

## Proposition de stage – Année 2022-2023

**Niveau du stage** : M2

**Durée du stage** : 4 mois

**Ouverture éventuelle vers un sujet de thèse** : Oui

**Type de financement envisagé** : ED PHAST

**Responsable du stage** : N. Millard-Pinard et O. Stézowski

**Téléphone** :

**Email** : [n.millard@ip2i.in2p3.fr](mailto:n.millard@ip2i.in2p3.fr) , [o.stezowski@ip2i.in2p3.fr](mailto:o.stezowski@ip2i.in2p3.fr)

**Adresse** : IP2I Lyon – Bureau 132

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex – France

**Equipe d'encadrement** : Camille Ducoin, Nathalie Millard-Pinard, Olivier Stézowski (groupe Matière Nucléaire)

**Thématique** : Astrophysique nucléaire

**Intitulé du stage** : Études expérimentales et simulations pour la nucléosynthèse par processus p

### **Description du travail demandé :**

**Contexte :** Les noyaux lourds au-delà du fer sont principalement produits par des processus de captures de neutrons. Cependant, une petite fraction des éléments observés sont des isotopes déficients en neutrons appelés « noyau p », dont la synthèse doit faire appel à d'autres mécanismes : le processus p. Plusieurs scénarios astrophysiques explosifs tentent de reproduire les abondances observées. Leur modélisation met en jeu un réseau contenant environ 2000 noyaux et 20000 réactions. Certaines de ces réactions peuvent être étudiées en laboratoire et apporter des informations cruciales pour fiabiliser les modèles théoriques employés dans les calculs de nucléosynthèse.

**Projet :** Notre projet porte sur la mesure de sections efficaces d'importance pour la modélisation des réseaux de réactions du processus p. Il s'agit d'une part d'étudier des réactions de captures de protons ou de particules alpha à des énergies proches des conditions astrophysiques, ce qui implique des sections efficaces très faibles. Ces mesures de sections efficaces peuvent se faire dans certains cas par la méthode d'activation, dans d'autres cas des mesures « in-beam » sont indispensables. Dans tous les cas, une excellente maîtrise de la spectroscopie gamma est nécessaire, et l'expertise du groupe Matière Nucléaire de l'IP2I dans ce domaine est un atout important. Par ailleurs, la modélisation des milliers de réactions impliquant essentiellement des noyaux exotiques fait nécessairement appel à des calculs théoriques. Ceux-ci sont basés sur le modèle statistique de Hauser-Feshbach, dont la fiabilité nécessite une bonne modélisation des paramètres nucléaires statistiques. L'un des plus importants dans ce contexte est le potentiel optique alpha-noyau, que l'on programme d'étudier en mesurant des sections efficaces différentielles de diffusion alpha sur plusieurs noyaux d'intérêt, à des énergies proches de la barrière coulombienne. Des calculs employant le code de réaction Talys permettent de guider le choix des réactions à étudier, ainsi que l'interprétation des résultats en termes d'évaluation des modèles théoriques.

**Travail attendu durant le stage :** Le travail portera sur l'analyse de données d'intérêt pour le processus p, qu'elles soient réelles ou simulées. L'objectif sera une meilleure quantification des incertitudes possiblement en explorant les approches Bayésiennes.

**Profil :** Un niveau avancé en physique nucléaire ainsi que des compétences en programmation sont nécessaires à la réalisation de ce travail. Une bonne culture en astrophysique nucléaire et une forte motivation pour cette thématique sont souhaitables. Un intérêt marqué pour les mécanismes de réactions nucléaires constituerait un atout.

## Internship offer – Year 2022-2023

**Internship level:** M2

**Duration:** 4 months

**Possible PhD follow up:** Yes

**Proposed PhD funding type:** ED PHAST

**Supervisor:** N. Millard-Pinard et O. Stézowski

**Phone:**

**Email:** [n.millard@ip2i.in2p3.fr](mailto:n.millard@ip2i.in2p3.fr) , [o.stezowski@ip2i.in2p3.fr](mailto:o.stezowski@ip2i.in2p3.fr)

**Address:** IP2I Lyon – Bureau 132

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

**Mentoring team:** Camille Ducoin, Nathalie Millard-Pinard, Olivier Stézowski (groupe Matière Nucléaire)

**Research field:** Nuclear astrophysics

**Internship title:** Experimental and Simulation studies for P-process nucleosynthesis

## Work description

**Context:** Heavy nuclei beyond iron are mainly produced by neutron-capture processes. However, a small fraction of the observed elements are neutron-deficient isotopes called « p-nuclei », whose nucleosynthesis is due to other mechanisms: the p-process. Several explosive astrophysical scenarios attempt to reproduce the observed abundances. Their modeling employs a network involving around 2000 nuclei and 20000 reactions. Some of these reactions can be studied in laboratory and bring crucial input to improve the theoretical models used to perform nucleosynthesis calculations.

**Project:** Our project is focused on the measurement of cross sections of relevance for the p-process reaction network modeling. One aspect is to study proton and alpha capture reactions at energies close to the astrophysical conditions, which implies very low cross sections. These cross-section measurements can in some cases be performed by activation method, while in other cases in-beam measurements are needed. In all cases, an excellent knowledge of the gamma spectroscopy is compulsory, and the expertise of the IP2I team in this field is an important advantage. Besides, the modeling of thousands of reactions involving exotic nuclei necessarily makes use of theoretical calculations. These are based on the Hauser-Feshbach statistical model, whose predictions are impacted by the modeling of nuclear statistical parameters. One of the most important in this context is the alpha-nucleus optical potential, that we plan to study by measuring alpha scattering differential cross sections on several nuclei of interest, at energies close to the Coulomb barrier. Calculations employing the Talys reaction code allow to guide the choice of reactions to study, as well as the interpretation of results to benchmark theoretical models.

**Expected work during the M2 internship:** The work consists in analyzing data, real and/or simulated, of interest for the p-process. The goal is to obtain a better quantification of the errors possibly by exploring Bayesian approaches.

**Profile:** An advanced level in nuclear physics as well as skill in programming are necessary to realize this work. A good culture in astrophysics and a strong motivation for the field of research are welcome. A pronounced interest for nuclear reaction mechanisms would be an advantage.