



HAL
open science

Mesure de très haute précision des neutrons de fission du plutonium 239

Julien Taieb, Paola Marini, Laurent Benoit, Gilbert Belier, Audrey Chatillon,
Pierre Morfouace, David Étasse, Matthew Devlin, J.A. Gomez, R.C. Haight, et
al.

► **To cite this version:**

Julien Taieb, Paola Marini, Laurent Benoit, Gilbert Belier, Audrey Chatillon, et al.. Mesure de très haute précision des neutrons de fission du plutonium 239. Chocs Avancées Scientifiques et techniques de la direction des applications militaires, ISSN 1961-7399, 2021, pp.20-21. hal-03655504

HAL Id: hal-03655504

<https://hal.science/hal-03655504v1>

Submitted on 11 May 2022

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.

J. Taieb, P. Marini, B. Laurent, G. Bélier, A. Chatillon, P. Morfouace [CEA – DAM Île-de-France Université Paris-Saclay, CEA, Laboratoire matière en conditions extrêmes (LMCE), Bruyères-le-Châtel]
D. Étasse [Laboratoire de physique corpusculaire, Caen]
M. Devlin, J. A. Gomez, R. C. Haight, K. J. Kelly, J. M. O'Donnell, K. T. Schmitt [Los Alamos National Laboratory, États-Unis]

Mesure de très haute précision des neutrons de fission du plutonium 239

Les neutrons émis par la réaction de fission jouent un rôle déterminant dans tout système nucléaire, civil ou militaire. Ce sont eux qui provoquent de nouvelles fissions et permettent donc d'entretenir la réaction en chaîne. Une connaissance particulièrement précise des caractéristiques de ces neutrons est ainsi cruciale pour le programme Simulation du CEA – DAM. Dans le cadre de l'accord bilatéral de coopération entre le CEA – DAM et le DOE – NNSA américain, le CEA – DAM Île-de-France a entrepris de mesurer les spectres de neutrons de fission des actinides d'intérêt pour le CEA – DAM, en collaboration avec le Los Alamos National Laboratory aux États-Unis ¹.

La fission du plutonium 239 revêt une importance particulière au CEA – DAM et les différents aspects de cette réaction doivent être compris et maîtrisés. Parmi les observables d'importance associées à la réaction, la section efficace de fission, ou probabilité d'occurrence de la réaction, peut être citée, tout comme les rendements ou taux de production des produits de fission, les nombres moyens de neutrons et de gamma par fission, ainsi que les spectres en énergie de neutrons et de gamma. Le programme Simulation du CEA – DAM nécessite l'intégration de ces différentes observables au sein de fichiers dits évalués qui intègrent l'ensemble de la connaissance accumulée depuis les années 1940 pour aboutir à des données tabulées. Ces données peuvent être d'origine théorique ou expérimentale ou, et c'est souvent le cas, être issues de calculs validés par l'expérience. Les neutrons de fission sont d'une telle importance que leur nombre moyen ainsi que leur énergie moyenne, obtenus à partir de la mesure de leur spectre en énergie, doivent être connus avec une incertitude de l'ordre ou inférieure au pour cent. En raison de la complexité du mécanisme de fission, un tel niveau de précision est difficilement accessible

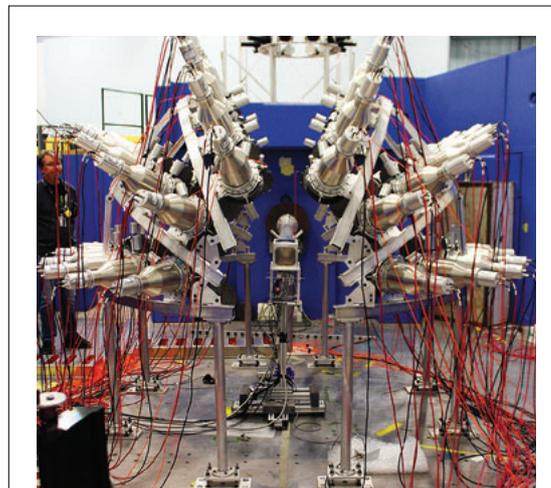


figure 1

Photographie de l'ensemble expérimental Chi-Nu destiné à la mesure des spectres de neutrons de fission du plutonium 239 au Los Alamos National Laboratory aux États-Unis. Un ensemble de 54 détecteurs de neutrons, développés par les Américains, entourent la chambre à fission parallélépipédique, développée au CEA – DAM Île-de-France et située au centre de l'image.

par le calcul et des mesures de très haute précision sont donc indispensables.

