

# Mesure des spectres de neutrons prompts émis lors de la fission du $^{239}\text{Pu}$

A. CHATILLON - G. BÉLIER - T. GRANIER - B. LAURENT - B. MORILLON - J. TAIEB / CEA – DAM Île-de-France  
 R.C. HAIGHT - M. DEVLIN - R. O. NELSON - S. NODA - J.M. O'DONNELL / Los Alamos National Laboratory

Bien que cruciaux pour les applications, les spectres de neutrons prompts émis lors de la fission des actinides ne sont pas connus avec une bonne précision. Les résultats obtenus lors d'une mesure sur le  $^{239}\text{Pu}$  sont présentés ainsi que les perspectives à court terme de cette thématique de recherche.

L'étude des spectres en énergie des neutrons prompts émis par les fragments de fission, lors de la fission des actinides est capitale, que ce soit pour l'évaluation des données nucléaires (prédiction de la criticité) ou pour des aspects plus fondamentaux (répartition de l'énergie d'excitation dans le système fissionnant). Jusqu'à présent, aucun modèle microscopique n'est capable de prédire cette observable. Ainsi les spectres évalués, utilisés dans les bases de données comme JEFF ou ENDF/B-VII, sont-ils basés sur des modèles phénoménologiques et souffrent de fortes incertitudes dues au manque de précision des données existantes. Cette difficulté expérimentale est liée à la difficulté de maîtriser l'efficacité du système de détection ainsi qu'à celle de réaliser des mesures à très bas bruit de fond.

Le CEA – DAM Île-de-France s'est engagé dans une campagne expérimentale auprès de l'instal-

lation WNR (*Weapon Neutron Research*) à Los Alamos, dans le cadre d'un accord de collaboration entre le CEA – DAM et la NNSA. Les spectres émis lors de la fission des isotopes  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  et  $^{237}\text{Np}$  ont déjà été mesurés avec succès. La dernière mesure a porté sur le  $^{239}\text{Pu}$  [1].

La source de neutrons WNR présente un fort avantage: elle délivre un faisceau de neutrons de 1 à plusieurs centaines de méga électronvolts (MeV). En une seule prise de données il est ainsi possible d'obtenir les spectres des neutrons de fission sur cette large gamme en énergie de neutrons incidents. Cet ensemble de spectres présente donc des incertitudes cohérentes car il a été mesuré avec le même dispositif expérimental. Une chambre à fission placée dans le faisceau de neutrons est entourée par une vingtaine de détecteurs de neutrons. Le principe de la mesure

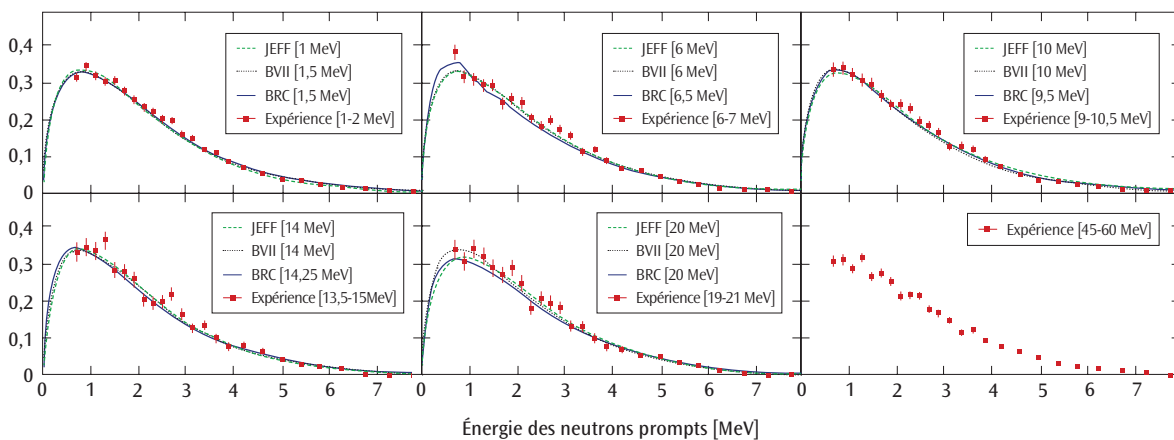
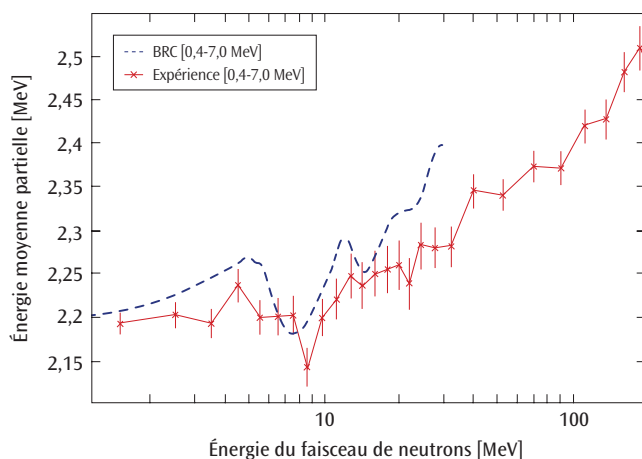


