

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2026-16**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DOTA/ERIO

Tél. : 01.80.38.63.43

Responsable(s) du stage :
Mathieu Ehrhart, Baptiste Abeloos

Email : mathieu.ehrhart@onera.fr,
baptiste.abeloos@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Capteurs optiques et imageurs hyperspectraux

Type de stage : ☒ Fin d'études bac+5 ☒ Master 2 ☐ Bac+2 à bac+4 ☐ Autres

Intitulé : Reconstruction d'interactions gamma par IA dans un calorimètre : Optimisation et robustesse

Sujet :

Les calorimètres à scintillation jouent un rôle clé dans la détection et la mesure en énergie des rayonnements ionisants tels que les rayons gamma. La reconstruction précise de l'interaction des photons dans les calorimètres scintillants est un enjeu majeur pour de nombreuses applications : **physique fondamentale** (astrophysique des hautes énergies, physique des particules), **médecine** (imagerie médicale), mais aussi **nucléaire civil** (contrôle des matériaux, sûreté des installations). L'utilisation de cristaux rapides et lumineux, comme le CeBr₃, associés à des photodétecteurs compacts et pixélisés de type **SiPM (Silicon Photomultipliers)**, permet d'envisager des systèmes à la fois **performants, robustes et adaptés à des environnements contraints**. Cependant, la complexité de la distribution spatiale de la lumière de scintillation rend la reconstruction de la position d'interaction particulièrement difficile. Des approches traditionnelles, comme les méthodes de barycentres, montrent rapidement leurs limites, notamment en termes de résolution spatiale [1].

L'émergence des **méthodes d'intelligence artificielle (IA)**, et en particulier des réseaux de neurones, offre des améliorations dans la reconstruction précise de la position d'interaction photon/cristal en exploitant des corrélations complexes dans les données. Cependant, dans un contexte spatial, la robustesse de ces algorithmes reste un enjeu critique à valider, car ils doivent résister à des conditions expérimentales dégradées (comme les variations de température, le bruit électronique ou le vieillissement des capteurs), sans possibilité de réentraînement *in situ*.

L'objectif de ce stage est de développer, tester et optimiser des algorithmes basés sur l'intelligence artificielle pour la reconstruction de la position d'interaction photon/cristal dans un calorimètre constitué d'un cristal monolithique de CeBr₃ lu par une matrice de SiPM [2]. Il rejoint et complètera les travaux effectués dans le cadre de la mission COMCUBE-S, une constellation de CubeSats dédiée à la détection des sursauts gamma et à l'étude de leur polarisation [3].

Le travail comprendra :

- État de l'art sur les techniques de reconstruction classiques et modernes (IA) appliquées aux calorimètres monolithiques ;
- Conception et entraînement de réseaux de neurones à partir de données existantes ;
- Optimisation de la précision spatiale (résolution de la reconstruction en 3D : x, y, z) ;
- Évaluation de la robustesse face à différentes perturbations (variation du bruit, conditions de température, réponse inhomogène du détecteur) ;
- Étude de l'adéquation pour des missions spatiales, avec une attention particulière portée à la généralisation des modèles (tests en conditions dégradées, absence de réentraînement possible).

Le stage se déroulera au sein du Département Optique et Techniques Associées (DOTA) à l'ONERA, en collaboration avec le Laboratoire De Physique Des 2 Infinis Irène Joliot-Curie (IJCLab) à Orsay. Le/la stagiaire bénéficiera d'un encadrement par une équipe pluridisciplinaire (physiciens, experts en IA, ingénieurs en instrumentation).

Références :

- [1] Laviron, A., 2022. Développement d'un prototype de télescope Compton et astronomie gamma (PhD Thesis). Université Paris-Saclay.
- [2] Hamadache, C., Laviron, A., Ehrhart, M., Hiver, C., Kiener, J., Meyer, A., Peyré, J., Tatischeff, V., 2023. Development of a Compton telescope calorimeter module for MeV-range gamma-ray astronomy. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 1049, 168096.
- [3] Murphy, D., 2024 COMCUBE-S Executive Summary Report, ESA.
<https://nebula.esa.int/sites/default/files/2024-10/C4000142483ESR.pdf>

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|---|
| ☐ Recherche théorique | ☒ Travail de synthèse |
| ☐ Recherche appliquée | ☒ Travail de documentation |
| ☒ Recherche expérimentale | ☒ Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage :	Minimum : 4 mois	Maximum : 5 mois (6 mois sur dérogation uniquement)
-------------------------	------------------	---

Période souhaitée : Février - Août 2026

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

Formation en physique, instrumentation, traitement du signal, ou apprentissage automatique souhaitée

Une précédente expérience en apprentissage automatique et un intérêt pour la physique fondamentale et la détection gamma seront un plus.

Ecoles ou établissements souhaités :

Master 2 recherche ou école d'ingénieur en troisième année