Le laboratoire de Los Alamos dispose d'une source très intense de neutrons couvrant une gamme d'intérêt pour les applications de 1 à 200 MeV, faisant de ce laboratoire un partenaire incontournable pour ces études de spectres de neutrons prompts de fission (PFNS pour *prompt fission neutron spectrum*). La collaboration a débuté dès le début des années 2000 et a conduit à plusieurs publications en commun ², dont une première mesure des PFNS du plutonium 239 ³. Ces mesures ont contribué à l'extension des connaissances dans ce domaine, mais n'ont pas permis d'atteindre les niveaux de précision requis.

Au début des années 2010, le CEA – DAM Île-de-France a engagé la conception d'une nouvelle génération de chambre à fission et de son électronique

associée. Ce détecteur est chargé d'identifier de manière non ambiguë et de signer en temps, très précisément, l'occurrence d'un événement de fission du plutonium. Dans le même temps, les collègues américains ont conçu un nouvel ensemble de 54 détecteurs de neutrons, appelé Chi-Nu (figure 1), dédié à la mesure des PFNS du plutonium 239. La mesure du temps entre la détection d'une fission dans la chambre à fission et d'un neutron dans un des détecteurs de l'ensemble Chi-Nu renseigne sur l'énergie cinétique du neutron émis. L'accumulation d'une statistique importante et la soustraction du bruit de fond permettent ensuite de reconstruire la distribution en énergie cinétique des neutrons de fission.

Le spectre énergétique peut être mesuré en fonction de l'énergie du neutron provoquant la réaction de fission sur l'ensemble de la gamme d'intérêt pour les applications. La figure 2 illustre le spectre extrait pour une énergie de neutron incident de 1,5 MeV et compare les données obtenues aux données les plus précises obtenues auparavant. Le gain en précision est très sensible, avec une réduction typique de l'incertitude d'un facteur 2 à 10.

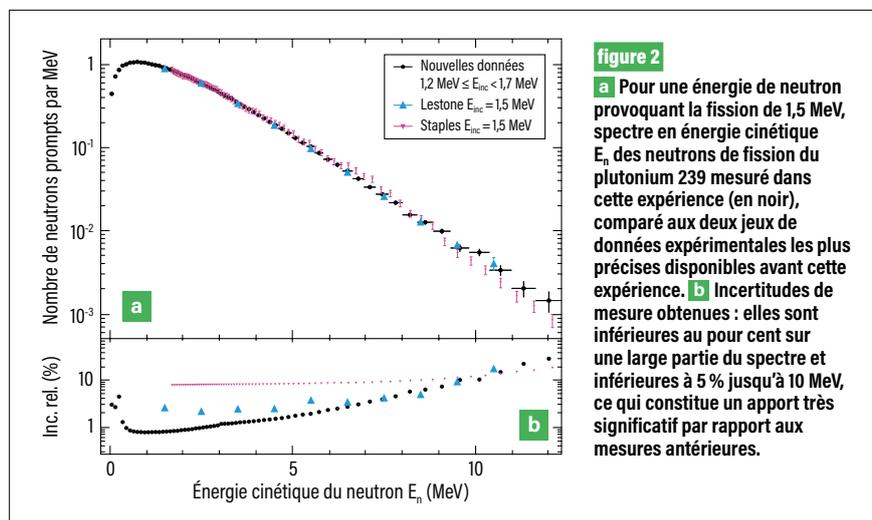


figure 2
a Pour une énergie de neutron provoquant la fission de 1,5 MeV, spectre en énergie cinétique E_n des neutrons de fission du plutonium 239 mesuré dans cette expérience (en noir), comparé aux deux jeux de données expérimentales les plus précises disponibles avant cette expérience. **b** Incertitudes de mesure obtenues : elles sont inférieures au pour cent sur une large partie du spectre et inférieures à 5% jusqu'à 10 MeV, ce qui constitue un apport très significatif par rapport aux mesures antérieures.

