

**Etude des réactions (n,2n), (n,3n)  
auprès de la nouvelle installation GANIL/SIPRAL2/NFS  
en utilisant la méthode de la spectroscopie gamma prompte.**

Contact : **Maëlle KERVENO** et **Greg HENNING**

Téléphone : 03 88 10 62 81 et 03 88 10 61 34

Email : [maelle.kerveno@iphc.cnrs.fr](mailto:maelle.kerveno@iphc.cnrs.fr)

Email : [ghenning@iphc.cnrs.fr](mailto:ghenning@iphc.cnrs.fr)

Laboratoire d'accueil :

Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC) / DRS – UMR 7178

23 rue du Loess, BP 28 – 67037 STRASBOURG CEDEX 2

Directrice : Sandrine Courtin

**Mots clés :** données nucléaires pour l'énergie, mesures de sections efficaces, expérimentation, analyse de données, GANIL/NFS

Les activités du Groupe Données Nucléaires pour les réacteurs (DNR)<sup>1</sup> s'inscrivent dans le cadre des mesures de données nucléaires appliquées aux réacteurs du futur. L'étude et l'optimisation précises des potentialités de ces nouveaux systèmes et cycles de combustible, nécessitent d'élever le niveau de qualité des bases de données nucléaires évaluées, utilisées pour les simulations. Cette amélioration requiert de travailler conjointement sur les aspects expérimentaux et théoriques des processus nucléaires mis en jeu dans un réacteur. Un des enjeux est la réduction significative des incertitudes associées aux nouvelles données expérimentales. Dans ce contexte, notre équipe a focalisé ses efforts sur l'amélioration des connaissances du processus (n,xn). Pour cela, nous utilisons la méthode de la spectroscopie gamma prompte qui nous permet de mesurer les sections efficaces de réactions (n,xn  $\gamma$ ). En combinant le résultat de ces mesures avec les prédictions de modèles théoriques pour combler les informations manquantes, nous déduisons les sections efficaces de réactions (n,xn)<sup>2</sup>.

Nos programmes de mesures concernent plus particulièrement les réactions mettant en jeu des actinides. Jusqu'à maintenant, les expériences se déroulent auprès du faisceau de neutrons « blanc » de GELINA (EC-JRC à Geel, Belgique) où nous avons développé le dispositif GRAPhEME<sup>3</sup>, constitué d'un ensemble de détecteurs HPGe planaires et d'une chambre à

---

<sup>1</sup> <http://www.iphc.cnrs.fr/-Donnees-Nucleaires-pour-les-Reacteurs-.html>

<sup>2</sup> M. Kerveno et al. European Physical Journal A, EDP Sciences, 2015, 51 (12), pp.167.

<sup>3</sup> M.Kerveno et al., EPJ Web of Conferences **239**, 01023 (2020)

fission. Une attention particulière a été portée pour minimiser toutes les sources d'incertitudes liées à nos instruments de mesures et à l'environnement. L'installation GELINA délivre un faisceau de neutrons dont la gamme en énergie est bien adaptée à l'étude des réactions de diffusion inélastique - (n,n') - des neutrons.

Avec l'arrivée de la nouvelle installation SPIRAL2/NFS (neutrons for sciences) du GANIL<sup>4</sup>, un nouveau champ d'investigation devient possible. En effet, les neutrons délivrés par cette installation permettent d'étudier des processus à plus haut seuil comme les réactions (n,2n) et (n,3n). L'équipe DNR, en collaboration avec l'EC-JRC Geel et l'IFIN-HH Bucarest, propose donc de réaliser des campagnes de mesures des sections efficaces (n,2n) et (n,3n) sur les actinides en utilisant la méthode de la spectroscopie gamma prompte. La méthodologie, éprouvée pour l'étude des réactions (n,n') à GELINA, pourra être adaptée à NFS. Après une série de tests réalisés en 2021 et 2022, une première expérience dédiée à la mesure des réactions  $^{238}\text{U}(n, 2ng)$  et  $(n, 3ng)$  a été acceptée par le PAC du GANIL et est programmée à l'automne 2024.

Le travail de thèse consiste, dans un premier temps, à analyser les données de cette première campagne de mesure sur l' $^{238}\text{U}$ . Les spectromètres GAINS<sup>5</sup> et GRAPHEME seront couplés pour augmenter l'efficacité de détection. L'étudiant.e participera à la prise de donnée et sera en charge de leur analyse. Une fois le jeu de données disponible, un volet plus théorique pourra être envisagé. L'étudiant.e travaillera avec le code de réaction nucléaire TALYS pour améliorer la modélisation des réactions (n, xn) sur  $^{238}\text{U}$ . Pour cela, il.elle participera activement aux discussions avec les collègues théoriciens du CEA/DAM. Ces nouvelles mesures sont très attendues par les évaluateurs pour compléter les jeux de données obtenus à GELINA par notre collaboration sur les réactions (n, n').