Figure 1. Spectres de neutrons prompts de fission pour différentes énergies de faisceau (indiquées entre crochet). Les points expérimentaux (en rouge) sont comparés aux calculs BRC de Bruyères-le-Châtel (ligne pleine) et aux évaluations européenne JEFF 3.1 (tirets) et américaine ENDF/B-VII.1 (ligne pointillée).

**Figure 2.**  
Évolution de l'énergie moyenne des neutrons prompts en fonction de l'énergie du faisceau de neutrons, comparée aux évaluations issues du code BRC.



est basé sur la méthode dite de double temps de vol. La chambre à fission est une cible active qui permet de connaître le temps où la fission a lieu. Ainsi deux temps de vol sont-ils mesurés en coïncidence : Le premier correspond à celui du neutron incident qui induit la fission, entre la source WNR et la chambre à fission ; quant au second, il s'agit de celui d'un neutron émis par un des fragments de fission et mesuré entre la chambre à fission et un des détecteurs de neutrons. L'énergie du neutron incident et celle du neutron prompt émis pendant la fission sont déduites à partir de ces temps de vol. La **figure 1** montre une sélection de ces spectres. Ces données sont en accord avec les évaluations issues des bases de données européennes JEFF 3.1, américaine ENDF/B-VII.1, ainsi que des calculs BRC de Bruyères-le-Châtel. Jusqu'à présent, les mesures publiées n'existaient qu'aux énergies thermiques ou à plus haute énergie et étaient entachées d'une très forte incertitude.

À partir de ces spectres l'énergie moyenne des neutrons prompts est déduite et comparée à des calculs BRC dédiés, qui appliquent les mêmes coupures en énergie que le dispositif expérimental. La **figure 2** montre l'évolution de l'énergie moyenne des neutrons émis en fonction de l'énergie du neutron qui induit la réaction de fission. La tendance générale, très bien reproduite par les calculs, est une augmentation de l'énergie moyenne qui traduit une augmentation de la température du noyau qui fissionne. Cependant, pour les plus basses énergies de neutron incident, les données semblent indiquer une énergie constante, seul point de désaccord avec les calculs théoriques

qui eux prédisent une augmentation immédiate de la température. Malgré la bonne précision de ces mesures, autour de 2 %, il est impossible de conclure sans ambiguïté : faut-il voir dans le point entre 4 et 5 MeV une fluctuation statistique ou un effet de température ?

Finalement sont ressortis de cette campagne expérimentale des résultats améliorant nettement la précision des données et couvrant une plus grande gamme en énergie incidente ; mais également de nouvelles exigences en termes de précision. En effet le bruit de fond ambiant (diffusion des neutrons) empêche encore d'obtenir des mesures de très haute précision. De plus, l'efficacité du dispositif est excessivement difficile à maîtriser. Avec le retour sur expérience de cette campagne à WNR, une nouvelle génération d'expériences est en train d'être mise en place avec le développement de chambres à fission bas bruit, dont une sera dédiée à l'étalonnage en efficacité du dispositif. Ces avancées technologiques arrivent alors que de nouvelles sources de neutrons sont en train de voir le jour en France : LICORNE à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay et NFS (*Neutron For Science*) au GANIL (Caen) qui devrait produire ses premiers faisceaux l'année prochaine. Une expérience pionnière a eu lieu en février de cette année auprès de la source de neutrons LICORNE, qui présente l'avantage d'avoir très peu de neutrons diffusés, donc peu de bruit de fond, mais une énergie faisceau limitée à une dizaine de MeV. Les résultats préliminaires sont extrêmement encourageants et montrent que cette thématique de recherche sur les spectres de neutrons prompts vient de passer un nouveau cap.

## Références

- [1] A. CHATILLON *et al.*, "Measurement of prompt neutron spectra from the  $^{239}\text{Pu}(n,f)$  fission reaction for incident neutrons from 1 to 200 MeV", *Phys. Rev. C*, **89**, 014611 (2014).