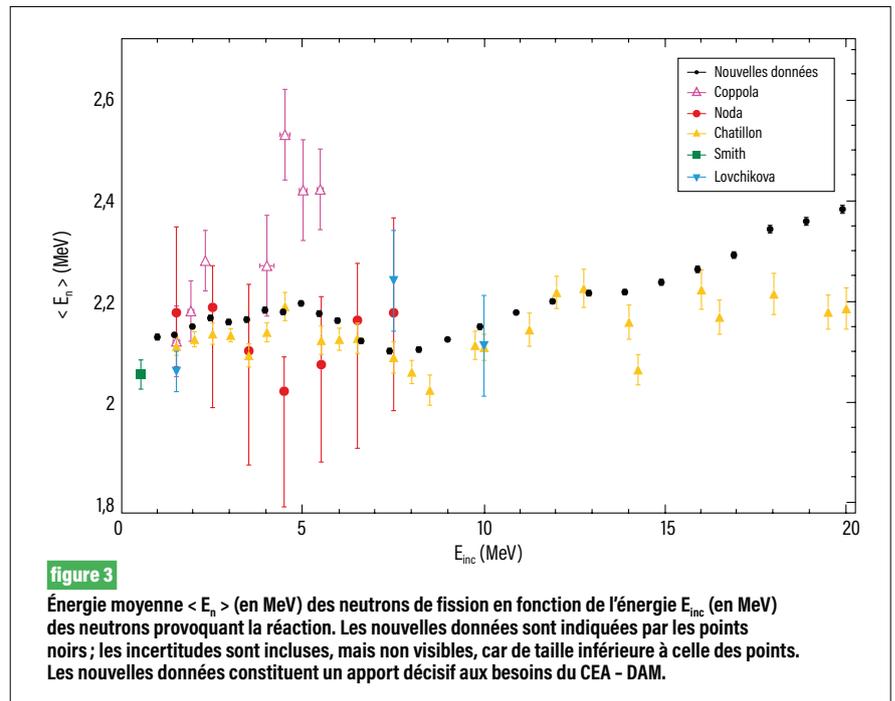


figure 3
 Énergie moyenne $\langle E_n \rangle$ (en MeV) des neutrons de fission en fonction de l'énergie E_{inc} (en MeV) des neutrons provoquant la réaction. Les nouvelles données sont indiquées par les points noirs ; les incertitudes sont incluses, mais non visibles, car de taille inférieure à celle des points. Les nouvelles données constituent un apport décisif aux besoins du CEA - DAM.

La source neutronique de Los Alamos fournit des neutrons sur une gamme très large en énergie, qui permet de produire les PFNS en fonction de l'énergie des neutrons provoquant la réaction de fission. Ces spectres peuvent être traités afin d'en extraire une valeur moyenne de l'énergie cinétique des neutrons de fission du plutonium 239 en fonction de l'énergie des neutrons provoquant la fission. Ce résultat est illustré sur la figure 3 où les énergies moyennes des PFNS sont comparées

à des mesures antérieures. Les incertitudes sur les données ne sont pas visibles sur la figure, car de taille inférieure à la taille du point. Le gain en précision est là encore évident, avec une réduction de l'incertitude d'un facteur 5 au moins par rapport aux meilleures données obtenues précédemment.

L'expérience menée à Los Alamos a permis de mesurer les spectres de neutron de fission du plutonium 239 avec une précision sans équivalent et de répondre aux besoins du programme Simulation du CEA - DAM. Les expériences prévues dans les années à venir devraient amener à mesurer ces spectres pour la fission d'autres actinides et avec une précision similaire.

RÉFÉRENCES

- 1 P. Marini, J. Taieb, B. Laurent, G. Bélier, A. Chatillon *et al.*, « Prompt fission neutron spectra in the $^{239}\text{Pu}(n,f)$ reaction », *Phys. Rev. C.*, **101**, 044614 (2020).
- 2 T. Ethvignot *et al.*, « Neutron multiplicity in the fission of ^{238}U and ^{235}U with neutrons up to 200 MeV », *Phys. Rev. Lett.*, **94**, 052701 (2005).
- 3 A. Chatillon *et al.*, « Mesure des spectres de neutrons prompts émis lors de la fission du ^{239}Pu », revue *chocs avancées* 2014, p. 18-19 (2015).