Tout au long de la thèse, l'étudiant.e sera amené.e à présenter ses résultats dans des conférences, workshops et aux réunions JEFF<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> <https://www.ganil-spiral2.eu/scientists/ganil-spiral-2-facilities/experimental-areas/nfs/>

<sup>5</sup> A. Negret et al., EPJ Web of Conferences 239, 01005 (2020)

<sup>6</sup> <https://www.oecd-neo.org/dbdata/jeff/jeff33/index.html>

## Studies of (n,2n), (n,3n) reactions at the new GANIL/SIPRAL2/NFS facility, using prompt gamma spectroscopy.

Contact : Maëlle KERVENO et Greg HENNING

phone :03 88 10 62 81 et 03 88 10 61 34

Email : [maelle.kerveno@iphc.cnrs.fr](mailto:maelle.kerveno@iphc.cnrs.fr)

Email : [ghenning@iphc.cnrs.fr](mailto:ghenning@iphc.cnrs.fr)

Laboratory :

Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC) / DRS – UMR 7178

23 rue du Loess, BP 28 – 67037 STRASBOURG CEDEX 2

Director : Sandrine Courtin

**Keywords** : nuclear data for energy, cross sections measurements, experimental work, data analysis, GANIL/NFS

The activities of the Nuclear Data for Reactors Group (Données Nucléaires pour les Réacteurs, DNR)<sup>7</sup> focus nuclear data measurements applied to future generations of the reactors. The precise study and optimization of the potential of these new systems and fuel cycles requires raising the quality level of the nuclear data bases evaluated and used for simulations. This requires joint work on experimental and theoretical aspects of the nuclear processes involved in a reactor. One of the challenges is to significantly reduce the uncertainties associated with the new experimental data. In this context, our team has focused its efforts on improving knowledge of the (n,xn) process. To this end, we use the method of prompt gamma spectroscopy, which enables us to measure reaction cross sections (n,xn  $\gamma$ ). By combining the results of these measurements with predictions from theoretical models to fill in the missing information, we deduce the reaction cross sections (n,xn)<sup>8</sup>.

Our measurement programs focus on reactions involving actinides. Up to now, experiments have been carried out using the "white" neutron beam at GELINA (EC-JRC in Geel, Belgium), where we have developed the GRAPHME device<sup>9</sup>, comprising a set of planar HPGe detectors and a fission chamber. Particular attention was paid to minimizing all sources of uncertainty linked to our measuring instruments and the environment. The GELINA facility delivers a neutron beam whose energy range is well suited to the study of inelastic - (n,n') - neutron scattering reactions.

The arrival of GANIL's new SPIRAL2/NFS (neutrons for sciences) facility<sup>10</sup>, has opened up a whole new field of investigation. The neutrons delivered by this facility make it possible to

---

<sup>7</sup> <http://www.iphc.cnrs.fr/-Donnees-Nucleaires-pour-les-Reacteurs-.html>

<sup>8</sup> M. Kerveno et al. European Physical Journal A, EDP Sciences, 2015, 51 (12), pp.167.

<sup>9</sup> M.Kerveno et al., EPJ Web of Conferences **239**, 01023 (2020)

<sup>10</sup> <https://www.ganil-spiral2.eu/scientists/ganil-spiral-2-facilities/experimental-areas/nfs/>

study higher-threshold processes such as (n,2n) and (n,3n) reactions. The DNR team, in collaboration with EC-JRC Geel and IFIN-HH Bucharest, is therefore proposing to carry out measurement campaigns of (n,2n) and (n,3n) cross sections on actinides using the prompt gamma spectroscopy method. The methodology, tried and tested for the study of (n,n') reactions at GELINA, can be adapted to NFS. After a series of tests in 2021 and 2022, a first experiment dedicated to the measurement of the  $^{238}\text{U}(n, 2ng)$  and  $(n, 3ng)$  reactions has been accepted by the GANIL PAC and is scheduled for autumn 2024.

The aim of this thesis is to analyze the data from this first measurement campaign on  $^{238}\text{U}$ . The GAINS<sup>11</sup> and GRAPhEME setups will be coupled to increase detection efficiency. The student will take part in data collection and will be in charge of data analysis. Once the dataset is available, a more theoretical aspect can be envisaged. The student will work with the TALYS nuclear reaction code to improve modeling of (n, xn) reactions on  $^{238}\text{U}$ . To this end, they will take an active part in discussions with theoretical colleagues at CEA/DAM. These new measurements are eagerly awaited by reviewers to complement the data sets obtained at GELINA by our collaboration on (n, n') reactions.

Throughout the thesis, the student will be asked to present their results at conferences, workshops and JEFF meetings<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> A. Negret et al., EPJ Web of Conferences 239, 01005 (2020)

<sup>12</sup> <https://www.oecd-nea.org/dbdata/jeff/jeff33/index.html>