

Sujet de stage M2/3A

« Capteurs à bulles pour la détection de neutrons rapides : de la conception aux essais sous irradiation »

Contexte

L'**Interrogation Photonique Active (IPA)** exploite la photofission pour détecter et caractériser la matière nucléaire (uranium, plutonium), avec des applications allant de la **sécurité aux frontières** à la **gestion des déchets radioactifs**, en passant par la **physique fondamentale**. Traditionnellement, la signature recherchée repose sur les **neutrons retardés**. Cependant, cette méthode devient difficile à utiliser lorsque la cadence de tirs est élevée.

Une alternative prometteuse consiste à utiliser des **capteurs à bulles** (émulsions à liquide surchauffé). Leur principe repose sur l'utilisation d'un liquide maintenu à une température supérieure à son point d'ébullition, dispersé en microgouttelettes dans une phase continue transparente et visqueuse. Ce liquide placé dans des conditions métastables, peut s'évaporer sous l'effet d'un dépôt d'énergie, entraînant la formation de bulles de vapeur. Chaque bulle formée est la trace visuelle du passage d'un neutron. En ajustant la température, on fixe le seuil énergétique auquel la réaction se produit. Ce procédé permet ainsi de cibler les **neutrons prompts de photofission** (de l'ordre du MeV), plus caractéristiques que ceux du bruit de fond. Ces détecteurs présentent également l'avantage d'une **lecture a posteriori par imagerie optique**, avec une instrumentation simple et adaptée au terrain.

Objectifs du stage

L'étudiant(e) participera à la mise au point d'un démonstrateur de détecteur à bulles pour neutrons rapides, en suivant une démarche complète :

1) Conception du détecteur

- a. Revue bibliographique ciblée sur les capteurs à bulles.
- b. Choix d'une formulation adaptée (fluide actif, matrice, plage de température/pression).
- c. Définition de critères simples pour atteindre le seuil énergétique souhaité.

2) Réalisation expérimentale

- a. Préparation de l'émulsion et mise en forme de la chambre à bulles.
- b. Conception et impression 3D des supports mécaniques.
- c. Mise en place d'un banc d'imagerie optique simple.

3) Étalonnage et traitement des données

- a. Tests avec des sources radioactives.
- b. Acquisition d'images et comptage automatisé des bulles (Python).
- c. Estimation du rapport signal/bruit.

4) Validation en conditions réelles

- a. Essais sous irradiation avec un accélérateur linéaire d'électrons.
- b. Analyse et comparaison avec les simulations Monte-Carlo.

Apports pour le stagiaire

Ce stage se situe à l'interface entre **instrumentation nucléaire, physico-chimie et traitement de données**. Il permettra au/à la stagiaire de :

- Approfondir ses compétences en **conception expérimentale et prototypage** (chimie des émulsions, impression 3D, instrumentation optique simple).
- Développer son savoir-faire en **acquisition et analyse de données** (Python, traitement d'images).
- Participer à un projet concret, allant **de l'idée à la validation expérimentale** sur un grand instrument.

Profil recherché

- Étudiant(e) en Master 2 ou 3A en école d'ingénieurs (physique, instrumentation ou disciplines voisines).
- Compétences en **Python** (analyse de données, traitement d'images).
- Intérêt pour les **travaux expérimentaux** (chimie, préparation d'émulsions, essais sous irradiation).
- Notions en **CAO/prototypage** (impression 3D, Arduino) appréciées.

Modalités

- **Durée de stage** : 6 mois
- **Démarrage** : 1^{er} trimestre 2026
- **Lieu** : CEA Paris-Saclay (91)

Contacts

- **Johann PIEKAR** : johann.piekar@cea.fr
- **Vesna SIMIC** : vesna.simic@cea.fr
- **Adrien SARI** : adrien.sari@cea.fr