

Caractérisation du spectre en neutrons du réacteur Caliban par dosimétrie à activation

■ X. JACQUET - P. CASOLI - N. AUTHIER - G. ROUSSEAU - C. BARSU / CEA – Valduc

Caliban est un réacteur à cœur métallique en uranium hautement enrichi, exploité sur le centre CEA de Valduc, notamment pour des études de durcissement électronique. Aussi, il est nécessaire de caractériser au mieux le spectre des neutrons produits au sein de sa cavité d'irradiation. Des mesures ont été réalisées par le passé et aussi plus récemment pour l'étude de ce spectre. Un ensemble de dosimètres à activation et de chambres à fission adapté au spectre du réacteur a été sélectionné. Les mesures ont été comparées à des résultats de calculs obtenus avec le logiciel de déconvolution UMG et avec le code d'activation FISPACT. Les résultats des simulations sont en bon accord avec les mesures pour la plupart des détecteurs. Le logiciel UMG a également été mis en oeuvre pour effectuer la reconstruction du spectre de neutrons à partir d'un spectre d'entrée calculé avec le code de transport de particules TRIPOLI-4 et en utilisant le modèle du réacteur publié en tant que benchmark.

Les installations expérimentales du centre CEA de Valduc sont des outils uniques en Europe pour effectuer des irradiations dans des champs mixtes de neutrons et de rayonnement gamma. Parmi elles, les deux réacteurs à cœur métallique, Caliban et Prospero, ont été conçus pour la réalisation d'études de neutronique, de criticité et de durcissement électronique.

Le spectre en neutrons du réacteur Caliban a été étudié par le passé par le biais de mesures d'activation et de simulations. Ces mesures ont été complétées et interprétées récemment à l'aide d'outils logiciels permettant de progresser dans la connaissance du spectre, en prenant notamment en compte les corrélations existant entre les dosimètres et en associant des incertitudes aux fluences évaluées [1].

Le réacteur Caliban

Caliban est un réacteur métallique cylindrique (figure 1) de petite dimension (diamètre de 19,5 cm et hauteur de 25 cm). Il est constitué d'un alliage de molybdène et d'uranium hautement enrichi en uranium-235. Quatre barres de contrôle constituées du même alliage permettent de le piloter selon deux modes: stationnaire ou pulsé. Un laboratoire de dosimétrie est dédié aux expériences sur le réacteur: il dispose notamment de spectromètres gamma et X permettant des mesures à bas bruit de fond.

Les outils de simulation utilisés

Une description de Caliban a été publiée sous forme de benchmark [2], comportant notamment une modélisation détaillée du réacteur sous les codes de transport de particules TRIPOLI-4 et MCNP.

Le logiciel FISPACT [3] développé par l'UKAEA (Royaume-Uni) est un code de calcul d'activation

permettant de traiter les réactions induites par neutrons.

Le logiciel UMG [4,5] développé par le PTB (Allemagne) est constitué de deux codes, Maxed et Gravel, permettant de produire une estimation d'un spectre neutron à partir d'un ensemble de mesures d'activation et d'un spectre d'entrée. Maxed recherche le spectre correspondant au maximum d'entropie du système, en tenant compte des contraintes imposées par les mesures. Gravel applique une méthode des moindres carrés itérative, utilisant un algorithme de type SAND-II modifié [6].

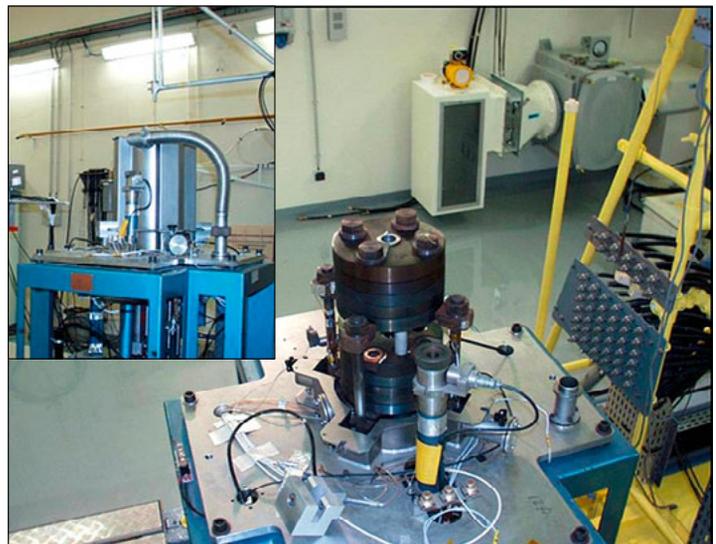


Figure 1. Vue du réacteur Caliban non capoté; en médaillon, muni de son capot.

