons lents, dans nos conditions.

La méthode photographique permet donc de mesurer facilement les flux de neutrons de grande ou faible intensité. En faisant varier la durée de l'irradiation on peut obtenir une plaque présentant quelques dizaines de traces par champ du microscope. Le comptage est plus long que la mesure à l'aide de tube compteur ou de chambre d'ionisation ; par contre, la discrimination entre les effets des neutrons et les autres événements ionisants est plus grande dans l'émulsion photographique que pour les autres appareils de mesures.

L'image latente se conservant particulièrement bien dans les plaques imprégnées de borax (OCCHIALINI, CÜER, etc.), l'irradiation peut être prolongée de nombreux mois s'il y a lieu. Les dimensions très restreintes de la plaque (il suffit d'utiliser 1-2 cm²) permettent la mesure dans des conditions de bonne géométrie irréalisables autrement. La mesure de

Tableau 3.

Rapport des sections efficaces $\frac{\sigma_{\text{Li}}}{\sigma_{\text{B}}}$ relatives aux réactions nucléaires entre le lithium ou le bore et les neutrons thermiques.

Auteurs	$\sigma_{\text{Li}} / \sigma_{\text{B}}$	
DUNNING et coll. ¹	0,125	(1935)
FRISCH, v. HALBAN et KOCH ²	0,125	(1938)
VOLZ ³	0,116	(1943)
FENNING, GRAHAM, SELIGMAN ⁴	0,094	(1947)
Neutrons mono-cinétiques ⁵ de 0,025 ⁵	0,1	(1947)
HAENNY et KLEMENT	0,102	

l'effet zéro dans la plaque est un inconvénient qu'il sera facile d'éliminer en utilisant un des procédés d'effacement qui n'altère pas les propriétés essentielles des émulsions nucléaires. On peut se fonder entre autres pour cela sur les observations faites par KAPLAN et YAGODA ⁶ ou sur celle de H. FARAGGI et collaborateurs ⁷.

Cette méthode de mesure n'exige pas l'acquisition d'appareils coûteux pour tous les laboratoires qui peuvent disposer d'un microscope à fort grossissement.

On sait que, dans le mélange isotopique naturel du lithium, il n'y a que 7,5 % ⁸ de l'isotope 6, le seul qui réagisse avec les neutrons thermiques. De même pour le bore une fraction de 18,8 % ⁸, le bore 10, est seule à réagir. La méthode photographique permettra une mesure plus rapide, plus précise d'un flux de neutrons lorsque, dans un avenir prochain, des sels du lithium 6 pur, et du bore 10 pur, pourront être incorporés à l'émulsion.

¹ R. DUNNING, G.-B. PEGRAM, G.-A. FINK et D.-P. MITCHELL, *Phys. Rev.* 48, 265, 1935.

² O.-R. FRISCH, H. v. HALBAN and J. KOCH, *Proc. Danske Vidensk. Selskab.* 15, 10, 1938.

³ H. VOLZ, *Zeitsch. f. Physik* 121, 201, 1943.

⁴ F.-W. FENNING, G.-A.-R. GRAHAM et H. SELIGMANN, *Canadian J. of Research* 25, 73, 1947.

⁵ Neutrons monocinétiques: J. RAINWATER et W. HAVENS, *Phys. Rev.* 70, 136, 1946.

⁶ H. KAPLAN et N. YAGODA: *Phys. Rev.* 73, 634, 1948.

⁷ G. ALBOUY et H. FARAGGI: *Journal de Physique*, 8, 10, 105, 1948.

⁸ *Loc. cit.* Constantes Sélectionnées de Physique Nucléaire. R. GREGOIRE, F. JOLIOT et I. CURIE, p. 4 et 5.