Comparaisons expériences-calculs

Les mesures ont été réalisées dans la cavité du réacteur, en mode stationnaire ou en mode pulsé, pour quatorze réactions d'activation et cinq réactions sur chambres à fission (figure 2). La normalisation par rapport à la puissance du réacteur a été réalisée à l'aide de différents moniteurs: chambres à fission, dosimètres indium et photomultiplicateurs.

Des calculs d'activation réalisés à l'aide des logiciels TRIPOLI-4 et FISPACT ont été comparés aux résultats expérimentaux. Les écarts calculs-mesures et les écarts entre les deux codes restent faibles (< 10 %) pour la plupart des réactions d'activation, les écarts plus importants s'expliquant par l'utilisation de bibliothèques de données nucléaires (EAF2007 et IRDF2002) et de méthodes de calculs différentes entre les deux codes.

Les codes Maxed et Gravel ont été mis en oeuvre pour reconstruire le spectre en cavité de Caliban à partir des mesures de dosimètres à activation et de chambres à fission. En utilisant un spectre d'entrée calculé avec TRIPOLI-4, la convergence est bonne pour les deux codes. En revanche, si un spectre plat est utilisé en entrée, seul Gravel converge convenablement.

Le spectre évalué à l'aide de ces mesures et des calculs de reconstruction associés ont été utilisés pour obtenir une estimation réactualisée des paramètres intégraux du spectre en cavité, tels que la fluence totale, la fluence équivalente à 1 MeV dans le silicium, qui sont notamment des grandeurs d'intérêt pour les études de durcissement électronique.



Figure 2. Exemple de chambres à fission et de cibles d'activation utilisées pour la caractérisation du spectre en neutrons.

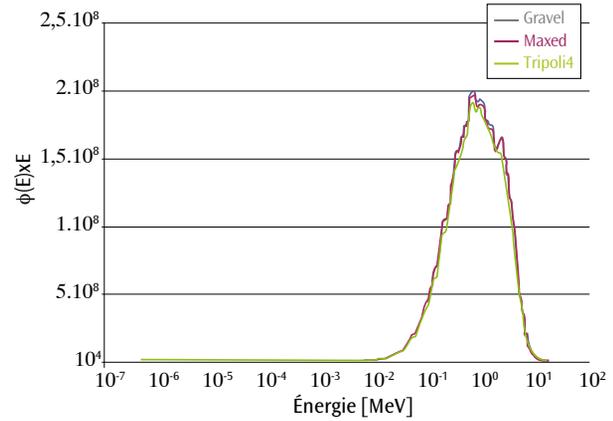


Figure 3. Spectre en neutrons dans la cavité du réacteur Caliban : reconstruction avec Gravel et Maxed à partir d'un spectre calculé avec le code TRIPOLI-4.

Conclusion

Le présent travail a permis de montrer l'efficacité du logiciel UMG pour reconstruire le spectre neutronique en cavité du réacteur Caliban, à partir de mesures réalisées avec des dosimètres à activation et des chambres à fission. Cette étude contribue à améliorer la connaissance du spectre produit et permet donc une meilleure interprétation des différentes expériences réalisées auprès du réacteur.

Actuellement de nouvelles mesures sont envisagées et de nouveaux outils logiciels étudiés pour progresser encore dans ce domaine. Il s'agit notamment de pouvoir tenir compte des incertitudes associées aux mesures et aux données nucléaires utilisées dans les codes.

Remerciements

Les auteurs remercient l'équipe d'exploitation du réacteur Caliban, MM. Y. Leo, D. Chanussot, H. Lereuil, G. Gevrey et Mme F. Guilbert, ainsi que M. P. Grivot pour son aide et ses conseils concernant ce travail.

Références

- [1] X. JACQUET, P. CASOLI, N. AUTHIER, G. ROUSSEAU, C. BARSU, "New Measurements and the Associated Unfolding Methodologies to Characterize the Caliban Pulsed Reactor Cavity Neutron Spectrum by the Foil Activation Method", *J. ASTM Int.*, **9**(3), p. 1-15 (2012).
- [2] N. AUTHIER, B. MECHITOUA, *Bare highly enriched uranium fast burst reactor Caliban*, International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, NEA Nuclear Science Committee (2007).
- [3] R. A. FORREST, *FISPACT-2007: User manual*, Easy Documentation series, UKAEA FUS 534, Euratom/UKAEA Fusion Association (2007).
- [4] UMG 3.3, *Analysis of Data Measured with Spectrometers using Unfolding Techniques*, PTB (2004).
- [5] M. REGINATTO, *The 'Few Channel' Unfolding Programs in the UMG Package UMG Software Instructions*, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Eds, Braunschweig, Germany (2004).
- [6] SAND-II, Programme disponible dans la base de données de l'Agence pour l'énergie nucléaire, www.oecd.nea.org.